

ENERGIEFFEKTIVE BOLIGER FOR FREMTIDEN

- En håndbok for
planlegging av passiv-
hus og lavenergiboliger



Tor Helge Dokka og Kätthe Hermstad

Denne håndboken er utarbeidet av SINTEF Byggforsk, avdeling Arkitektur og byggteknikk, av Tor Helge Dokka (prosjektleder) og Kåthe Hermstad.

Håndboken er trykket ved Skipnes Trykkeri, Trondheim, juni 2006.

*"Den mest miljøvennlige
energien er den som
ikke blir brukt."*

Innholdsfortegnelse

Forord	5
1 Innledning	7
1.1 Hva er lavenergiboliger og passivhus	7
1.2 Hvorfor lavenergiboliger og passivhus	7
1.3 Hvordan bygge lavenergiboliger og passivhus	8
1.4 Fordeler og ulemper med lavenergiboliger og passivhus	8
1.5 Fremtidens energikrav: nye forskriftskrav, energimerkeordning og EU-direktiv	10
2 Kostnadseffektive energikonsepter	13
2.1 Ambisjonsnivåer	13
2.2 Referanseboliger	13
2.3 Passiv energidesign	14
2.4 Konsept B: Lavenergiboliger	14
2.5 Konsept A: Passivhus	16
2.6 Konsept A+: Passivhus+	19
2.7 Varmeteknisk analyse av konseptene	21
2.8 Tabellsammendrag	23
3 Arkitektonisk utforming	27
3.1 Bygningsform, boligtype og energibruk	27
3.2 Energioptimale planløsninger og tekniske føringsveier	28
3.3 Fasadeutforming, dagslys og passiv solvarme	28
3.4 Dagslyskrav kontra energikrav	31
4 Teknologi, løsninger og produkter	33
4.1 Ekstraisolerte konstruksjoner	33
4.2 Kuldebrofrie konstruksjoner	38
4.3 Klimaskjerm uten luftlekkasjer	39
4.4 Superisolerte vinduer	42

4.5	Energieffektive ventilasjonsanlegg	44
4.6	Energibruk og varmetilskudd fra belysning, utstyr, tappevann og personer	51
4.7	Systemer for behovsstyring og visualisering av energibruk	53
4.8	Varme- og energiforsyningsløsninger tilpasset lavenergiboliger og passivhus	55
5	Planleggings- og byggeprosess	65
5.1	Programmering og idefase	65
5.2	Skisseprosjekt og konseptfase	66
5.2	Forprosjekt	66
5.4	Detaljprosjekt	66
5.5	Byggeprosess og produksjonsfase	67
5.6	Ferdigkontroll og overtagelse	68
5.7	Prosjekteringsverktøy	69
6	Komfort, kostnader og lønnsomhet	73
6.1	Komfort og inneklima	73
6.2	Ekstrakostnader	76
6.3	Lønnsomhetsvurderinger	77
7	Eksempler	83
7.1	Lindås Park, Göteborg	83
7.2	Lavenergibolig på Kongsberg	85
7.3	Husby Amfi, Stjørdal	87
7.4	"Hokksfeltet", etablererboliger Øvre Eiker	89
7.5	Leilighetskompleks Ölsbundt, Østerrike	91
	Referanser	92

Denne håndboka er et resultat av et samarbeid mellom Husbanken, Enova og Sintef som startet i det norske prosjektet Kostnadseffektive lavenergiboliger og med deltagelse i det internasjonale prosjektet IEA SHC Task 28/ECBCS Annex 38 Sustainable Solar Housing. Gjennom disse prosjektene som pågikk i perioden 2000-2005 ble vi kjent med "superlavenergiboliger", også kalt passivhus, med ekstremt lavt målt energiforbruk. Erfaringene fra disse byggene, særlig i Tyskland, Østerrike og Sverige, ble brukt til å initiere en rekke forbildeprosjekter på lavenergiboliger i Norge.

Etter et målrettet samarbeid over flere år mellom Husbanken, Enova, SINTEF, Byggforsk, og ambisiøse bransjeaktører har interessen for slike lavenergiboliger og passivhus blitt relativt stor i Norge, og per i dag er ca. 3000 boliger ferdigstilt, under bygging, eller under planlegging. Et betydelig antall av disse er planlagte som passivhus, men hovedvekten er fortsatt på lavenergiboliger.

Håndboka er et forsøk på å gi de som skal planlegge og bygge lavenergiboliger og passivhus et verktøy for å ta de riktige store grepene som bygningsform og byggesystem, men også de riktige små detaljene som konstruksjonsløsninger og valg av komponenter. Målet er boliger med høy kvalitet, meget god bokomfort og lavt energibehov, som skaper varige verdier i hele boligens levetid. Vi håper at håndboka kan være med å bidra til realisering av mange lavenergiboliger og passivhus i årene som kommer.

Denne håndboka er utarbeidet med finansiell støtte fra Husbanken. Det er også brukt midler fra prosjektet Kostnadseffektive lavenergiboliger, som har vært finansiert av Norges Forskningsråd, Enova og Husbanken. Husbanken Regionkontor Midt-Norge, v. Are Rødsjø, ledet det norske prosjektet og deltagelsen i det internasjonale prosjektet. Det internasjonale prosjektet ble ledet av Robert Hastings, Sveits.

Tor Helge Dokka har vært hovedforfatter for boka, med Kåthe Hermstad som medforfatter.

Inger Andresen, SINTEF byggforsk og Are Rødsjø, Husbanken, har stått for kvalitetssikring av innholdet i håndboka.

16.06.06

Tor Helge Dokka
Prosjektleder,
SINTEF

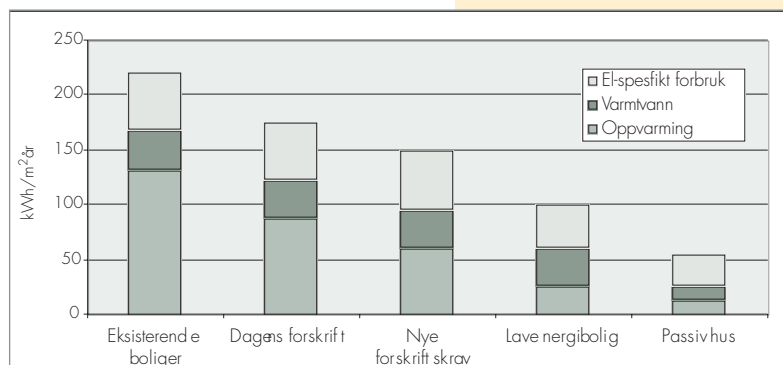




1.1 Hva er lavenergiboliger og passivhus

Lavenergiboliger er boliger med betydelig lavere energibruk enn ordinære boliger. Vanligvis defineres lavenergiboliger som boliger med total energibruk under 100 kWh/m²år, og/eller boliger med ca. 50 % reduksjon i total energibruk. For å nå en slik reduksjon i energibruken er det nødvendig med betydelige tiltak både på bygningskropp og installasjoner.

Såkalte passivhus har en helt klar definisjon på at romoppvarmingsbehovet ikke skal overskride 15 kWh/m²år. Det settes også en rekke andre krav til passivhus, bl.a. at behovet for installert oppvarmingseffekt ikke skal overskride 10 W/m². Definisjonen, og kriterier for passivhus er gitt av Passivhusinstituttet i Darmstadt (www.passivehouse.com).



Figur 1.1: Viser typisk formålsdelt energibruk for eksisterende boliger, boliger etter dagens forskrifter og forslag til nye forskrifter, samt lavenergiboliger og passivhus.

1.2 Hvorfor lavenergiboliger og passivhus

International Energy Agency (IEA) forventer en årlig vekst i primærenergi-bruken (bruk av olje, gass, kull, kjernekraft, vannkraft, etc.) i EU på 0.7 % pr. år fram til 2030 [1]. Hovedårsaken til denne veksten vil være den forventede veksten i bruttonasjonalprodukt på 1.9 % pr. år. Det kan trolig forventes en lignende vekst i Norge.

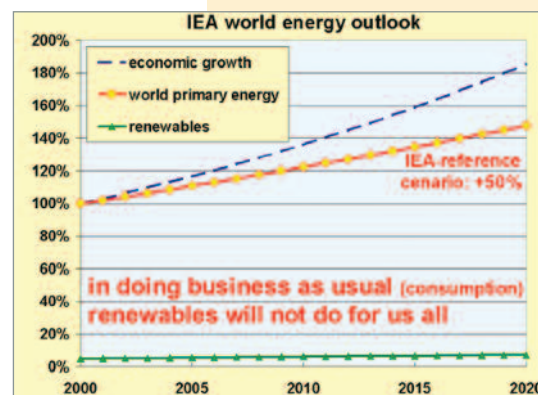
Samtidig ser vi allerede nå at elektrisitetsproduksjonen i Norge ikke holder tritt med økingen i elektrisitesforbruket. I 2004 var det norske elektrisitesforbruket på ca. 121 TWh, mens produksjonen var på kun 110 TWh, dvs. vi hadde en netto kraftimport på ca. 11 TWh [2].

En løsning på kraftunderskuddet kan være å bygge gasskraftverk og/eller gå over til bruk av mer olje til oppvarmingsformål, men dette vil føre til en sterk økning i CO₂-utslipp og dermed bryte med våre forpliktelser i forhold til Kyoto-protokollen.

I et slikt bilde er det sannsynlig at man får en økning i energi- og elektrisitetsprisen, og i løpet av relativt få år kan oppleve en eller flere energikriser.

Den mest effektive løsningen, både for å bedre kraftbalansen, tilfredsstille forpliktelser i Kyoto-protokollen og unngå energikriser, vil trolig være å sette inn tiltak for å redusere, og etterhvert eliminere den årlige veksten i energibruk og elektrisitetsbruk. Slik vil vi igjen kunne bli selvforsynt med elektrisk energi, som er basert på fornybar energi (vannkraft og etterhvert vindkraft). Faktisk burde man også kunne tenke seg at Norge igjen kunne bli en netto-eksportør av ren (grønn) elektrisk kraft som kan brukes til å sjalte ut forurensende og lite miljøvennlig kraftproduksjon i andre land.

Figur 1.2
Forventet vekst i primærenergi behovet i verden fram til 2020.
Kilde: IEA World Energy Outlook [1]



For at dette skal bli en realistisk målsetning vil energibruk til bygninger, som står for ca. 38 % (84 TWh/år) av energibruken i Norge [3], måtte reduseres betydelig. Av dette bruker boliger ca. 57 % (47 TWh/år), og en reduksjon av energibruken til boliger står derfor helt sentralt.

I tillegg til de samfunnsmessige grunnene til å bygge energieffektive boliger, er det også flere privatøkonomiske grunner til å bygge lavenergiboliger og passivhus. De boliger som oppføres i dag skal stå i 50 til 100 år (minst), og bør derfor bygges med tanke på energisistustasjonen i 2050 og i 2070.

Bygningskroppens evne til å holde på varme, i form av god isolering, godt isolerte vinduer, god tetthet og lite kuldebroer, er passive løsninger med lang levetid, og løsninger som det er vanskelig og kostbart å endre i ettertid. Det er derfor veldig gode argumenter for at dette gjøres så godt som mulig når det bygges nytt. Det er derfor meget fornuftig å bygge lavenergiboliger og passivhus med gode passive egenskaper allerede i dag. Ekstrakostnadene forbundet med dette vil høyst sannsynlig være en god investering for fremtiden.



1.3 Hvordan bygge lavenergiboliger og passivhus

Lavenergiboliger og passivhus er karakterisert ved at de har meget lavt oppvarmingsbehov, ofte en faktor 4 lavere enn nye ordinære boliger (oppvarmingsbehovet er redusert til en 1/4 av ordinært forbruk). Passivhus kan i enkelte tilfeller ha redusert oppvarmingsbehov med en faktor 10 i forhold til eksisterende boliger (se figur 1.1).

Hovedstrategien for å oppnå slike tall er en kraftig reduksjon av varmetapet fra boligen. Dette oppnås med bruk av balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning, en bygningskropp med kraftig reduserte luftlekkasjer, bruk av superisolerte vinduer og en meget godt isolert bygningskropp. Sekundært forsøker man å utnytte passiv solvarme på en effektiv måte (mest vinduer mot solrik orientering). Til slutt velger man en energikilde og oppvarmingsløsning som er tilpasset det lave oppvarmingsbehovet.

Det er også fornuftig å bruke lavenergi belysning og utstyr, samt ha et styringsystem som kan redusere ventilasjon og belysning når boligen ikke er i bruk, både for å redusere elektrisitetsforbruket, men også for å unngå overoppvarming.

1.4 Fordeler og ulemper med lavenergiboliger og passivhus

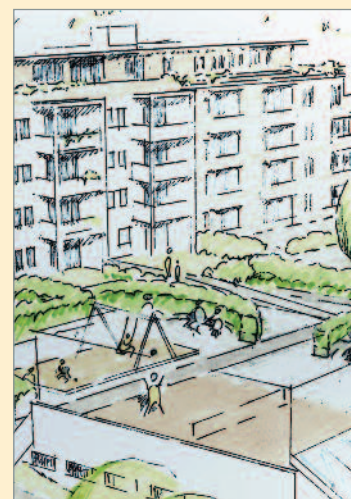
Som med all annen teknologi og tekniske løsninger har lavenergiboliger og passivhus både fordeler og ulemper som det er nyttig å være klar over når man planlegger. Opplagte fordeler med lavenergiboliger og passivhus er:

- **Bedre kvalitet;** Bygningskropp, vindtetting og utforming av detaljer vil normalt bli bedre prosjektert og utførelsen bedre kvalitets sikret enn på vanlige hus. Dette vil med stor sannsynlighet føre til et bygg med høyere kvalitet og mindre feil.
- **Bedre komfort;** Vinduer med høye overflatetemperaturer fører til at problemer med kaldstråling og kaldras fra vinduer blir eliminert. Sammen med høye overflatetemperaturer på vegger, himling og gulv fører dette til at strålings Temperaturen blir betydelig høyere enn i et vanlig hus, og lufttemperaturen kan senkes uten at det går utover termisk komfort. All forskning viser at lavere lufttemperatur fører til mindre klager på innklimaet og at luften oppleves som friskere.

- **Lave driftsutgifter;** Lavenergiboliger og særlig passivhus vil selvsagt føre til en kraftig reduksjon av energiregningen, og derfor driftsutgiftene til huset.
- **Samfunnsmessig gunstig;** Som vist i avsnitt 1.2 vil redusert energibehov i boliger ha en stor betydning for både kraftbalansen og, og dermed ha en samfunnsmessig gunstig effekt.
- **Kjent teknologi og løsninger;** Både lavenergiboliger og passivhus er i all hovedsak basert på på kjent og robust teknologi. Erfaringer fra Østerrike, Tyskland og Sverige viser også at de stramme kravene til bygningsutførelse er praktisk gjennomførbare uten store kostnadmessige konsekvenser.
- **Energisikkerhet;** Et hus med meget lavt energibehov vil være langt bedre rustet mot energikriser, høye energipriser i kortere og lengre perioder og i en eventuell beredskapssituasjon (periodevis bortfall av elektrisitet). For eksempel vil det ta mange dager for at temperaturen faller til kritiske nivåer i et passivhus, selv uten varmetilskudd.
- **Innredningsfleksibilitet;** Lavenergiboliger og passivhus har kraftig redusert behov for oppvarmingsinstallasjoner. Ofte vil det være tilstrekkelig med kun en radiator eller panelovn i boligen, i tillegg til gulvvarme i våtrom (pga. komfortkrav). Radiatoren/panelovnen trenger heller ikke plasseres under vindu pga. av godt isolerte vinduer uten kaldrasproblemer. Dette gir meget god innredningsfleksibilitet, tilnærmet det man får ved bruk av gulvvarme eller takvarme.
- **Verdiøkning;** Med tanke på en fremtidig usikker energisituasjon og potensielt høye energipriser, vil det med stor sannsynlighet bli etterspørsel etter boliger med meget lavt energibehov. Lavenergiboliger og passivhus vil derfor trolig bli svært ettertraktede boliger i fremtidens boligmarked.
- **Ingen endring i holdninger og bovaner;** Denne type boliger krever i utgangspunktet ingen endring av holdninger og bovaner i forhold til en normal bolig. Vedlikehold av boligen vil også være som for normale boliger. Forskjellen vil stort sett være bedre komfort og betydelig lavere energiregninger.

Noen ulemper, eller mer presist, utfordringer kan være:

- **Økt investering;** i bedre bygningskropp, ventilasjonsanlegg, og eventuelle styringssystemer og fornybar energiforsyning. Samtidig vil behovet for oppvarmingsinstallasjoner bli redusert. Erfaringer så langt er at ekstra byggekostnader ligger i området 0 - 10 %. I leilighetsprosjekter der man kan planlegge passivhus-standard fra starten av, og man sammenligner med en standardløsning med vannbåren gulvvarme og balansert ventilasjon som mange utbyggere bruker, vil ekstrakostander og besparelser kunne nulle hverandre ut. Sammenligner man en enebolig bygget etter minimumskrav i forskriftene, og samme bolig med passivhus-standard vil ekstrakostnadene kunne bli noe høyere.
- **Krav til håndtverksutførelse;** Både Lavenergiboliger og Passivhus krever utbyggere, planleggere, entreprenører, byggmestere og håndverkere med forståelse for kritiske løsninger i lavenergibyggeri, slik som tetthet, kuldebroer, tilpassede tekniske installasjoner, m.m. På den andre side vil det, slik man nå ser i mellemeuropa, kunne bli et kvalitetsmerke for entreprenører, byggmestere og boligprodusenter å kunne bygge og levere passivhus.
- **Arkitektoniske rammebetingelser;** Lavenergiboliger og særlig Passivhus gir noe strammere rammer for arkitektonisk utforming enn normale bygg, både når det gjelder kompakthet (ytterflate/volum-forhold), energieffektiv planløsning, orientering og fasadeutforming, vindu/glassbruk, materialbruk, osv. Men hvis man bare får fram disse rammebetingelsene tidlig i planleggingsprosessen vil dette av mange arkitekter eller planleggere ses på som en utfordring og ikke et stort problem.





1.5 Fremtidens energikrav: nye forskriftskrav, energimerkeordning og EU-direktiv

EU vedtok i desember 2002 et direktiv om energieffektiviteten til bygninger [4], som skal være gjeldende fra januar 2006. Det er politisk vedtatt at direktivet også skal implementeres i Norge. NVE har fått det nasjonale ansvaret for iverksetting av direktivet.

Direktivet inneholder enn rekke artikler (totalt 16), hvor det viktigste i denne sammenhengen er:

- Energiytelsen til en bygning skal oppgis som den totale energibruken til bygningen ved standardisert bruk, og skal inkludere oppvarming, kjøling, tappevannsoppvarming, belysning og andre energiposter. Det skal også tas hensyn til fornybar energiforsyning i form av varmepumper, solfangere, o.l., og energiytelsen skal angis i form av en eller flere numeriske indikatorer. **(Artikkel 2)**
- Det skal på nasjonalt eller regionalt nivå fastsettes minstekrav til energiytelse for ulike bygningstyper. Dette skal gjelde for nye bygninger, men også ved større rehabiliteringer eller ombygninger av eksisterende bygninger over 1000 m². Kravene skal revideres hvert 5 år ut fra teknologisk utvikling **(Artikkel 4, 5 og 6)**
- Alle bygninger for varig opphold skal ha et energisertifikat som er tilgjengelig ved nybygging, salg eller utleie av bygningen. Energisertifikatet skal ikke være eldre enn 10 år. For bygninger over 1000 m² skal energisertifikatet være plassert på et lett synlig sted. For eksisterende bygninger skal det på sertifikatet også angis kostnadseffektive energisparetiltak **(Artikkel 7)**.

Det vil også bli krav til inspeksjon av kjeler og ventilasjons/luftkondisjoneringsanlegg på større bygninger **(Artikkel 8 og 9)**, men dette er ikke så aktuelt på nye boliger.

På bakgrunn av EU-direktivet og ønske om en revisjon av dagens energikrav i byggeforskriftene har SINTEF utredet nye energirammekrav på oppdrag fra Statens Bygningstekniske Etat (BE) [5]. Hovedkonklusjonene i utredningen er:

- Det settes krav til total energibruk til drift av bygninger etter prinsippet for netto energibehov.
- Energirammer er gitt for fullt oppvarmede bygninger, hvor det er skilt mellom 13 ulike bygningskategorier.
- Energirammen gis som spesifikt energibehov, dvs. kWh/m²år oppgis for Oslo klima. Dvs. det gis ikke differensierte krav for ulike klima.
- I forhold til dagens forskrift eller praksis der det ikke foreligger krav i dag er det satt en rekke nye krav/forutsetninger for energirammen: lavere U-verdi for vinduer, bedre tetthet, krav til lavere vifteeffekt (SFP-faktor), varmegjenvinning av ventilasjonsluft i boliger og natt/helgesenking av innnetemperatur.
- Foreslått energiramme for henholdsvis småhus og leilighetskomplekser er på 150 og 130 kWh/m²år, og dette kravet er altså på total energibruk.
- Det anbefales foreløpig at kravet til energiramme settes på netto energibehov, dvs. det tas ikke hensyn til energiforsyningssystemet til bygget. Eventuelt krav til levert energi, primær energi eller en type CO₂-ramme, bør utredes nærmere før det innføres i byggeforskriftene.

Byggforsk og SINTEF har på oppdrag fra NVE også utredet energimerking av boliger og næringsbygg [6]. Boligrapporten beskriver en metode som tilfredsstiller kravene til energiattest satt i EU-direktivet, og er basert på CEN-standarder som er under utvikling. I rapporten anbefales det å ta i bruk to ulike energimerker:

- Hovedmerket i energiattesten settes ut fra vektet tilført energi til bygget. Dette tar da hensyn til bygningens varmetekniske egenskaper, effektiviteten til bygningens tekniske installasjoner og bygningens energiforsyning. Vektingssystemet for ulike energikilder er basert på samfunnsmessige miljøkostnader for ulike kilder.
- Sekundærmerket i energiattesten settes ut i fra byggets spesifikk varmetapskoeffisient som tar hensyn til byggets transmisjonstap, infiltrasjonstap og ventilasjonstap.

Ved å legge hovedmerket på vektet tilført energi vil man i tillegg til bygget og installasjonenes energieffektivitet, også ta hensyn til fornybare og miljøvennlige energikilder som varmepumper, solpaneler, biobrensel og fjernvarme.

Energimerke for boliger			Vektet tilført energibehov
	Spesifikk varmetapskoeffisient		D
	Beregnet tilført energi:		 kWh/m ²
	Målt energibruk:		 kWh/m ²
	Oppvarmingsanlegg, inkl. energikilden(e):		
	Bygningens oppvarmede areal:		 m ²
	Kort om brukeradferd som kan ha betydning på energibruken		
			
	Administrative data		
	Adresse: Bygningstype: Dato for utstedelse av merket: Energisertifisør:		

Figur 1.3
Mulig layout for energimerke for nye boliger



2 Kostnadseffektive energikonsepter

2.1 Ambisjonsnivåer

I dette kapitlet er det foreslått konkrete kostnadseffektive og robuste energikonsepter for tre ulike ambisjonsnivåer:

- Konsept B: Er en såkalt lavenergi bolig som vil tilfredsstille klasse B i forslaget til energimerkeordning for boliger [6]. Dette er en bolig som har et totalt energibehov som er redusert med ca. 1/3 i forhold til dagens forskrifter.
- Konsept A: Er en bolig med såkalt Passivhus-standard, som tilfredsstiller klasse A i forslaget til energimerkeordning. Dette er en bolig som har et totalt energibehov som er redusert med ca. 55 % i forhold til dagens forskrifter.
- Konsept A+: Er et superlavenergi hus med miljøvennlig energiforsyning. Dette vil ligge en god del under beste klasse (A), og har derfor fått betegnelsen A+. Dette superlavenergi huset er en bolig som har et vektet tilført energi som er kun 1/3 av en normal ny bolig (totalt energibehov redusert med en faktor 3).

Alle konseptene er utviklet ut fra filosofien om passiv energidesign, som er beskrevet i avsnitt 2.1.

2.2 Referanseboliger

Det er skilt på småhus (eneboliger, tomannsboliger, rekkehus og lignende) og leilighetskomplekser (mer enn 5 sammenhengende boenheter). For småhus er det tatt utgangspunkt i en to etasjers vertikaldelt tomannsbolig, der hver leilighet er på 104 m² BRA, se figur 2.1. For leiligheter er det tatt utgangspunkt i ett to-etasjers leilighetskompleks med 10 stk leiligheter, hver på 60 m² BRA. Se figur 2.2.

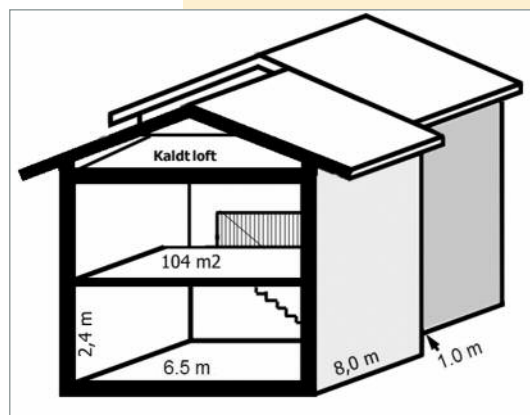
For alle konsepter er det regnet ut netto energibehov fordelt på ulike energiposter (energibudsjett) og totalt tilført energi til bygget. Der det er brukt fornybare og miljøvennlige energikilder, eksempelvis biopellets, er det også regnet ut vektet tilført energi, i henhold til forslag til energimerkeordningen. Alle energiberegninger i dette kapitlet er gjort med simuleringverktøyet SCIAQ Pro 2.08 [7]. Klima for Oslo er brukt i alle simuleringer, bortsett fra i avsnitt 2.6.3, der oppvarmingsbehovets følsomhet for ulike klimaforhold er analysert.

² Tiltakspakker og tiltakskonsepter er i denne håndboka brukt litt om hverandre. Mer presist er tiltakspakker ett sett av energisparetiltak, som kan fungere mer eller mindre bra i sammen. For eksempel utskifting av vinduer, montering av luft til luft varmepumpe og etterisolering av yttervegger kan være en tiltakspakke. Når vi snakker om et tiltakskonsept snakker vi om et nøye analysert og gjennomtenkt sett av tiltak som er optimalisert med hensyn til energisparing, kostnadseffektivitet og komfort, og der bygningstekniske og installasjonstekniske løsninger ses på som et integrert system.

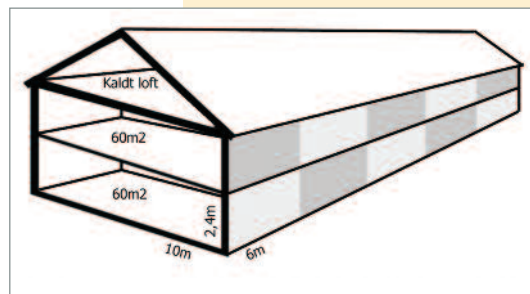
³ Kort fortalt regner man ut et vektet tilført energi på følgende måte: Tilført energi for ulike energikilder (el, olje, fjernvarme, gass, bio) beregnes. Tilført energi for den enkelte energikilde ganges opp med en vektingsfaktor (fastsatt på bakgrunn av miljøkostnad for de enkelte energikilder). Disse vektingsfaktorene er 1.0, 1.0, 0.65, 0.55 og 0.35 for hhv. el, olje, gass, fjernvarme og bio. Samlet vektet tilført energi summeres opp for de ulike energikildene. For utfyllende beskrivelse se: [6].

Nivå/merke	Småhus (kWh/m ² år)	Leiligheter (kWh/m ² år)
A	E < 75	E < 65
B	75 - 110	65 - 100
C	110 - 150	100 - 130
D	150 - 240	130 - 210
E	240 - 365	210 - 315
F	365 - 485	315 - 420
G	E > 485	E > 420

Tabell 2.1
Skalinndeling energimerkeordning for småhus og leilighetsbygg, forslag til ny energimerkeordning [6]. Tall er for vektet tilført energi.



Figur 2.1
Skematisk figur av tomannsboligen som er brukt i beregningen av småhuset



Figur 2.2
Skematisk figur av leilighetskomplekset som er brukt i beregningene.

2.3 Passiv energidesign

Prinsippet om passiv energidesign [8], er lagt til grunn for utvikling av konseptene, og består av følgende steg:

Steg 1 er å redusere varmetapet fra boligen mest mulig. Dette innebærer vanligvis kompakt bygningsform med arealeffektiv planløsning, ekstraisolert klimaskjerm, superisolerte vinduer og dører, meget lufttett klimaskjerm og balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinner. Balansert ventilasjon har en økende markedsandel i nye boliger, og undersøkelser viser en høy grad av fornøyde brukere, men det er viktig at anleggene er enkle å inspisere og vedlikeholde. Fokus på korte luftføringsveier og lite trykkfall er også viktig for å unngå høy energibruk til vifter og støyp problemer.

Steg 2 er å redusere elektrisitetsforbruket ved å bruke energieffektive hvitevarer og belysning. Det er mulig å velge meget energieffektive hvitevarer og sparepærer (med EU's energimerke A), uten at dette medfører nevneverdige ekstrakostnader. For lavenergiboliger er dette særlig viktig da man i alle tilfeller har liten nytte av varmetilskuddet fra belysning og utstyr til oppvarming.

Steg 3 er å utnytte gratis solvarme gjennom boligens utforming, plassering og orientering av fasader og vinduer. Solfangere til forvarming av tappevann er også aktuelt. Solceller kan dekke en del av elektrisitetsbehovet, men er pga. investeringskostnaden pr. i dag lite regningssvarende.

Steg 4 er å velge et system som gir brukerne enkel og lettforståelig tilbakemelding på energiforbruk og bruksmønster. Det er også aktuelt med systemer for behovsstyring av oppvarming, belysning, utstyr og ventilasjon. Slike systemer kalles i dag ofte for smarthusteknologi eller intelligente hjem.

Steg 5 er å velge riktig energikilde og oppvarmingssystem.

Det resterende oppvarmingsbehovet er nå meget lavt, i området: 15–25 kWh/m²år. Energikilden bør velges ut fra eksisterende infrastruktur, og lokal tilgjengelighet, og kan f.eks. være fjernvarme i større byer og biobrensel (pellets eller ved) i distriktene. Også elektrisk oppvarming kan være akseptabelt på grunn av det lave oppvarmingsbehovet. El-opppvarming har også den fordelen at den er meget enkel å regulere.

Det legges også stor vekt på at løsningene skal gi god termisk komfort, god luftkvalitet og at alle installasjoner og bygningstekniske løsninger er robuste og brukervennlige.



Figur 2.3
Fremgangsmåte ved "passiv energidesign".

2.4 Konsept B: Lavenergiboliger

Dette er det minst ambisiøse av de tre konseptene, men fører allikevel til ca. 1/3 reduksjon av det totale energibehovet, mens oppvarmingsbehovet reduseres med hele 60 %. Alt i forhold til dagens forskriftsnivå.

Det største varmetapet i en bolig bygget etter dagens forskrifter er ventilasjons- og infiltrasjonsvarmetapet, se avsnitt 2.6. Det første naturlige steget for å redusere oppvarmingsbehovet er derfor å redusere infiltrasjon og redusere ventilasjonstapet ved hjelp av varmegjenvinning av avtrekkslufta. I tillegg er det nødvendig å isolere bygget noe bedre enn dagens krav.

2.4.1 Konsept B for småhus

I forhold til forskriftsnivået er det installert balansert ventilasjon med 75 % varme-gjenvinning, samt redusert luftlekkasjer slik at lekkasjetallet (N50) er kommet ned i 1.5 oms/t. Dette reduserer infiltrasjonen fra 0.15 oms/t ned til 0.08 oms/t. Andre data for konseptet er gitt i tabell 2.1

Med disse tiltakene blir energibehovet som vist i figur 2.4.

En normal bolig (forskriftskrav) vil ha et oppvarmingsbehov på ca. 75 kWh/m²år. Selv med disse moderate tiltakene er oppvarmingsbehovet mer enn halvert (reduisert med 55 %). Totalt energibehov er redusert fra 164 kWh/m²år til 109 kWh/m²år, dvs. redusert med ca. 33 %. Det er her regnet med at all energiforsyning er elektrisitet, og netto energibehov er derfor lik tilført energi og vektet tilført energi (systemvirkningsgrad og vektingsfaktor er begge 1.0).

En alternativ løsning hvis man ikke ønsker å bruke mekanisk balansert ventilasjon er:

- Naturlig ventilasjon, med totalt luftskifte på 0.5 oms/t, inkludert infiltrasjon.
- Ekstrasolerte konstruksjoner med 350 mm i yttervegg ($U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$), 450 mm i yttertak ($U = 0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$) og 300 mm EPS i gulv på grunn ($0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- Superisolerte ruter med U-verdi på $0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ (passivhusstandard).
- Nattsinking av temperaturen ned til 18 °C 8 timer hvert døgn.

Med disse tiltakene blir energibehovet som vist i figur 2.5. Dette alternativet gir ikke like stor reduksjon i oppvarmingsbehovet, men pga. spart energi til vifter er totalt energibehov tilnærmet likt som med bruk av balansert ventilasjon.

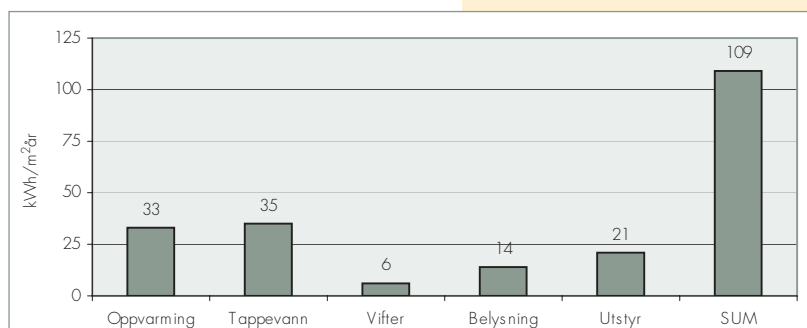
2.4.2 Konsept B for leilighetskompleks

Det brukes stort sett samme tiltak på leiligheter som for småhus. En liten forskjell er at det brukes etasjeskillere i betong (brann- og lydkrav), noe som fører til en viss kuldebroeffekt, og dermed noe høyere effektiv U-verdi for ytterveggen. Data for konseptet er vist i tabell 2.3.

Inndata	Brukt i energiberegningen	Kommentar
Bygningskropp		
Oppvarmet gulvareal	104 m ²	Over 2 etasjer
Oppvarmet luftvolum	250 m ³	2.4 m takhøyde
Infiltrasjon	0.08 oms/h	Lekkasjetall på 1.5 oms/t (v. 50 Pa)
Yttervegg, areal/U-verdi	99 m ² /0.22 W/m ² K	200 mm isolasjon, U-verdi inkl. kuldebroer
Yttertak, areal/U-verdi	52 m ² /0.12 W/m ² K	Tak mot kaldt loft isolert med 350 mm isolasjon
Gulv, areal/U-verdi	52 m ² /0.13 W/m ² K	Gulv på grunn med 200 mm ekspandert polystyren (EPS), U-verdi inkl. v.motstand i grunnen
Vinduer, areal/U-verdi	20.8 m ² /1.0 W/m ² K	Tre lags rute, 2 lavemisjonsbelegg, argon, rustfri stålsparer
Interne varmetilskudd²		
Belysning (snitteffekt)	14 kWh/m ² år (2.63 W/m ²)	Enkelt styringssystem for belysning ("inne-ute" bryter)
Utstyr (snitteffekt)	21 kWh/m ² år (3.31 W/m ²)	Energieffektive hvitevarer
Varmtvann (snitteffekt)	35 kWh/m ² år (4 W/m ²)	Standardverdi
Personer	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)	Standardverdi
Ventilasjon		
Luftskifte	0.5 oms/t (1.2 m ³ /hm ²)	Standardverdi
Virkn.grad gj.vinner	75 %	Roterende gjenvinner eller motstrømsvarmeveksler
SFP(årlig vifteenergi)	2.0 kW/m ³ /s (6 kWh/m ² år)	Standardverdi
Oppvarming		
Settpunkt oppvarming	21°C	Standardverdi
Timer senket pr. dag	0 timer	Standardverdi

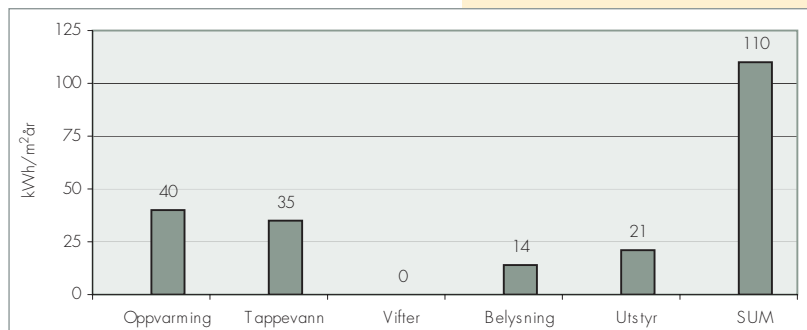
Tabell 2.2

Data for konsept B: Lavenergibolig for småhus



Figur 2.4

Energibehov og energibudsjett for B-konsept (Lavenergibolig) småhus, med balansert ventilasjon.



Figur 2.5

Energibehov og energibudsjett for B-konsept (Lavenergibolig) småhus, med naturlig ventilasjon.

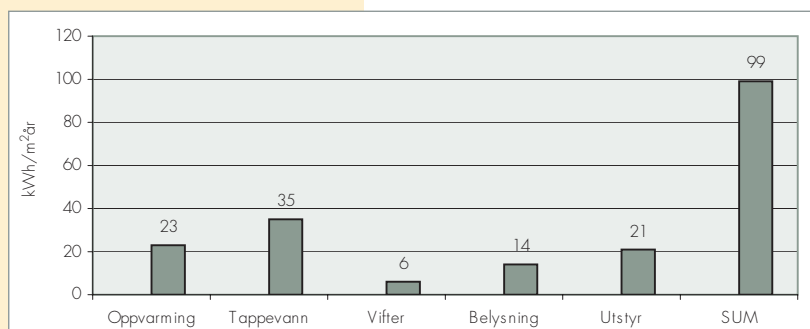
⁴ Lekkasjetallet er nærmere definert i kap. 4.3.

⁵ Rustfri stålsparer er et alternativ til avstandslist (spacer) i aluminium som er den konvensjonelle løsningen. Rustfritt stål har betydelig lavere varmeledningsevne enn aluminium, og fører derfor til betydelig lavere randsonetap for glassruten/vinduet. Avstandslist/spacer med mindre varmetap enn aluminium kalles også for varmekant.

Inndata	Brukt i energiberegningen	Kommentar
Bygningskropp		
Oppvarmet gulvareal	600 m ²	10 leiligheter a' 60 m ² , 2 etasjer høyt leilighetsbygg
Oppvarmet luftvolum	1440 m ³	2.4 m takhøyde
Infiltrasjon	0.08 oms/h	Lekkasjetall på 1.5 oms/t (v. 50 Pa)
Yttervegg, areal/U-verdi	296 m ² /0.24 W/m ² K	200 mm isolasjon, U-verdi inkl. kuldebro ved et.skiller i betong
Yttertak, areal/U-verdi	300 m ² /0.12 W/m ² K	Tak mot kaldt loft isolert med 350 mm isolasjon
Gulv, areal/U-verdi	300 m ² /0.13 W/m ² K	Gulv på grunn med 200 mm ekspandert polystyren, U-verdi inkl. varmemotstand i grunnen
Vinduer, areal/U-verdi	120 m ² /1.0 W/m ² K	Tre lags rute, 2 lavemisjonsbelegg, argongass, rustfri stålsperer ⁵
Interne varmetilskudd		
Belysning (snitteffekt)	14 kWh/m ² år (2.63 W/m ²)	Enkelt styringssystem for belysning (inneute bryter)
Utstyr (snitteffekt)	21 kWh/m ² år (3.31 W/m ²)	Energieffektive hvitevarer
Varmtvann (snitteffekt)	35 kWh/m ² år (4 W/m ²)	Standardverdi
Personer	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)	Standardverdi
Ventilasjon		
Luftskifte	0.5 oms/t (1.2 m ³ /hm ²)	Standardverdi
Virkn.grad gj. vinner	75 %	Roterende gjenvinner eller motstrømsvarmeveksler
SFP(årlig vifteenergi)	2.0 kW/m ³ /s (6 kWh/m ² år)	Standardverdi
Oppvarming		
Settpunkt oppvarming	21 °C	Standardverdi
Timer senket pr. Dag	0 timer	Standardverdi
Oppvarming	Direkte elektrisk	-
Tappevannsoppvarming	Elektrisk	-

Tabell 2.3

Data for konsept B:



Figur 2.6

Energibehov og energibudsjett for B-konsept (lavenergibolig) leilighetskompleks.

Beregnet netto energibehov er vist i figur 2.6. Pga. en mer kompakt bygningskropp, og mindre ytterflater har leilighetskomplekset ca. 10 kWh/m² lavere totalt energibehov (og oppvarmingsbehov) sammenlignet med småhuset, tross samme tiltakspakke.

Oppvarmingsbehovet er her redusert med hele 63 % sammenlignet med dagens forskriftskrav. Totalt energibehov er redusert fra 151 kWh/m²år til 99 kWh/m²år, dvs. redusert med 34 %. Det er her også regnet med at all energiforsyning er elektrisitet med antatt systemvirkningsgrad på 100 %, og netto energibehov er derfor lik tilført energi og vektet tilført energi.

I motsetning til småhus er det for leilighetsbygg ikke praktisk mulig å nå et så lavt oppvarmings- og energibehov uten balansert ventilasjon med effektiv varme-gjenvinning. Det er selvsagt andre tiltaks-kombinasjoner som kunne tilfredsstille kravet til B-nivå, men det foreslåtte konseptet er både kostnadseffektivt og robust.

2.5 Konsept A: Passivhus

Definisjonen på et passivhus er at oppvarmingsbehovet ikke skal overstige 15 kWh/m²år. Men for å nå målet på hhv. 75 og 65 kWh/m²år for småhus og leilighetsbygg (ref. tabell 2.1), i vektet tilført energi, må man også gjøre tiltak på energiforsyningssiden.

2.5.1 Småhus

I forhold til B-nivået har A-nivået enda høyere virkningsgrad på varmegjenvinner, og en meget lufttett klimaskjerm. Ytterkonstruksjoner er bedre isolert, og det brukes vinduer som tilfredsstiller Passivhus-kravet. Det er installert et styringssystem på belysning, og det brukes A eller A+ merkede hvitevarer. I tillegg er boligen utstyrt med et solfangeranlegg som dekker ca. 50 % av tappe-

vannsbehovet. Det er også gjort et grep ved at bygningskroppen er gjort mer kompakt: Dybden på leilighetene er økt til 8.5 m, og bredden er redusert til 6 m. Forskyvningen i bygningskroppen mellom de to delene i tomannsboligen er også fjernet. Dette gjør at fasadearealet, og dermed varmetapsarealet, er redusert fra ca. 120 m² til 105 m². Data for konseptet er gitt i tabell 2.4

Netto energibehov for passivhus-konseptet er vist i figur 2.7.

Oppvarmingsbehovet er her ekstremt lave 12 kWh/m²år, som er en reduksjon på 84 % i sammenlignet med dagens forskriftskrav. Tabell 2.5 viser netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi fordelt på energikilden elektrisitet (nett) og solfanger. Reduksjonen i tilført energi (og her vektet tilført energi) er på 57 %.

Det må også bemerkes at reduksjonen i energibruk til utstyr og belysning også fører til mindre varmetilskudd og dermed høyere oppvarmingsbehov. Reduksjonen i oppvarmingsbehov fra forskriftsnivå til A-nivå er derfor i praksis større enn 63 kWh/m²år (75-12).

Inndata	Brukt i energiberegningen	Kommentar
Bygningskropp		
Oppvarmet gulvareal	104 m ²	Over 2 etg.
Oppvarmet luftvolum	250 m ³	2.4 m takhøyde
Infiltrasjon	0.05 oms/h	Lekkasjetall på 0.6 oms/t (v. 50 Pa)
Yttervegg, areal/U-verdi	84 m ² /0.14 W/m ² K	300 mm isolasjon, U-verdi inkl. kuldebroer
Yttertak; areal/U-verdi	52 m ² /0.09 W/m ² K	450 mm isolasjon
Gulv; areal/U-verdi	52 m ² /0.09 W/m ² K	Gulv på grunn med 300 mm ekspandert polystyren isolasjon
Vinduer; areal/U-verdi	20.8 m ² /0.80 W/m ² K	Tre lags rute, 2 lavemisjonsbelegg, argongass, superspacer og isolert karm (se kap 4.4).
Interne varmetilskudd²		
Belysning (snitteffekt)	14 kWh/m ² år (1.6 W/m ²)	Styringssystem som slår av belysning når det ikke er personer i boligen.
Utstyr (snitteffekt)	21 kWh/m ² år (2.4 W/m ²)	Bruk av A og A+ merkede hvitevarer
Varmtvann (snitteffekt)	35 kWh/m ² år (4 W/m ²)	Standardverdi
Personer	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)	Standardverdi
Ventilasjon		
Luftskifte	0.5 oms/t (1.2 m ³ /hm ²)	Standardverdi
Virkn.grad gj.vinner	80 %	Roterende gjenvinner eller kammerveksler
SFP(årlig vifteenergi)	1.5 kW/m ³ /s (4 kWh/m ² år)	Standardverdi
Oppvarming & energiforsyning		
Settpunkt oppvarming	21 °C	Standardverdi
Timer senket pr. dag	0 timer	Standardverdi
Oppvarming	Direkte elektrisk	Panelovner og varmekabler i bad
Tappevannsbehov	Solfanger som dekker 50 % av behovet	50 % el forbruk

Tabell 2.4
Data for konsept A for småhus.

2.5.2 Leiligheter

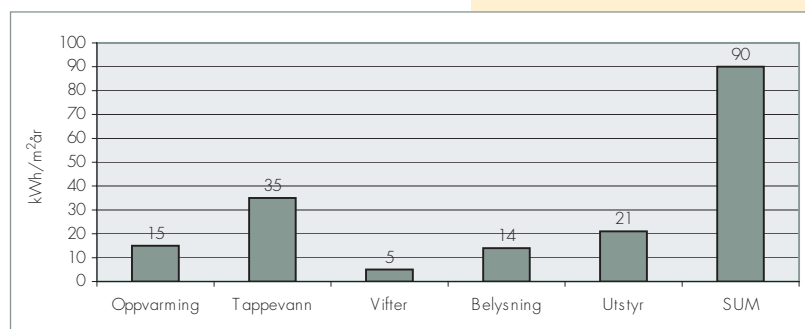
Det er tilnærmet samme spesifisering på leilighetsbygget og småhuset for A-nivået. Etasjeskillere i betong fører til en liten kuldebroeffekt, og litt høyere effektiv U-verdi for ytterveggskonstruksjonen. Leilighetsbygget har i utgangspunktet en kompakt form så det er, i motsetning til småhuset, ikke gjort endring her. Data for konseptet er vist i tabell 2.6.

Netto energibehov for konseptet er vist i figur 2.8.

Med et oppvarmingsbehov på kun 8 kWh/m²år er dette redusert med 87 % i sammenlignet med dagens forskriftskrav, dvs. nesten med en faktor 10. Tabell 2.7 viser netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi fordelt på energikildene elektrisitet (nett) og solfanger. Reduksjonen i tilført energi (og her vektet tilført energi) er på 56 %.

Energikilde	Netto energibehov	System-virkningsgrad ¹	Tilført energi	Vektings-faktorer	Vektet tilført energi
Elektrisitet	73 kWh/m ² år	1.0	73 kWh/m ² år	1.0	73 kWh/m ² år
Solfanger	17 kWh/m ² år	10.0	2 kWh/m ² år	1.0	2 kWh/m ² år
SUM	90 kWh/m ² år	-	75 kWh/m ² år	-	75 kWh/m ² år

Tabell 2.5
Netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi, for A-nivå småhus.



Figur 2.7
Netto energibehov for A-nivå småhus, formålsdelt.

¹ Systemvirkningsgrad er hentet fra energimerkerapporten [6]. Systemvirkningsgrad er der satt til 10.0 siden solfangersystem vanligvis bruker noe elektrisitet til sirkulasjonspumper (1 kWh elektrisitet gir 10 kWh solvarme til bygget).

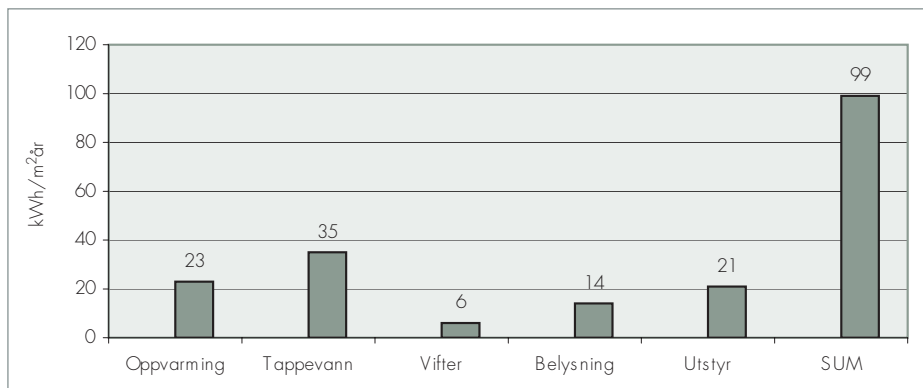
Tabell 2.6
Data for konsept A for leilighets-
bygget.

Inndata	Brukt i energiberegningen	Kommentar
Bygningskropp		
Oppvarmet gulvareal	600 m ²	10 leiligheter a' 60 m ² , 2 etasjer høyt leilighetsbygg
Oppvarmet luftvolum	1440 m ³	2.4 m takhøyde
Infiltrasjon	0.05 oms/h	Lekkasjetall på 0.6 oms/t (v. 50 Pa)
Yttervegg, areal/U-verdi	296 m ² /0.14 W/m ² K	300 mm isolasjon, U-verdi inkl. kuldebroer
Yttertak; areal/U-verdi	300 m ² /0.09 W/m ² K	450 mm isolasjon
Gulv; areal/U-verdi	300 m ² /0.09 W/m ² K	Gulv på grunn med 300 mm EPS isolasjon
Vinduer; areal/U-verdi	120 m ² /0.80 W/m ² K	Tre lags rute, 2 lavemisjonsbelegg, argongass, superspacer og isolert karm. (se kap 4.4)
Interne varmetilskudd²		
Belysning (snitteffekt)	14 kWh/m ² år (1.6 W/m ²)	Styringssystem som slår av belysning når det ikke er personer i boligen.
Utstyr (snitteffekt)	21 kWh/m ² år (2.4 W/m ²)	Bruk av A og A+ merkede hvitevarer
Varmtvann (snitteffekt)	35 kWh/m ² år (4 W/m ²)	Standardverdi
Personer	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)	Standardverdi
Ventilasjon		
Luftskifte	0.5 oms/t (1.2 m ³ /hm ²)	Standardverdi
Virkn.grad gj.vinner	80 %	Roterende gjenvinner eller kammerveksler
SFP (årlig vifteenergi)	1.5 kW/m ³ /s (4 kWh/m ² år)	Standardverdi
Oppvarming & energiforsyning		
Settpunkt oppvarming	21 °C	Standardverdi
Timer senket pr. dag	0 timer	Standardverdi
Oppvarming	Direkte elektrisk	Panelovner og varmekabler i bad
Tappevannsbehov	Solfanger som dekker 50 % av behovet	Solfanger fungerer som "grunnlast", elektrisitet som "spisslast"

Tabell 2.7
Netto energibehov, tilført energi
og vektet tilført energi, for A-nivå
leilighetsbygg.

Energikilde	Netto energiebehov	System- virkningsgrad ¹	Tilført energi	Vektings- faktorer	Vektet tilført energi
Elektrisitet	65 kWh/m ² år	1.0	65 kWh/m ² år	1.0	65 kWh/m ² år
Solfanger	18 kWh/m ² år	10.0	2 kWh/m ² år	1.0	2 kWh/m ² år
SUM	83 kWh/m ² år	-	67 kWh/m ² år	-	67 kWh/m ² år

Figur 2.8
Netto energibehov for A-nivå leilig-
hetsbygg, formålsdelt.



2.6 Konsept A+: Passivhus+

Konseptet her kalt A+, er "state-of-the-art" der man både reduserer energibehovet maksimalt, men også bruker miljøvennlige og effektive energiforsyningssystemer. Det er gjort ytterligere tiltak for å redusere energibehovet fra passivhus-standard (A-nivå), og i tillegg brukes en sol-bio løsning til energiforsyning, alternativt en kompakt varmepumpeløsning.

2.6.1 Småhus

I forhold til passivhus-konseptet (A-nivå), er alle ytterkonstruksjoner enda bedre isolert. Vinduene har også bedret U-verdi ved at det brukes en glasskombinasjon som er bedre enn passivhus-kravet. Det brukes videre en roterende gjenvinner-type som har en årsmidlere temperaturvirkningsgrad på 84 %. Det termiske energibehovet dekkes av en sol-bio løsning, der solfangeren er grunnlast og biopelletsbrenneren er spisslast, når solfanger ikke kan levere tilstrekkelig med varme. Dette systemet dekker både romoppvarming og tappevann. Andre data for konseptet er gitt i tabell 2.8.

Netto energibehov for A+-konseptet er vist i figur 2.9. Oppvarmingsbehov på 10 kWh/m²år gir en reduksjon på 87 % sammenlignet med forskriftskravet. Tabell 2.9 angir netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi fordelt på energikildene elektrisitet (nett), solfanger og biopelletskjel. Reduksjonen i vektet tilført energi er på hele 68 %.

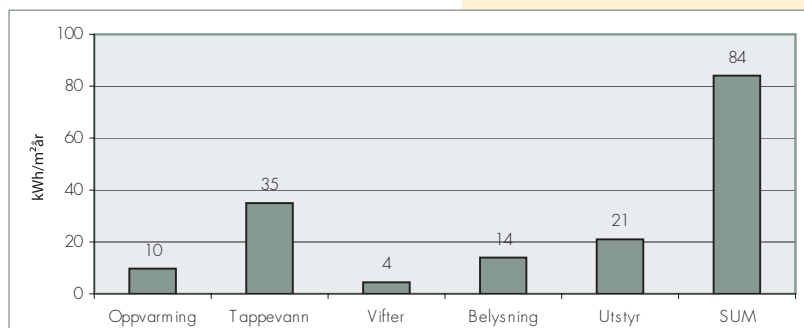
2.6.2 Leiligheter

Det er samme spesifikasjon på leilighetsbygget som for småhuset. Kuldebroeffekten av etasjeskillere i betong er for en så godt isolert ytterveggskonstruksjon (350 mm) også neglisjerbar. Data for konseptet er vist i tabell 2.10.

Netto energibehov for A+-konseptet er vist i figur 2.10. Oppvarmingsbehov på 5 kWh/m²år gir en reduksjon på 92 % sammenlignet med forskriftskravet, dvs. over faktor 10 reduksjon av oppvarmingsbehovet. Tabell 2.11 angir netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi fordelt på energikildene elektrisitet (nett), solfanger og biopelletskjel. Reduksjonen i vektet tilført energi er på 66 %.

Tabell 2.8
Data for konsept A+ for småhus

Inndata	Brukt i energiberegningen	Kommentar
Bygningskropp		
Oppvarmet gulvareal	104 m ²	Over 2 etg.
Oppvarmet luftvolum	250 m ³	2.4 m takhøyde
Infiltrasjon	0.05 oms/h	Lekkasjetall på 0.6 oms/t (v. 50 Pa)
Yttervegg, areal/U-verdi	84 m ² /0.12 W/m ² K	350 mm isolasjon, U-verdi inkl. kuldebroer
Yttertak, areal/U-verdi	52 m ² /0.08 W/m ² K	500 mm isolasjon
Gulv, areal/U-verdi	52 m ² /0.08 W/m ² K	Gulv på grunn med 350 mm ekspandert polystyren isolasjon
Vinduer, areal/U-verdi	20.8 m ² /0.72 W/m ² K	Tre lags rute, 2 lavemisjons belegg, argongass, isolert karm og superspacer (se kap 4.4)
Interne varmetilskudd²		
Belysning (snitteffekt) ikke er personer i boligen	14 kWh/m ² år (1.6 W/m ²)	Styringssystem som slår av belysning når det
Utstyr (snitteffekt)	21 kWh/m ² år (2.4 W/m ²)	Bruk av A og A+ merkede hvitevarer
Varmtvann (snitteffekt)	35 kWh/m ² år (4 W/m ²)	Standardverdi
Personer	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)	Standardverdi
Ventilasjon		
Luftskifte	0.5 oms/t (1.2 m ³ /hm ²)	Standardverdi
Virkn.grad gj.vinner	84 %	Høyeffektiv roterende gjenvinner
SFP (årlig vifteenergi)	1.5 kW/m ³ /s (4.4 kWh/m ² år)	Aggregat og kanalsystem med lavt trykktap
Oppvarming & energiforsyning		
Settpunkt oppvarming	21 °C	Standardverdi
Timer senket pr. dag	0 timer	Standardverdi
Oppvarming	Enkelt vannbårent varmeanlegg Energi fra sol-bio-anlegg	En radiator i stue + vannbåren gulvarme på bad
Tappevannsbehov	Solfanger som dekker ca. 50 % av behovet, biopelletsbrenner som spissplast	Solfanger fungerer som "grunnlast", Elkolbe som backupsystem



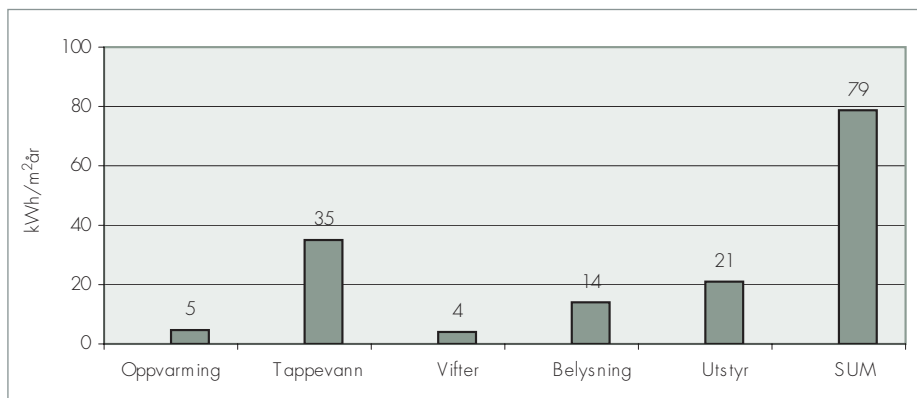
Figur 2.9
Netto energibehov for A+-nivå småhus, formålsdelt.

Tabell 2.9
Netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi, for A+-nivå småhus.

Energikilde	Netto energibehov	System-virkningsgrad ¹	Tilført energi	Vektings-faktorer	Vektet tilført energi
Elektrisitet	39 kWh/m ² år	1.0	39 kWh/m ² år	1.0	39 kWh/m ² år
Solfanger	18 kWh/m ² år	10.0	2 kWh/m ² år	1.0	2 kWh/m ² år
Bio	27 kWh/m ² år	0.75	36 kWh/m ² år	0.35	13 kWh/m ² år
SUM	84 kWh/m ² år	-	77 kWh/m ² år	-	53 kWh/m ² år

Tabell 2.10
Data for konsept A+ for leilighetsbygg

Inndata	Brukt i energiberegningen	Kommentar
Bygningskropp		
Oppvarmet gulvareal	600 m ²	Over 2 etg.
Oppvarmet luftvolum	1440 m ³	2.4 m takhøyde
Infiltrasjon	0.05 oms/h	Lekkasjetall på 0.6 oms/t (v. 50 Pa)
Yttervegg, areal/U-verdi	296 m ² /0.12 W/m ² K	350 mm isolasjon, U-verdi inkl. kuldebroer
Yttertak, areal/U-verdi	300 m ² /0.08 W/m ² K	500 mm isolasjon
Gulv, areal/U-verdi	300 m ² /0.08 W/m ² K	Gulv på grunn med 350 mm EPS isolasjon
Vinduer, areal/U-verdi	120 m ² /0.72 W/m ² K	Tre lags rute, 2 lavemisjons belegg, argon, isolert karm og superspacer (se kap. 4.4)
Interne varmetilskudd²		
Belysning (snitteffekt) ikke er personer i boligen	14 kWh/m ² år (1.6 W/m ²)	Styringssystem som slår av belysning når det
Utstyr (snitteffekt)	21 kWh/m ² år (2.4 W/m ²)	Bruk av A og A+ merkede hvitevarer
Varmtvann (snitteffekt)	35 kWh/m ² år (4 W/m ²)	Standardverdi
Personer	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)	Standardverdi
Ventilasjon		
Luftskifte ^{3,4}	0.5 oms/t (1.2 m ³ /hm ²)	Standardverdi
Virkn.grad gj.vinner	84 %	Høyeffektiv roterende gjenvinner
SFP(årlig vifteenergi)	1.5 kW/m ³ /s (4.4 kWh/m ² år)	Aggregat og kanalsystem med lavt trykktap
Oppvarming & energiforsyning		
Settpunkt oppvarming	21 °C	Standardverdi
Timer senket pr. dag	0 timer	Standardverdi
Oppvarming	Enkelt vannbårent varmeanlegg Energi fra solbio-anlegg	En radiator i stue + vannbåren gulvarme på bad
Tappevannsbehov	Solfanger som dekker ca. 50 % av behovet, biopelletsbrenner som spissplast	Solfanger fungerer som "grunnlast", biopellets-brenner som "spisslast" Elkolbe som backupsystem



Figur 2.10
Netto energibehov for A+-nivå leilighetsbygg, formålsdelt.

Tabell 2.11
Netto energibehov, tilført energi og vektet tilført energi, for A+-nivå leilighetsbygg.

Energikilde	Netto energibehov	System-virkningsgrad ¹	Tilført energi	Vektings-faktorer	Vektet tilført energi
Elektrisitet	39 kWh/m ² år	1.0	39 kWh/m ² år	1.0	39 kWh/m ² år
Solfanger	18 kWh/m ² år	10.0	2 kWh/m ² år	1.0	2 kWh/m ² år
Bio	22 kWh/m ² år	0.75	29 kWh/m ² år	0.35	10 kWh/m ² år
SUM	79 kWh/m²år	-	70 kWh/m²år	-	51 kWh/m²år

¹ Systemvirkningsgrad hentet fra energimerkerapporten [6] .

2.7 Varmeteknisk analyse av konseptene

Dette delkapittelet analyserer de ulike konseptene med hensyn til hvor de største varmetapene er, hvordan oppvarmingsbehovet varierer over året og hvor klimaavhengig de ulike konseptene er.

2.7.1 Spesifikt varmetap

Figur 2.11 og figur 2.12 viser de spesifikke varmetapene, dvs. varmetap pr. °C temperaturforskjell inne og ute, for de ulike konseptene, og også sammenlignet med dagens forskriftsnivå. Alle spesifikke tap er normalisert med boligens oppvarmede areal (BRA).

Vi ser at det varmetapet fra alle bygningsdeler, ventilasjon og infiltrasjon reduseres betydelig i forhold til BF97 nivå. I absolutt reduksjon (ikke prosent) utgjør ventilasjon mest, men også reduksjon i varmetap fra vinduer, yttervegger og infiltrasjon er stor. Minst reduksjon er det for yttertak og gulv, som allerede har et relativt stramt krav til U-verdi. I forhold til forskriftsnivået, halveres nesten det totale varmetapet med en lavenergibolig, mens med A+ konseptet reduseres varmetapet med tilnærmet en faktor 3 (varmetapet redusert til 1/3).

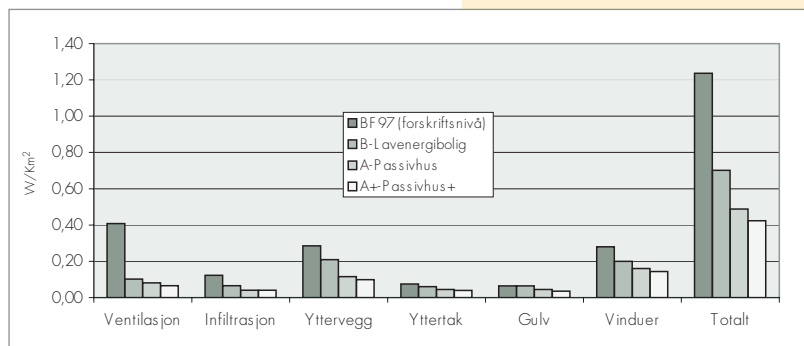
2.7.2 Oppvarmingsbehovet, måned og år

Figur 2.13 viser det årlige oppvarmingsbehovet for de tre konseptene, sammenlignet med forskriftsnivået. For leilighetsbygget er B-nivået nesten 1/3 av forskriftsnivået. A+-nivået er faktisk en faktor 10 under forskriftsnivået for leiligheter, og en faktor 7-8 for småhus. Selv om det er betydelige tiltak som er gjort, viser det at det er teknisk relativt enkelt å redusere oppvarmingsbehovet drastisk i forhold til dagens forskriftskrav.

Figur 2.14 og 2.15 viser variasjonen i oppvarmingsbehov over året for de tre konseptene sammenlignet med forskriftsnivået. For lavenergiboligen er oppvarmingssesongen ca. 7 måneder, dvs. to måneder mindre enn forskriftsboligen. For passivhusene (A og A+) er oppvarmingssesongen redusert til ca. 5 måneder for småhus og ca. 4 måneder for leilighetsbygget. For leilighetsbygget er altså lengden på fyringssesongen for passivhus ca. halvert i forhold til forskriftsnivået.

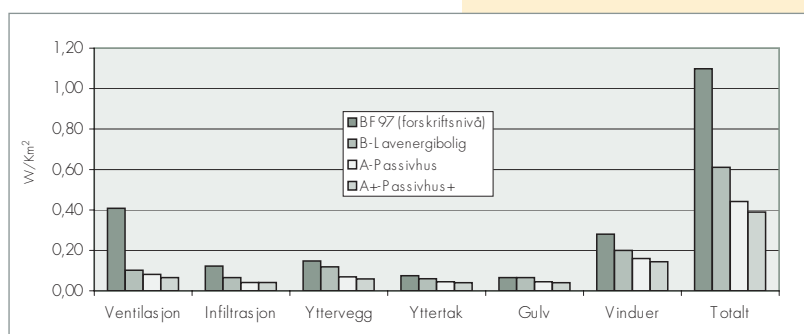
2.7.4 Oppvarmingsbehovets klimaavhengighet

Figur 2.16 og 2.17 viser hvordan oppvarmingsbehovet varierer for ulike klimasteder i Norge. Det framkommer at klimasted har relativt stor innvirkning på oppvarmingsbehovet. Karasjøk (årsmiddeltemperatur på -1.4 °C) har ca. 3 ganger så høyt oppvarmingsbehov som Bergen (årsmiddeltemperatur på 7.8 °C)



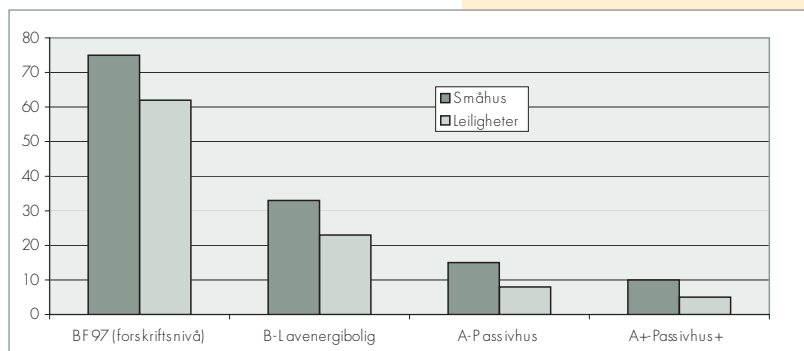
Figur 2.11

Spesifikt varmetap pr. m² gulvflate (BRA) for småhus, etter dagens forskriftskrav (BF97) og de tre konseptnivåene (B, A og A+).



Figur 2.12

Spesifikt varmetap pr. m² gulvflate (BRA) for leilighetsbygget. Vist for de tre konseptnivåene (B, A og A+), sammenlignet med bolig bygget etter dagens forskriftskrav (BF97).



Figur 2.13

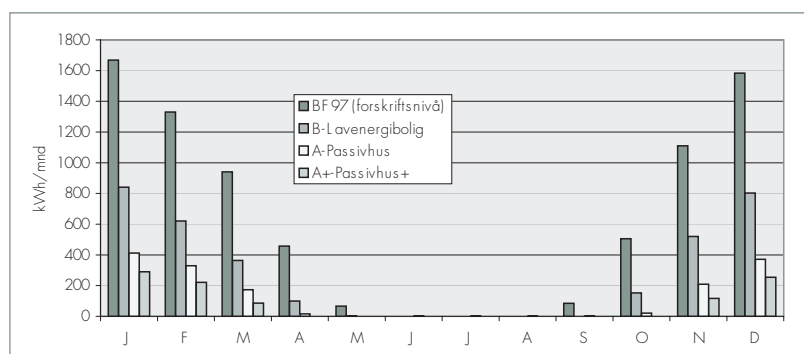
Oppvarmingsbehovet for de tre konseptnivåene for både småhus og leilighetsbygg, sammenlignet med bolig bygget etter dagens forskriftskrav (BF97).

for forskriftsnivået. For konseptnivåene er den prosentvise forskjellen i oppvarmingsbehov mellom kaldt (Karasjok) og temperert klima (Bergen) enda større. I forhold til Oslo, som er brukt som referanseklima, er oppvarmingsbehovet i Karasjok fra 2 til 3 ganger høyere.

Selv om den prosentvise reduksjonen i oppvarmingsbehov ved å gå fra forskriftsnivået til en av konseptnivåene (B, A, A+) er størst for temperert klima (for eksempel Bergen), er den absolutte reduksjonen i kWh størst for kaldt klima. Det betyr også at lavenergiboliger og passivhus er absolutt mest fornuftig og lønnsomt i kalde strøk.

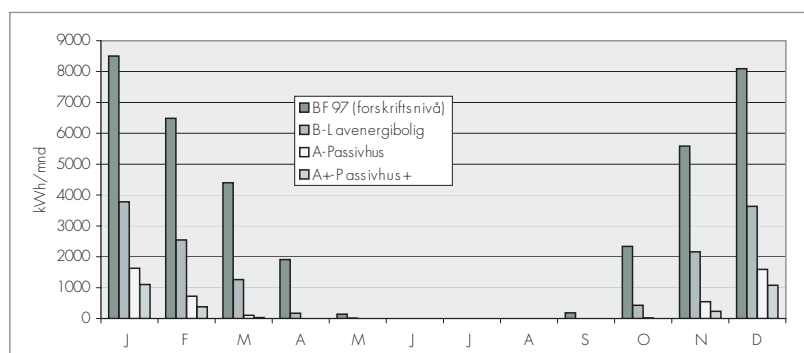
Figur 2.14

Månedvis oppvarmingsbehov for de tre konseptnivåene for småhus, sammenlignet med bolig bygget etter dagens forskriftskrav (BF97).



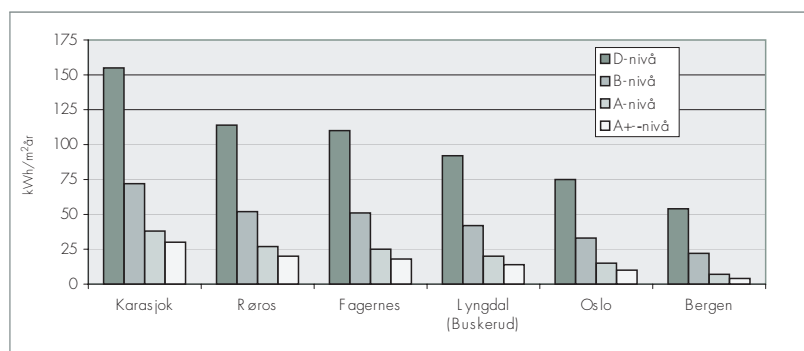
Figur 2.15

Månedvis oppvarmingsbehov for de tre konseptnivåene for leilighetsbygg, sammenlignet med bolig bygget etter dagens forskriftskrav (BF97).



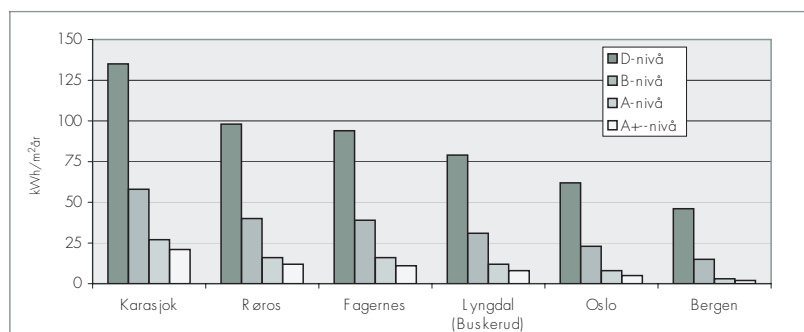
Figur 2.16

Årlig oppvarmingsbehov for forskriftsnivået og de tre konseptnivåene for småhus, beregnet for 6 ulike klimasteder.



Figur 2.17

Årlig oppvarmingsbehov for forskriftsnivået og de tre konseptnivåene for leilighetsbygget, beregnet for 6 ulike klimasteder.



2.8 Tabellsammendrag

I tabellene nedenfor er det gitt et tabellsammendrag der kravet for å oppnå de ulike nivåene er gitt, og hvor beregnet energibehov for de ulike nivåene er angitt.

Konsept	Komponenter		Målepunkt	Årlig energibruk
B Lavenergi-bolig		Yttervegg: $U = 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$	Oppvarmingsbehov:	33 kWh/m ²
		Gulv: $U = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Yttertak: $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Totalt netto energibehov:	109 kWh/m ²
		Vinduer: $U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Gjenvinning & vifteeffekt: $\eta = 75 \%$, $SFP = 2.0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	Tilført energi:	109 kWh/m ²
		Tetthet/infiltrasjon: $N_{50} = 1.5 \text{ oms/t}$ $N = 0.08 \text{ oms/t}$		
		Lys og utstyr: $Q_{ys} = 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ $Q_{ut} = 21 \text{ kWh/m}^2\text{år}$	Vektet tilført energi:	109 kWh/m ²
		Energiforsyning: 100 % elektrisk		

Tabell 2.12
KONSEPT: LAVENERGIBOLIG
SMÅHUS

Konsept	Komponenter		Målepunkt	Årlig energibruk
A Passiv-hus		Yttervegg: $U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$	Oppvarmingsbehov:	15 kWh/m ²
		Gulv: $U = 0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Yttertak: $U = 0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$	Totalt netto energibehov:	90 kWh/m ²
		Vinduer: $U = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Gjenvinning & vifteeffekt: $\eta = 80 \%$, $SFP = 1.5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	Tilført energi:	75 kWh/m ²
		Tetthet/infiltrasjon: $N_{50} = 0.6 \text{ oms/t}$ $N = 0.05 \text{ oms/t}$		
		Lys og utstyr: $Q_{ys} = 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ $Q_{ut} = 21 \text{ kWh/m}^2\text{år}$	Vektet tilført energi:	75 kWh/m ²
		Energiforsyning: 100 % el. til oppvarming 50 % sol til tappev.oppv.		

Tabell 2.13
KONSEPT: PASSIVHUS SMÅHUS

Tabell 2.14
KONSEPT: PASSIVHUS+(SUPER-
LAVENERGIHUS) SMÅHUS

Konsept	Komponenter		Målepunkt	Årlig energibruk
A+ Passiv- hus+		Yttervegg: $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Oppvarmingsbehov:	10 kWh/m ²
		Gulv: $U = 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Yttertak: $U = 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$	Totalt netto energibehov:	84 kWh/m ²
		Vinduer: $U = 0.72 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Gjenvinning & vifteeffekt: $\eta = 84 \%$, $SFP = 1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	Tilført energi:	77 kWh/m ²
		Tetthet/infiltrasjon: $N50 = 0.6 \text{ oms/t}$ $N = 0.05 \text{ oms/t}$		
		Lys og utstyr: $Q_{ys} = 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ $Q_{uts} = 21 \text{ kWh/m}^2\text{år}$	Vektet tilført energi:	53 kWh/m ²
		Energiforsyning: Sol-bio system dekker 100 % av termisk behov		

Tabell 2.15
KONSEPT: LAVENERGIBOLIG
LEILIGHETSBYGG

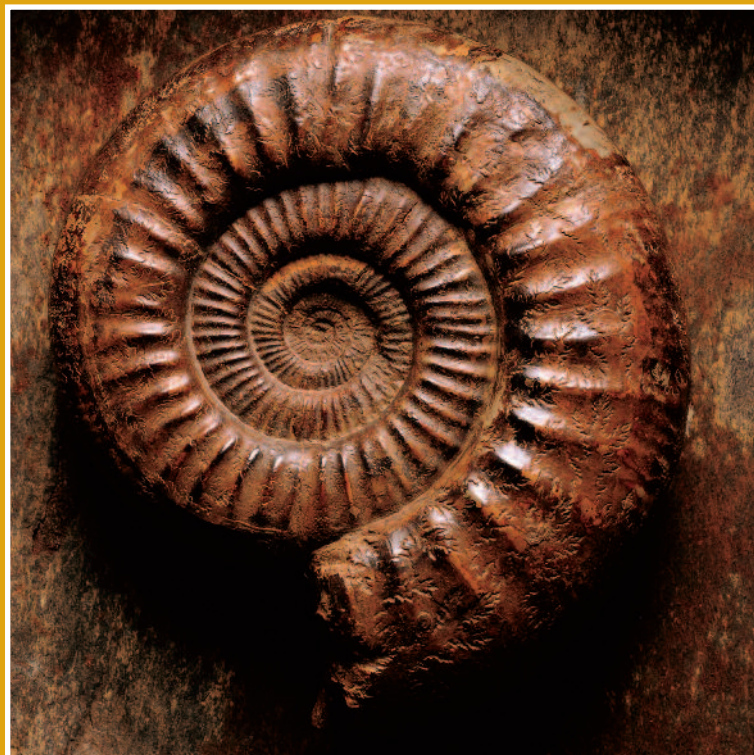
Konsept	Komponenter		Målepunkt	Årlig energibruk
B Lavenergi- bolig		Yttervegg: $U = 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$	Oppvarmingsbehov:	23 kWh/m ²
		Gulv: $U = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Yttertak: $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Totalt netto energibehov:	99 kWh/m ²
		Vinduer: $U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$		
		Gjenvinning & vifteeffekt: $\eta = 75 \%$, $SFP = 2.0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	Tilført energi:	99 kWh/m ²
		Tetthet/infiltrasjon: $N50 = 1.5 \text{ oms/t}$ $N = 0.08 \text{ oms/t}$		
		Lys og utstyr: $Q_{ys} = 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ $Q_{uts} = 21 \text{ kWh/m}^2\text{år}$	Vektet tilført energi:	99 kWh/m ²
		Energiforsyning: 100 % elektrisk		

Tabell 2.16
KONSEPT: PASSIVHUS LEILIGHETS-
BYGG

Konsept	Komponenter	Målepunkt	Årlig energibruk
A Passiv- hus	 Yttervegg: $U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$	Oppvarmingsbehov:	8 kWh/m ²
	 Gulv: $U = 0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	 Yttertak: $U = 0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$	Totalt netto energibehov:	83 kWh/m ²
	 Vinduer: $U = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	 Gjenvinning & vifteeffekt: $\eta = 80 \%$, $SFP = 1.5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	Tilført energi:	67 kWh/m ²
	 Tetthet/infiltrasjon: $N50 = 0.6 \text{ oms/t}$ $N = 0.05 \text{ oms/t}$		
	 Lys og utstyr: $Q_{ys} = 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ $Q_{uts} = 21 \text{ kWh/m}^2\text{år}$	Vektet tilført energi:	67 kWh/m ²
	 Energiforsyning: 100 % el. til oppvarming 50% sol til tappev. oppv.		

Tabell 2.17
KONSEPT: PASIVHUS+ (SUPER-
LAVENERGIHUS) LEILIGHETSBYGG

Konsept	Komponenter	Målepunkt	Årlig energibruk
A+ Passiv- hus+	 Yttervegg: $U = 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Oppvarmingsbehov:	5 kWh/m ²
	 Gulv: $U = 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	 Yttertak: $U = 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$	Totalt netto energibehov:	79 kWh/m ²
	 Vinduer: $U = 0.72 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	 Gjenvinning & vifteeffekt: $\eta = 84 \%$, $SFP = 1.5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	Tilført energi:	70 kWh/m ²
	 Tetthet/infiltrasjon: $N50 = 0.6 \text{ oms/t}$ $N = 0.05 \text{ oms/t}$		
	 Lys og utstyr: $Q_{ys} = 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ $Q_{uts} = 21 \text{ kWh/m}^2\text{år}$	Vektet tilført energi:	51 kWh/m ²
	 Energiforsyning: Sol-bio system dekker 100% av termisk behov		



3.1 Bygningsform, boligtype og energibruk

Bygningers form har mye å si for hvor energieffektive de er. Jo mer overflate de har i forhold til sitt volum eller oppvarmede gulvareal, dess større vil varmetapet fra bygget være. En kompakt bygning med enkle sammenføyninger gir generelt sett mindre varmetap enn en bygning med komplekst sammensatte volumer i en løsere struktur. Likeledes har arrangementen av boenheter mye å si for energikostnadene for hver enkelt boenhet. Jo mer yttervegg den enkelte enhet har, jo høyere varmetap vil den ha. For å illustrere dette illustrere dette vil vi kort omtale av fordeler og ulemper knyttet til ulike bygningstyper.

3.1.1 Småhus

Enebolig -figur 3.1: med eller uten utleieenheter. Gir relativt store overflater mot luft eller grunn, og dermed et potensielt høyt varmetap. Eneboliger har et relativt stort forbruk av tomt til fundament og atkomst. Rekkehus -figur 3.2: er boligheter som er vertikalt sammenføydd med andre enheter på en eller to sidevegger. Denne organiseringen gir besparelser både i energi- og tomtebruk. Småhus har varierende grad av tomtebruk til atkomst (noen prosjekter deler atkomst, parkering og avfallssystem).

3.1.2 Leilighetskomplekser

Terrassehus -figur 3.3: Boligheter som i varierende grad er både vertikalt og horisontalt forbundet og har fundament på sterkt hellende terreng. Organiseringen er meget kompakt og kan gi store besparelser både i energi- og tomtebruk. Terrassehus har ofte felles kanalføringer og avfallssystem og felles sentrale tekniske installasjoner, som enheter for oppvarming/ventilasjon. Denne byggeformen har ofte problemer med kuldebroer, særlig når bæresystemet er utført i betong, mur eller stål (eller kombinasjoner av dette). Gode løsninger for å redusere dette problemet er påkrevd for å oppnå lavt oppvarmingsbehov.

Blokkhus -figur 3.4: Lavblokk: 2-4 etasjer, høyblokk: 5+ etasjer (krever heis). Meget energi- og tomtebesparende organisering av boenheter. Felles atkomst og parkering. Deler vertikal atkomst til boenhetene, kanalføringer og avfallssystem. Ofte felles sentrale tekniske installasjoner, som enheter for oppvarming/ventilasjon. Har som terrassehus, betydelig utfordringer med hensyn til kuldebroer, særlig når bæresystemet er utført i betong, mur eller stål (eller kombinasjoner av dette).

Dette er kun generelle kommentarer til bygningstypene og det er store variasjoner innenfor hver kategori i forhold til energi- og ressursbruk. For eksempel kan et godt designet småhus prestere bedre energimessig enn en dårlig utført boenhet i et blokkhus. Likeledes vil ikke arealeffektivitet slå positivt ut på energibruken per m², ettersom utstyr konsentreres på mindre areal og det er vanskeligere å sonedele boligen, da mange funksjoner deler areal, hvorav noen ellers ville hatt reduserte temperaturer utenom brukstiden.

I gjennomsnitt bebos eneboliger av større husstander enn rekkehus, og rekkehus har større husstander enn blokk. Undersøkelser har vist eksempler på at energibruken per person er tilnærmet den samme i eneboliger, rekkehus og blokk, i bygninger bygd etter 1980. Dette har trolig sin årsak både i forskjeller i gjennomsnittlig husstandsstørrelse og at energistandarden i småhus de senere år har gjennomgått en forbedring vi ikke har sett tilsvarende i blokkbebyggelse, som eksempelvis ofte bygges med betydelige kuldebroer i fasadene.



Figur 3.1 Frittstående småhus



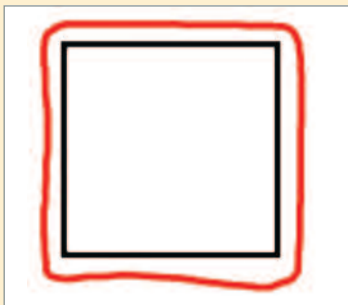
Figur 3.2 Kjedede småboliger



Figur 3.3 Terrassehus



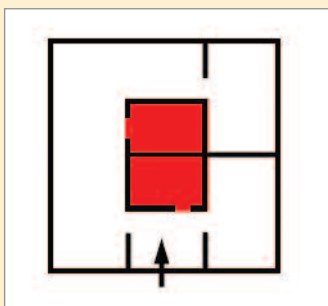
Figur 3.4 Høyblokk



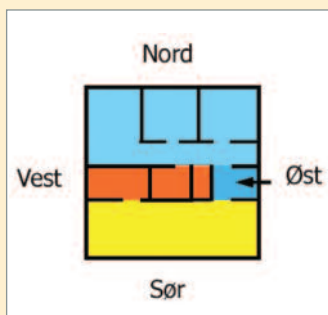
Figur 3.5
Illustrasjon av en kompakt bygningsform med lite overflate vs areal.



Figur 3.6
Illustrasjon av en bygningsform med mye overflate vs areal.



Figur 3.7
Eksempel på planløsning med de varmeste rommene plassert sentralt.



Figur 3.8
Eksempel på orientering av rom etter brukstid på døgnet og tilgang til lys og solvarme.

3.2 Energioptimale planløsninger og tekniske føringsveier

I tillegg til bygningens form, har den indre organiseringen av en boenhet mye å si for energibruken. Tekniske installasjoner som skal inn i boligen bør ha kortest mulige føringsveier for å redusere energitapet fra kanaler og rør. Å samle de tekniske føringene i en sentral kjerne sparer både lengden på kanalene og sørger for at spillvarme fra installasjonene kan brukes til å varme opp de riktige rommene i boligen. Å samle tekniske installasjoner på ett sted vil også lette vedlikehold og service. Korte og samlede tekniske føringsveier kan også redusere investeringskostnadene til tekniske installasjoner og nødvendige bygningsmessige inngrep (for eksempel nedforede himlinger) betydelig.

Videre bør rommene organiseres etter hvilke termiske behov de har. Varme rom som stue og kjøkken hvor man ønsker å holde litt høyere temperatur, bør ligge sentralt eller mot sør i boligen for å redusere varmetapet fra disse og for å utnytte varmetilskudd fra solen. Kalde rom, som soverom og boder, bør ligge mot nord. Disse kan også brukes som buffersone mellom varme rom og ute, slik at det blir mindre temperaturforskjeller på de to sidene av ytterveggen og at overskuddsvarme fra de varme rommene brukes til å varme opp kalde soner.

I forhold til bevegelse av luft og varme, bør bygget deles opp i soner som tar hensyn til de termiske behovene i forskjellige rom. Dette gjelder både innenfor én etasje og mellom etasjer, ettersom varm luft stiger. Med en slik oppdeling vil man redusere varmetapet fra varme soner til kalde soner, noe som kan gi behov for ytterligere oppvarming av varme soner og kanskje til og med behov for avkjøling av kalde soner, samt en opplevelse av trekk som følge av luftstrømmene i boligen. Det kan for eksempel være fornuftig å kunne lukke av inngangsarealer (entré, hall, vindfang). Et sonedelt styringssystem er effektivt til å styre temperaturene i forskjellige deler av boligen. Reduserte kostnader til strøm er gjerne på 10 % for en vanlig bolig. **Men det må nevnes at i godt isolerte og superisolerte bygg som lavenergiboliger og passivhus vil besparelsen være langt mindre, typisk fra 1-3 %.** Soning av bygget mht. varmetap er derfor av mindre betydning i slike boliger. Soning av bygget mht. termisk komfort om sommeren vil ofte være viktigere. For eksempel vil soverom i toppetasjen i boliger med store åpninger mellom etasjer kunne få overopphetingsproblemer om sommeren. Særlig vil dette kunne være et problem i boliger med store vindusarealer mot sør.

Eventuelle ildsteder bør ligge sentralt i bygget og i varme soner for å utnytte varmen maksimalt. Ildsteder med pipe som ligger utenpå eller inne i ytterveggen vil avgi en god del varme til utsiden/konstruksjonen som ikke kommer interiøret til gode. Slike løsninger er ikke å anbefale i lavenergiboliger og passivhus.

3.3 Fasadeutforming, dagslys og passiv solvarme

Fasader som utnytter direkte soltilskudd benytter seg av at glass enkelt slipper gjennom kortbølget solenergi, men i stor grad blokkerer langbølget stråling. Det kortbølgede lyset fra solen som transmitteres gjennom glasset, varmer opp overflater og interiør i rommet og avgis igjen som langbølget stråling. Den langbølgede strålingen transmitteres i liten grad ut igjen gjennom glasset, og det meste av solstrålingen varmer derfor opp boligen. Dette fenomenet kalles også for drivhuseffekten.

Bygget bør ha flest vinduer mot sør og færrest mot nord for å ta hensyn til varmetilskudd og varmetap mot forskjellige himmelretninger. Ved å organisere rommene etter når på døgnet de er i bruk, kan man utnytte lyset og redusere behovet for oppvarming og kunstig belysning.

For å utnytte soltilskudd og samtidig unngå overoppvarming, er det en fordel at boligen har en viss varmelagrende evne. Varmelagrende konstruksjoner er eksponerte tunge konstruksjoner som betong, tegl og annet murverk. Disse vil absorbere varme om dagen og frigi den om natten. Massive trekonstruksjoner, som for så vidt har en viss masse, har begrenset varmelagringseffekt siden varmemotstand i tre er såpass stor.

Bruk av direkte tilskudd av solvarme er en av de billigste løsningene for å utnytte solenergi, ettersom det ganske enkelt kan innebære å ha sørfasader med store vindusflater. Prinsippet fungerer også utmerket for takvinduer. Imidlertid er det også noen faktorer man bør være oppmerksom på. Man må unngå overoppheting og blanding av rommene innenfor, og funksjonene i arealene som er eksponert for solen bør tåle noe svingninger i temperaturen. Gulv, vegger og himlinger som brukes som termisk masse må ikke tildekkes. Det vil si at bruk av tepper eller lignende overflatematerialer med betydelig isoleringsevne vil redusere den effektive varmelagringsevnen betydelig.

Det er også mulig å bruke buffersoner for å stabilisere temperaturen i oppholdsrom. Dette kalles indirekte soltilskudd. Glassrom mot sør kan både regulere tilskudd av solvarme til bakenforliggende rom og fungere som en isolerende sone. Glassrommet kan være knyttet til bygningen på mange måter. Varm luft overføres til bakenforliggende rom gjennom dører, vinduer og ventiler. Disse kan stenges for å regulere tilskuddet og for å hindre varmetap fra bakenforliggende rom i kalde perioder med lite sol. Solrommet kan være mer eller mindre innkapslet i bygningskroppen eller være føyd til som et selvstendig, utenpåliggende element. Rommet vil store deler av året kunne fungere som et oppholdsrom. Et slikt halvklimalisert rom med stor kontakt mot eksteriøret er for mange en svært positiv tilføyelse til en bolig. Det bør imidlertid ikke varmes opp eller avkjøles for å forlenge bruksperioden på grunn av de dårlige termiske egenskapene slike rom gjerne har.

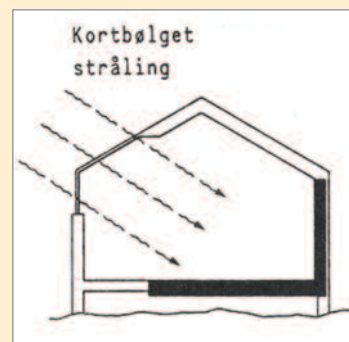
I forbindelse med lavenergiboliger og passivhus, og for så vidt normale boliger også, er erfaringene dessverre at disse buffersonene (atrium/solrom) blir åpnet mot resten av huset i fyringssesongen, slik at varmetapet/oppvarmingsbehovet for huset som helhet øker og ikke reduseres i tråd med intensjonen for slike rom.

For å forhindre overoppheting av solrommet er det nødvendig å ha ventiler til utsiden. Luftinntak og avtrekk bør hver ha et areal på ca 5% av det totale sørvendte glassarealet. Likeledes bør åpninger til interiøret til sammen tilsvare ca. 10% av det totale sørvendte glassarealet. Bruker man vifter, kan man ha mindre åpninger. Dimensjonering av nødvendig termisk masse avhenger av hvordan man skal bruke rommet. Er det hovedsakelig brukt som en solfanger, er behovet for termisk masse mindre. Brukes rommet mye som oppholdsrom, bør det ha mer termisk masse for å jevne ut temperatursvingningene.

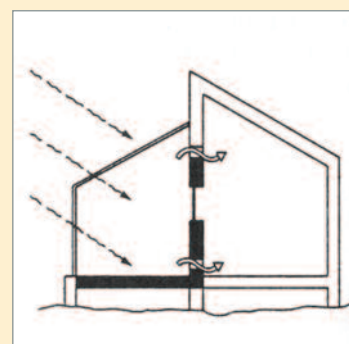
Dobbeltfasader er et stadig vanligere prinsipp, spesielt i leilighetsbygg. En dobbeltfasade består av en fasade i glass som er lagt utenpå en "ordinær" fasade. Ytterfasaden består som regel av et enkelt lag glass og kan være helt eller delvis åpnbar. Hulrommet er vanligvis ca. 50 cm bredt, og kan romme f.eks solskjerming/dagslyssystemer, ventilasjon eller kjøleinstallasjoner. Innerfasaden er helt eller delvis i



Figur 3.9
Typisk styringssentral for småbolig med mulighet for å programmere inn ulike temperaturer i forskjellige soner av huset. (Bilde: NOBØ)



Figur 3.10
Direkte solvarmetilskudd.



Figur 3.11
Solrom

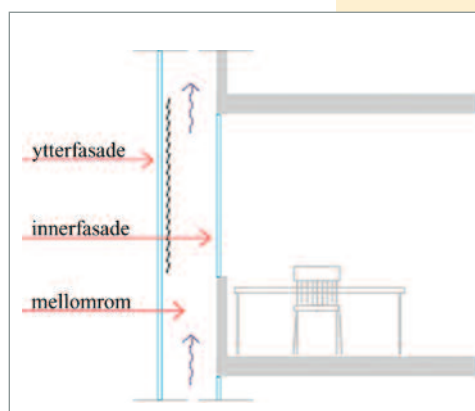


Fig 3.12
Prinsipiell oppbygging av en dobbeltfasade.

glass (som regel 2 lags isolerglass eller energiglass) og den har vanligvis åpnbare vinduer. Av hensyn til brannsikkerhet og lydisolering, kan fasaden være avdelt horisontalt mellom etasjene, og/eller vertikalt mellom rom i samme etasje.

Fordelene med dobbeltfasader i forhold til enkle fasader:

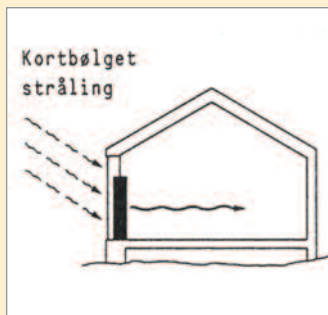
- Kan gi reduksjon av oppvarmingsbehovet ved å virke som termisk buffer og ved å forvarme ventilasjonsluft.
- Kan gi reduksjon av elektrisitetsbehovet til drift av ventilasjonsanlegg ved å gi bidrag til naturlig ventilasjon.
- Kan gi reduksjon av effektbehovet til oppvarming, ventilasjon og kjøling, og dermed mindre kostbare installasjoner.
- Gir bedre termisk komfort om vinteren fordi innvendig glassflate blir varmere.
- Beskytte solavskjerming mot vær og vind.
- Gi mulighet for å åpne vinduene i høye og vindutsatte bygg.
- Gi bedre lydisolasjon mot omgivelsene, f.eks. trafikkstøy.
- Kan frigjøre bruksareal, ved at man benytter dobbeltfasaden som føringsvei for ventilasjons- og kjøleanlegg.

Problemer/utfordringer med doble fasader:

- Kan gi problemer med overoppheting om sommeren hvis man ikke sørger for god solskjerming og utlufting av dobbeltfasaden.
- Vil medføre høyere investeringskostnader enn en tradisjonell enkeltfasade (60-80%), selv om innerfasaden kan være enklere.
- Gir større glassoverflater å vaske.
- Kan gi redusert dagslysnivå inne i rommet, pga flere lag glass og eventuelle horisontale skott.
- Kan gi større lydoverføring mellom naborom
- Kan gi større fare for brann- og røykspredning

I lavenergiboliger og passivhus med godt isolerte fasader, og balansert ventilasjon vil energibidraget fra dobbeltfasader være veldig beskjedent.

En spesiell type dobbeltfasade er trombevegger. På en sørvendt vegg med stor termisk lagringsevne legger man et lag glass (med et luftrom mellom disse). Dette er det samme prinsippet som for solrom, men er ikke plasskrevende og kan relativt enkelt installeres på eksisterende bygninger. Veggen bak glasset er mørk for å absorbere mest mulig stråling. En trombevegg brukes når det hovedsakelig er solvarmen og ikke sollyset som er ønsket i interiøret. Den brukes ofte i kombinasjon med direkte tilskudd gjennom vinduer, da det er sjelden man ønsker å lukke sørfasaden helt for lysinntak. Det fins også varianter der man bruker beholdere med vann som termisk masse. Dette er ofte utført som stående sylindere med vann. Disse kan behandles på en rekke måter for å øke effektiviteten, men transparente sylindere med klart vann har også gode egenskaper for absorpsjon og lagring av varme og slipper samtidig gjennom lys til interiøret. Trombeveggen passer godt for bygninger med stort varmebehov men mindre behov for dagslys. Imidlertid er systemet dyrere enn for direkte tilskudd og det passer ikke så godt for klimaer med lange perioder med overskyet vær.



Figur 3.13
Trombevegg

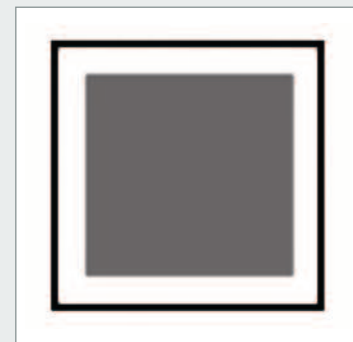
I passivhuskonseptet og også for vanlige lavenergikonsepter vil trombevegg passe relativt dårlig, siden løsningen øker varmetapet i kalde perioder uten sol. I varme og solrike perioder der trombeveggen vil kunne gi betydelige energitilskudd, vil kun en liten del av dette kunne brukes til oppvarming av bygget pga. det lave varmetapet fra slike bygg. Trombeveggen kan imidlertid være et alternativ der man ønsker å bruke prinsippet i en naturlig ventilasjonsløsning med passiv forvarming av ventilasjonsluft.

3.4 Dagslys krav kontra energikrav

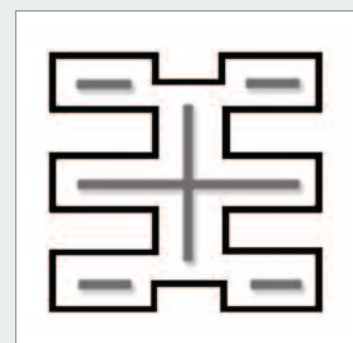
Når man vurderer ulike måter å utnytte solenergi på, er dagslys en faktor som absolutt må tas med. Dagslys som kommer inn i en bygning kommer som direkte sollys, som diffus stråling fra klar himmel og skyer eller som reflektert lys fra omgivelsene. Dagslys er viktig for både psykisk og fysisk helse og bidrar blant annet til opplagthet og bedre konsentrasjon. Det er derfor essensielt å inkludere dagslyset i design av bygninger. Byggeforskriftene [9] gir også minstekrav til lys og dagslys i oppholdssoner.

Et problem i forholdet mellom bygningers energibruk og utnyttelse av dagslys er de motstridende kravene til bygningens form. En bygning med kompakt volum avgir lite varme, men har tilsvarende lite tilgang til dagslys. Jo mer overflate en bygning har, jo mer tilgang har den til dagslys, men samtidig øker varmetapet. Avveiningen mellom de to aspektene bør sees i forhold til hvordan bygningen skal brukes. I dype rom og dype bygninger er det viktig å bruke høysittende vinduer og glassflater, da disse vil bringe dagslyset lenger inn i rommet enn lavt plasserte vinduer. Man må vurdere hvor mye areal som bør ha tilgang til fasaden for å finne et akseptabelt forhold mellom overflate og volum. Ulike rom har også ulike krav til dagslys og utsikt, noe man bør ta hensyn til ved utforming av planløsninger og fasader.

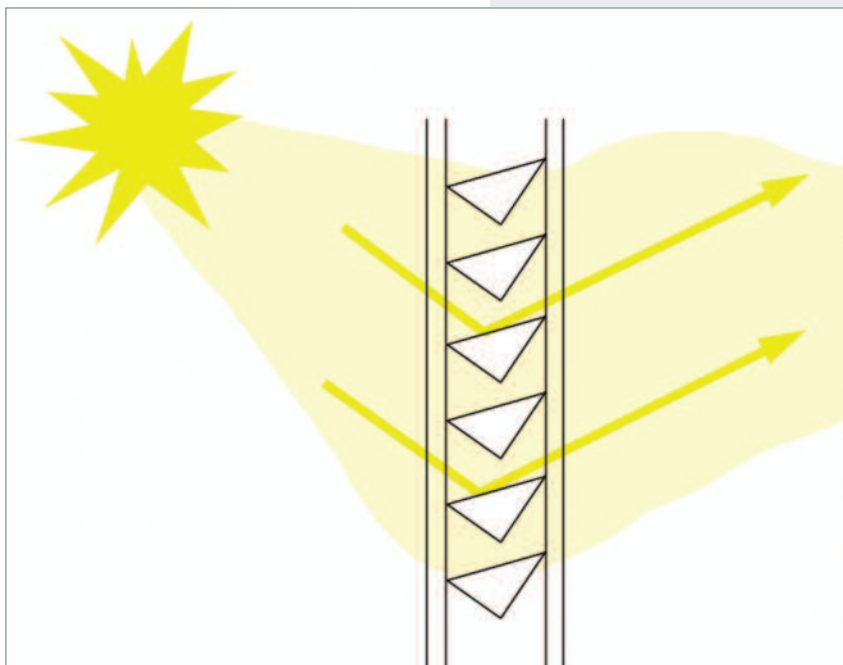
Dagslyssystemer distribuerer og tilpasser dagslyset etter behovet innenfor. Alt lys er strålingsenergi som vil absorberes og omvandles til varme. Sammen med det synlige lyset, mottar vi også en stor del infrarød stråling. Store deler av året er all denne varmen et positivt tilskudd, men den kan også være et problem i perioder. Samtidig som man kan se seg nødt til å stenge ute varmetilskuddet, kan man ønske å nytte dagslyset. Det er også et problem å tilføre for store mengder dagslys, da dette kan føre til blinding og ubehag. Et dagslyssystem som skjermer for direkte lys og regulerer lysmengden kan være hensiktsmessig. Ligger systemet utenfor glasset, vil absorbert varme ikke bli tilført rommet. Av de ovenstående systemene er prinsippet for direkte tilskudd det som enklest lar seg kombinere med å utnytte dagslyset i interiøret.



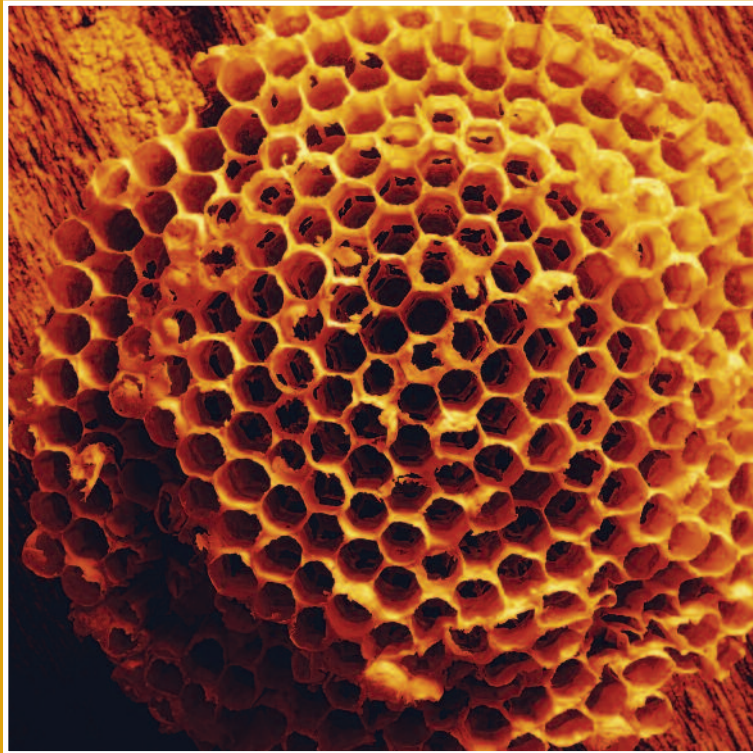
Figur 3.14
Kompakt bygning med lite dagslystilgang for store deler av arealet.



Figur 3.15
Bygningsform som gir god dagslystilgang for store deler av arealet.



Figur 3.16
Dagslyssystem som skjermer mot direkte sol men distribuerer diffust lys dypt inn i rommet.



4.1 Ekstraisolerte konstruksjoner

Med ekstraisolerte konstruksjoner menes her gulv-, yttervegg, eller takkonstruksjoner som er isolert utover kravet i dagens byggeforskrifter. Tabell 4.1 viser dagens krav til U-verdier [9], og ca. hvilken isolasjonstykkelse man må ha for å tilfredsstille kravet.

Tabell 4.1
Krav til U-verdier i dagens forskrifter med tilhørende nødvendig isolasjonstykkelse

Konstruksjon	Krav U-verdi (W/m ² K)	Tilnærmet isolasjonstykkelse
Yttervegg	0.22	200 mm
Yttertak	0.15	275 mm
Gulv/gulv på grunnen	0.15	250/200 mm ¹

4.1.1 Yttervegger

Det er rekke måter å bygge opp en ekstraisolert vegg på. Det har også mye å si hvilket hovedmateriale og/eller bærekonstruksjon veggene er bygget opp av, for eksempel trekonstruksjon, murkonstruksjon, betongkonstruksjon, stålkonstruksjon, eller kombinasjoner av disse. Valg av ytterkledning og innerkledning kan også ha betydning for oppbygging av veggene. De mange kombinasjonene for å oppnå en ekstraisolert veggkonstruksjon vil ikke bli beskrevet her. Det vises til Byggforsk anvisning 40 [10] for oversikt over aktuelle konstruksjoner for norske forhold. Passivhus-instituttet (www.passive.de) har også beskrevet en rekke ulike konstruksjoner for superisolerte vegger, men de er ofte spesielle for tyske og mellom-europeiske forhold, og de fleste er lite aktuelle i Norge.

¹ Med 250 mm er det regnet med at det er kryprom eller en kald kjeller under. Med 200 mm isolasjon er det regnet med gulv på grunn isolert med ekspandert polystyren.

Men viktige prinsipper for utforming av ekstraisolerte konstruksjoner er:

- Etterstrebe en så tynn veggkonstruksjon som mulig for å oppnå en gitt U-verdi. Dette sparer dyr gulvplass og gir mindre "fotavtrykk" på tomten som gir reduserte kostnader til fundamentering.
- Tunge mur og betongkonstruksjoner mot grunnen bør ikke isoleres utelukkende på innsiden. Dette gir fare for kondens og dermed råteskader på sikt. Tommelfingerreglen er at minst 1/3 av isolasjonsverdien (varmemotstanden) er plassert på utsiden av mur/betongveggen.
- Lettvegger med bindingsverk i metall vil pga. kuldebroeffekten ha vanskelig å oppnå lave nok U-verdier for lavenergi- og passivhusstandard, med rimelige isolasjonstykkelser.

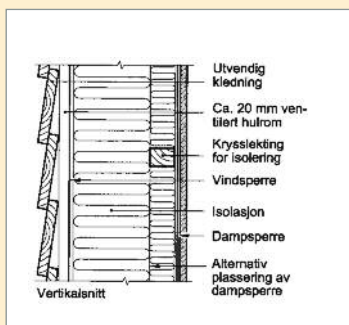
Yttervegger mot det fri

Ser man på yttervegger som vender mot det fri vil det utfra det ovenfor nevnte ofte være mest kostnadseffektivt å bygge en eller annen form for bindingsverksvegg i tre.

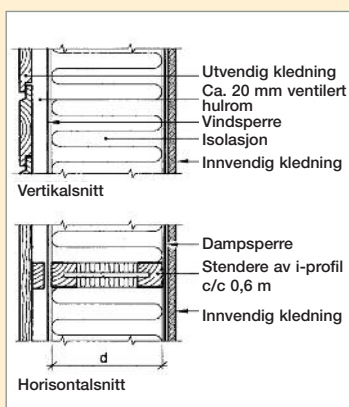
Selv om treverk er den bærende konstruksjonen med best isolerende evne, er det også her best å bruke så lite treverk som mulig. Det er også best å unngå gjennomgående bindingsverk i ytterveggskonstruksjonen. Aktuelle ytterkonstruksjoner i tre som tilfredsstiller dette er:

- Vanlig bindingsverksvegger med isolert krysslekting utvendig og/eller innvendig.
- Ytterveggskonstruksjoner der man bruker I-profil stendere.
- Dobbelteggskonstruksjoner, der man bruker to bindingsverksvegger som er forskjøvet i forhold til hverandre.

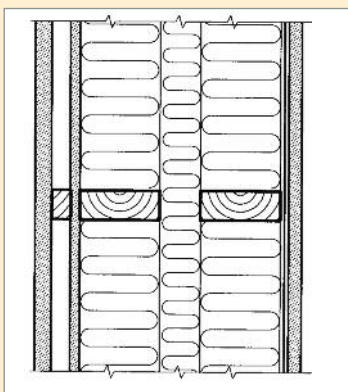
Figur 4.1, 4.2 og 4.3 viser noen aktuelle ekstraisolerte ytterveggskonstruksjoner i tre. For ytterligere eksempler vises det til [10]. Alle de tre prinsippene er brukt i lavenergibolig-prosjekter i Norge. Erfaringen er at krysslektede bindingsverksvegger pr. i dag trolig er den mest arbeids- og kostnadseffektive



Figur 4.1
Eksempel på innvendig krysslektet ytterveggkonstruksjon. Fra Byggforsk anvisning 40 [10], med tillatelse av Byggforsk.



Figur 4.2
Eksempel på yttervegg med I-profil stendere. Fra Byggforsk anvisning 40 [10], med tillatelse av Byggforsk.



Figur 4.3
Eksempel på dobbel bindingsverksvegg. Fra Byggforsk anvisning 40 [10], med tillatelse av Byggforsk.

løsningen, men dette avhenger også av valg av bl.a. inner- og ytterkledning. Dobbeltveggs-konstruksjoner har også gode støydempende egenskaper, og kan være en god løsning der det er krav eller ønske om ekstra støydemping (f.eks. trafikkerte områder).

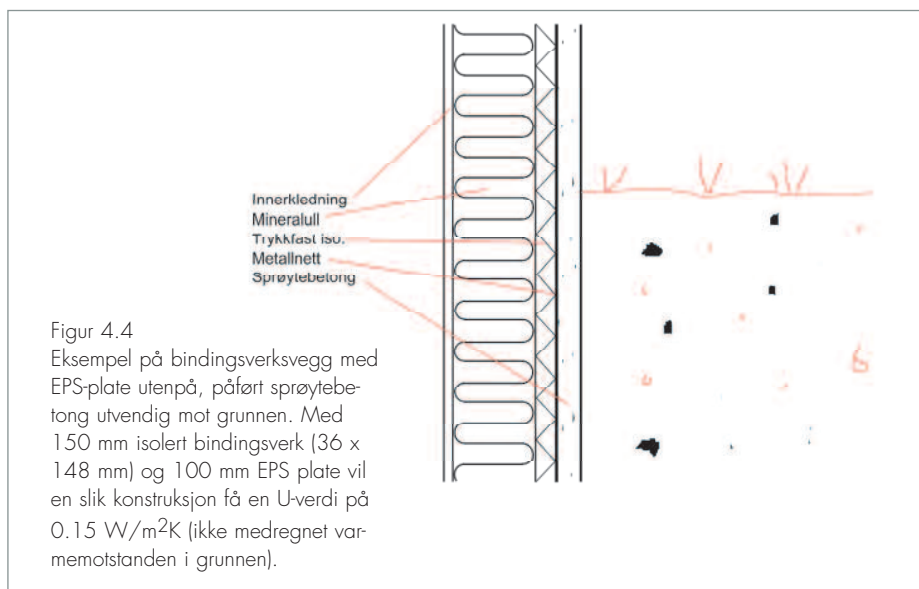
Yttervegg mot grunnen

For yttervegger mot grunnen må man ha en konstruksjon som tåler noe fuktighet og har stor bestandighet. Rene bindingsverksløsninger er derfor sjelden brukt. Mest brukt er betong eller murkonstruksjoner, som er isolert på en eller annen måte. Vanligvis brukes det ekspandert polystyren (EPS) eller polyuretanskum som isolering i slike konstruksjoner.

Isolerte lettklinkerblokker er en mye brukt løsning der man ønsker kun en murvegg uten innvendig tilleggisolering. Med 300 mm blokk vil denne løsningen gi en brukbar U-verdi for selve veggfeltet, men kuldebroer i U-blokk (øverste armerte utstøpte blokk) og i hjørner fører til at den totale U-verdien for veggen blir rundt dagens forskriftskrav, dvs. for høyt i forhold til det som kreves for en lavenergibolig eller passivhus. Stor oppfyllingshøyde kan hjelpe noe på dette. For mer informasjon vises det til Byggforsk anvisning 40, [10].

Et annet alternativ er isolerte forskalingselementer som fylles med betong, der inner- og yttervange vanligvis består av EPS. Denne løsningen, rett utført, vil også ha lite kuldebroer. Avhengig av tykkelsen på vangene i EPS kan disse få U-verdier som er godt under $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$, se også [10]

En mulig løsning for vegger mot grunnen som skal ha stor isoleringsevne, er vist i figur 4.4. Dette er en vanlig bindingsverksvegg, som er isolert utvendig med etasjehøye plater i EPS og påført sprøytebetong utvendig (armert med armeringsnett). Med moderate tykkelser på veggen kan man få relativt lave U-verdier. Dette blir også en konstruksjon som har neglisjerbare kuldebroer, hvis utført korrekt.



4.1.2 Gulv

Som for yttervegger har man også for gulv at de kan enten vende mot grunnen, da ofte kalt plate på mark, eller at de vender mot det fri, eller mot uoppvarmede rom. Uoppvarmede rom kan for eksempel være en kald kjeller, garasjeanlegg eller et kryprom.

Plate på mark (gulv på grunn)

For løsninger med plate på mark som isoleres på undersiden av betongplaten, bruker man vanligvis plater i ekspandert polystyren (EPS) eller trykkfast mineralull. Et problem med EPS-plater er at det lett kan oppstå gliper mellom platene, og dermed punktvis dårligere varmeisolasjon i gulvet (kuldebroer). Dette kan avhjelpes ved å bruke EPS-plater med fals.

U-verdien for gulv på grunn er, i tillegg til isolasjonstykkelsen, avhengig av gulvets form og størrelse, samt grunnens termiske egenskaper. For en normal enebolig vil man oppnå en U-verdi på $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ med 180-200 mm isolasjon. I en lavenergi- eller passivhus hvor man ønsker U-verdier ned mot og under $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$, må man isolere med 250 til 350 mm isolasjon. Det er fornuftig å bruke noe mer isolasjon langs randsonen av gulvet, der varmetapet er størst.

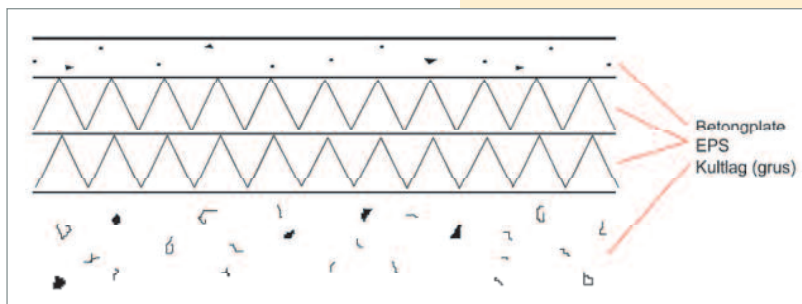
Et alternativ til støpt plate som er isolert under, er isolasjon rett på kullaget med flytende gulv ovenpå isolasjonen (for eksempel 22 mm sponplater). Denne løsningen forutsetter at man komprimerer og nivellerer kullaget (gruslaget) godt før man isolerer. Det flytende gulvet bør også først legges når man har tak over råbygget, for å ikke innebygge fuktighet i gulvkonstruksjonen.

Et annet alternativ er oppforet tilfarergulv som legges på en uisolert støpt plate. Dette fordrer imidlertid relativt høye tilfarerbjelker for å få U-verdier ned mot $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$, og er derfor lite brukt.

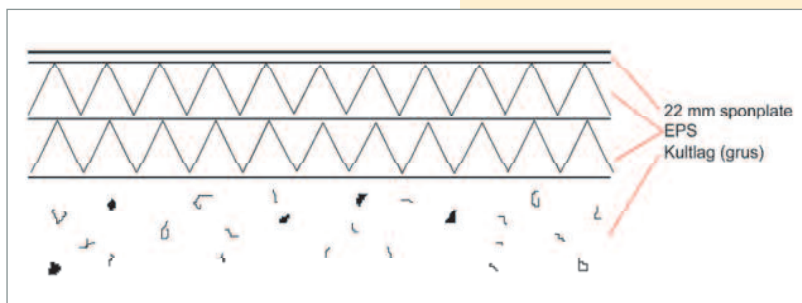
For mer informasjon om U-verdier for gulv på grunn vises det til [10].

Gulv mot kald kjeller eller kryprom

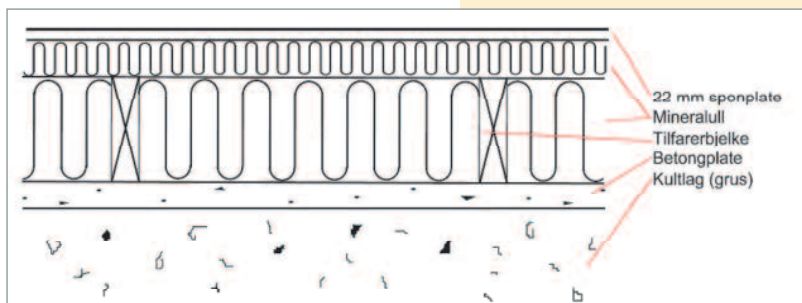
For gulv mot kald kjeller eller kryprom kan det forenklet regnes med at disse har en varmemotstand på ca. $1.0 \text{ m}^2\text{K/W}$, som angitt i NS 3031 [11]. Denne ekstra varmemotstanden kan adderes til varmemotstanden i selve gulvkonstruksjonen.



Figur 4.5 a.
Golv på grunnen – isolert gulv med støpt plate.



Figur 4.5 b.
Golv på grunnen - isolert lett flytende gulv direkte på kullag .

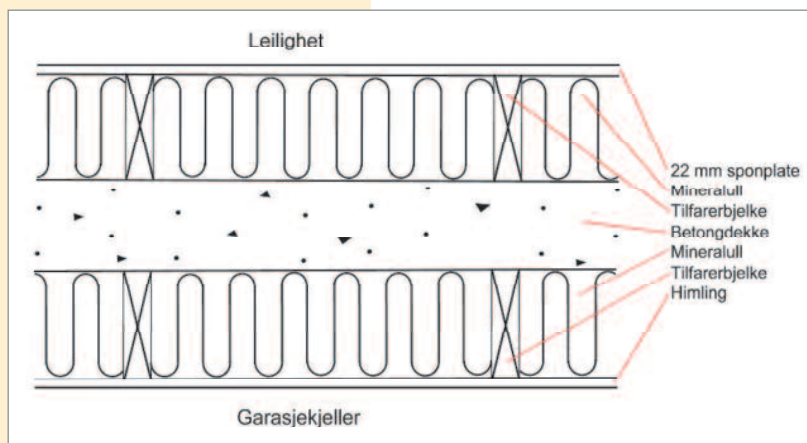


Figur 4.5 c.
Golv på grunnen - støpt plate med tilfarergulv.

For småhus blir det ofte brukt vanlig isolerte trebjelkelag mot kalde kjellere eller kryprom. For å nå ønskede U-verdier for lavenergiboliger og passivhus er det flere måter gjøre det på:

- Bruke I-profil bjelker, med stor steghøyde
- Lekte/fore ned og isolere under bjelkelaget
- Legge trykkfast isolasjon og flytende gulv ovenpå gulvet, alternativt fore opp gulvet med tilfarere.

For å nå lavenergibolig- eller passivhusstandard, er det behov for en isolasjonstykkel fra 300 til 450 mm.



Figur 4.6

Aktuell isoleringsløsning i boliger med etasjeskiller i betong, med isolasjon både over og under betongdekket.

For leilighetskomplekser blir det ofte brukt støpte dekker mot kald kjeller eller garasjeanlegg. I slike tilfeller, for lavenergiboliger og passivhus, blir det i mange tilfeller brukt nedforet isolert bjelkelag/himling under, og i tillegg blir det lagt et isolert tilfarergulv over etasjeskilleren i betong. Isolasjon over dekket er vanligvis mer kostnadseffektivt enn under dekket, men gir en viss fare for kondensering. Isolasjon kun under dekket er også mulig med garasjehimlingssystemer, men gir ofte betydelig problemer med kuldebroer ifbm. bærende elementer.

4.1.3 Yttertak

Yttertak er vanligvis det stedet hvor det er enklest og mest kostnadseffektivt å isolere med store isolasjonstykkelser. Dette gjelder særlig der yttertaket vender mot kaldt loft, men også på flate tak eller pulttak der isolasjonen legges på oversiden av den bærende konstruksjonen. I bygg med skrå sperretak, vil det ofte være mer kostbart å gå opp til veldig store isolasjonstykkelser.

Skråtaksløsninger

Som sperrer brukes det vanligvis konstruksjonsvirke, men også I-profiler brukes noe. Med konstruksjonsvirke som normalt er begrenset til 9" (48 x 223 mm), må man fore på og/eller krysslekte både på oversiden og undersiden av sperren for å få tilstrekkelig isolasjonstykkel for lavenergiboliger og passivhus. Med vanlig konstruksjonsvirke kan det være aktuelt å gå opp i en isolasjonstykkel på 300-350 mm, som gir en U-verdi i området 0.12-0.14 W/m²K. Er det behov for enda bedre U-verdi vil det trolig være fornuftig å gå over til I-profil-sperrer. Men det er også mulig å bruke limtre-bjelker.

Med I-profil sperrer er store isolasjonstykkelser enklere, da man enkelt bare kan gå opp på steghøyden. Her er det mulig å isolere med over 400 mm, og få U-verdier under 0.10 W/m²K.

Det må også nevnes at skråtaket ofte bare er en del av yttertakflaten, og at horisontale og vertikale deler av takflaten (hanebjelker og knevegger), enklere og rimeligere kan isoleres med store isolasjonstykkelser, og dermed kompensere noe for mindre isolasjonstykkel i skråflatene.

Yttertak mot kaldt loft

For takstoltak med kaldt loft som vist i figur 4.8, er det vanligvis uproblematisk og kostnadseffektivt å isolere med store isolasjonstykkelser. Opp til 400-500 mm isolasjon gir U-verdier under 0.10 W/m²K. Slike loft isoleres vanligvis med tradisjonelle mineralullplater, men isolasjon kan også innblåses med granulat (mineralull eller tilsvarende). Innblåsning kan gi bedre tilpasning rundt takstolkonstruksjonen, og dermed i praksis noe bedre isoleringsevne.

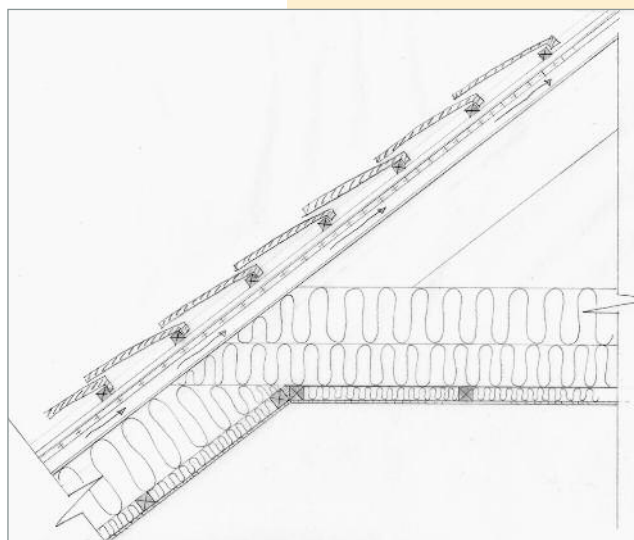
Man kan ved beregning av U-verdien også ta med en varmemotstand for det kalde loftsrommet på $0.5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ [11].

Flate tak og pulttak

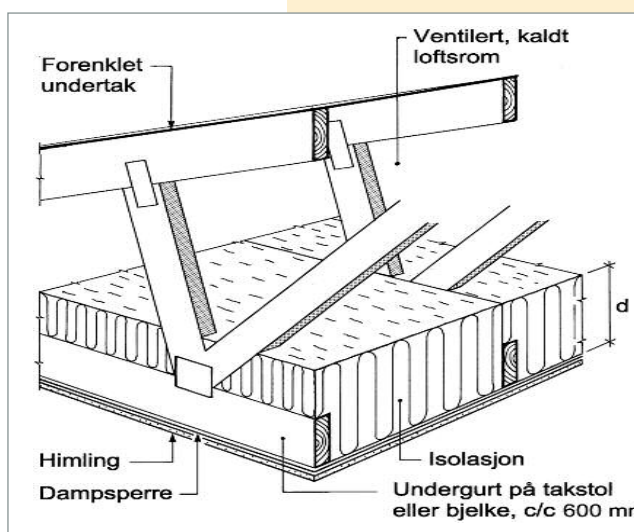
Flate tak brukes mye på større bygninger og leilighetskomplekser, og bærende konstruksjon er da vanligvis i betong (elementer eller plasstøpt). Det isoleres da vanligvis på oversiden av betongdekket, og det brukes enten EPS plater eller trykkfast mineralull (eller en kombinasjon). Ovenpå isolasjonen legges det vanligvis sveiset papp. Det er vanligvis uproblematisk og kostnadseffektivt å bruke store isolasjonstykker, typisk 400-500 mm for å oppnå U-verdier ned mot og under $0.10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ for lavenergiboliger og passivhus.

Flate tak kan også utføres som prefabrikerte lettkonstruksjoner der bæring besørges av stålprofiler integrert i en trekonstruksjon. Taket kommer da i elementer ferdig isolert til byggeplass. Disse elementene har i seg selv en U-verdi ned til $0.13 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (element med høyde ca. 450 mm). For å få U-verdi ned mot og under $0.10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ må man i tillegg isolere ovenpå elementet (trykkfast isolasjon), eller isolere himling under elementet.

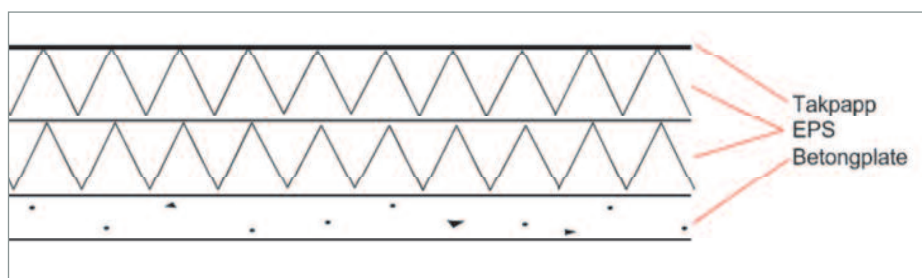
Pulttak tilsvarer prinsipielt flate tak, bortsett fra at pulttak oftest har utvendig avløp fra taket, mens det for flate tak oftest er innvendig avløp.



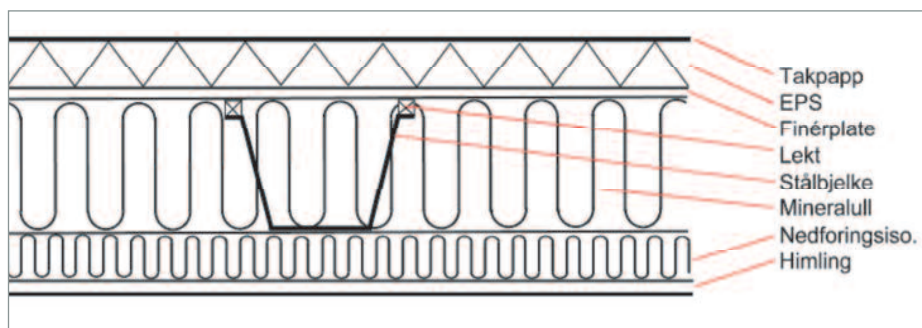
Figur 4.7
Skråtak med nedforing og kryssløking, for å oppnå en U-verdi på $0.13 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.



Figur 4.8
Tretak (takstolkonstruksjon) med kaldt loft. Figur fra Byggforsk anvisning 40 [10], med tillatelse av Byggforsk.



Figur 4.9
Takkonstruksjon med bærende betongdekke, isolert med flytende trykkfast isolasjon.



Figur 4.10
Takelement med prefabrikkert lettkonstruksjon, isolert ovenpå med flytende trykkfast isolasjon.

4.2 Kuldebrofrie konstruksjoner

Kuldebroer er områder og punkter i klimaskjermen med betydelig dårligere isolasjonsevne enn omkringliggende konstruksjon. I tillegg til å øke varmetapet kan kuldebroer føre til lave overflatetemperaturer og dermed dårlig termisk komfort. Kuldebroer og lave overflatetemperaturer kan også føre til såkalt støvkondensering (innvendig støvansamling på kalde områder av konstruksjonen), samt kondensering av vann med tilhørende risiko for muggvekst. Særlig er bygg med dårlig ventilasjon og høy fuktproduksjon inne (for eksempel klestørking) utsatt for dette.

Lineære kuldebroer (kuldebroer med en viss lengde) blir målt med kuldebroverdien, Ψ (W/mK), som sier hvor stort varmetap kuldebroen medfører for en meter lengde av kuldebroen med 1 grad temperaturforskjell mellom ute og inne⁶. I et veggfelt med areal A , som inkluderer en kuldebro Ψ med lengden l , vil en effektiv U -verdi for veggfeltet være:

$$U_{eff} = U + \Psi \frac{l}{A} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (4.1)$$

der U er U -verdien for veggfeltet uten kuldebro. Det er ikke noe direkte krav til kuldebroer i dagens byggeforskrifter, annet enn at de skal tas hensyn til når man beregner U -verdier for ulike bygningsdeler.

I lavenergiboliger og passivhus bør man etterstrebe tilnærmet kuldebrofrie konstruksjoner, både av komfort- og energihensyn. Følgende tommefingerregler kan brukes til å utforme konstruksjonsløsninger uten signifikante kuldebroer:

1. Forsøk å få et gjennomgående og tykkest mulig isolasjonslag på utsiden av bærekonstruksjonen.
2. Forsøk å unngå eller minimer gjennomgående punkter i klimaskjermen i form av søyler, bjelker eller lignende bærekonstruksjoner. Dette gjelder særlig for tunge bærekonstruksjoner.
3. For lavenergiboliger bør man etterstrebe minimum 50 mm kuldebrobryter/isolasjonssjikt over bærekonstruksjon i tre, og minimum 100 mm isolasjonsoverdekning over tunge konstruksjoner i betong, mur eller stål.
4. For passivhus bør man ha minimum 150 mm isolasjonsoverdekning over tunge konstruksjoner.
5. Forsøk å unngå samvirkende kuldebroeffekt mellom tunge- og lette bærekonstruksjoner, eksempelvis utfyllende bindingsverk i betong/stålkonstruksjoner.
6. Unngå for all del konvektive kuldebroer, dvs. luftlekkasjer rundt kuldebrofelter/punkter i konstruksjonen. Dette vil kunne kjøle ned konstruksjonen og forsterke kuldebroeffekten kraftig. Risikoen for dette er særlig stor i forbindelse med søyler, bjelker eller dekker som går gjennom klimaskjermen.

Beregner man kuldebroverdien⁷ (ψ) for lineære kuldebroer, bør ikke verdien overstige 0.08 W/mK for lavenergiboliger, og 0.03-0.04 W/mK for passivhus, her beregnet med utgangspunkt i innvendig areal.

⁶ Det må skilles på kuldebroverdier regnet ut fra innvendige eller utvendige arealer. I Norge har det vært tradisjon for å regne kuldebroer og transmisjonstap med innvendige arealer, mens det i tysk-talende land brukes utvendig areal. Passivhus-instituttets kuldebroverdier og kuldebrokrav er derfor gitt ut fra utvendig areal.

⁷ Kuldebroverdier for lineære kuldebroer kan beregnes med 2-dimensjonale numeriske beregningsmodeller (dataverktøy), som er basert på differens- eller elementmetoder. Et slikt verktøy, utviklet i Sverige er HEAT 2 se www.buildingphysics.com. Dette programmet er basert på differensmetoden, og regner etter gjeldende europeiske standarder.

4.2.1 Småhus i tre

I småhus bygget hovedsakelig i tre vil det normalt være relativt små kuldebroer. Men det er noen punkter man må være klar over:

1. Generelt er overganger tre-mur kritiske punkter.
2. Spesielt vil U-blokker i øverste skift på grunnmurer i lettklinker normalt være en betydelig kuldebro, som det også er vanskelig å gjøre noe med. Kuldebroverdien for slike blokker varierer noe for ulike produsenter. Påstøp/avretting av grunnmurskrone vil også kunne danne en betydelig kuldebro, og bør helst unngås (krever nøyaktig muring).
3. Overgang gulv på grunn – yttervegg i tre er også et kritisk punkt. Prefabrikerte ringmurselementer i EPS⁹ er å foretrekke. Det finnes i dag ringmurselementer som har kuldebroverdi helt ned i 0.01 W/mK, noe som er meget lavt.

Det vises ellers til [10] for mer informasjon om kuldebroer og kuldebroverdier for ulike konstruksjonsløsninger.

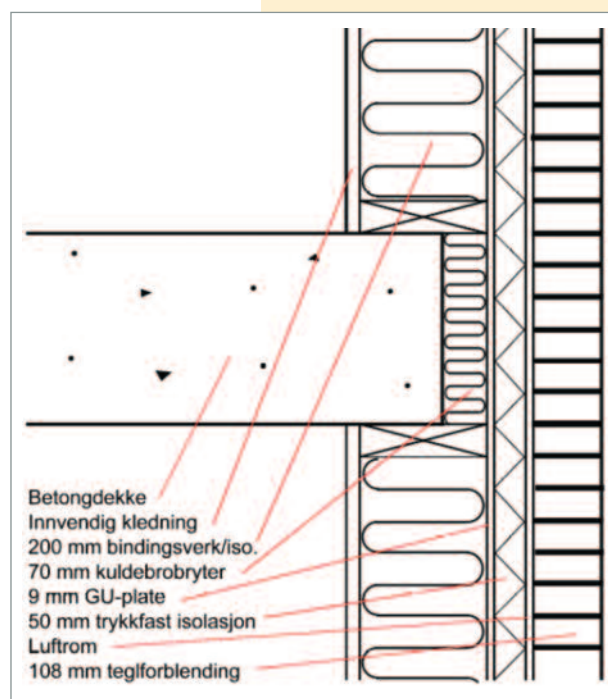
4.2.2 Mur- eller betongbygg

I bygg med bæresystem i mur, betong eller stål (ofte en kombinasjon) vil kuldebroer kunne stå for en stor del av transmisjonsvarmetapet (20 – 40 %), hvis det ikke tas spesielt hensyn til problemet. Slike tunge bære- og skillekonstruksjoner blir gjerne brukt i større leilighetsbygg på grunn av konstruktive-, branntekniske- og lydmessige krav.

Vanlige problemområder er: dekkforkanter, skillevegger/brannskiller i betong, overgang yttervegg-fundament/grunnmur, overgang yttervegg-yttertak, utkragede eller innfestede balkongdekker eller svalganger, stålsøyler og ståldragere integrert i ytterveggskonstruksjonen, med mer.

Det vises til [10] og NBIs byggdetaljblad G 471.015 for nærmere beskrivelse av aktuelle løsningene for slike konstruksjoner. I mange tilfeller, særlig der man ønsker passivhusstandard, vil man også måtte lage egne konstruksjonsløsninger, etter retningslinjene gitt i dette delkapitlet (pkt. 1-6).

Ideelt burde man ha det isolerende sjiktet på utsiden av tunge bærekonstruksjoner og dekkssystem. Dette er ofte problematisk å få til pga. plass og kostnadshensyn, men som nevnt tidligere bør man ha minimum 100 og 150 mm isolasjonsoverdekning¹⁰ for hhv. lavenergiboliger og passivhus. Figur 4.11 viser en aktuell løsning for en ytterveggs-løsning i et lavenergiprojekt med bæresystem i betong og stål.



Figur 4.11
Viser aktuell løsning for en 250 mm yttervegg, med totalt 120 mm isolasjonsoverdekning (70 + 50 mm) over dekkforkanten. Gir en kuldebroverdi på ca. 0.05 W/mK.

4.3 Klimaskjerm uten luftlekkasjer

Minimering av infiltrasjon (utilsiktet luftskifte) i lavenergiboliger og passivhus med høyeffektiv balansert ventilasjon er meget viktig for å redusere varmetapet mest mulig. Som vist i kapittel 2 kan ventilasjons- og infiltrasjonstapet stå for over 50% av varmetapet i en ny bolig. Dette kan drastisk reduseres ved bruk av høyeffektiv balansert ventilasjon med varmegjenvinning i kombinasjon med en lufttett klimaskjerm.

⁹ EPS står for ekspandert polystyren.

¹⁰ Gjennomgående isolasjonslag kan gjerne være isolert bindingsverk men helst med så lite treverk som mulig.

Et byggs lufttetthet måles i størrelsen N50, som er byggets luftskifte ved 50 Pa over- eller undertrykk over klimaskjermen (N50 kalles også byggets lekkasjetall).

Byggeforskriftene [9] setter krav til at lekkasjetallet (N_{50}) ikke skal overskride 4 luftomsetninger i timen (oms/t) i småhus og rekkehus. I andre bygg over 2 etasjer, som f.eks. fleretasjers leilighetsbygg, skal ikke lekkasjetallet overstige 1.5 oms/t. I nye forskrifter som skal iverksettes i løpet av 2006 vil trolig kravet til lekkasjetall bli 1.5-2.0 oms/t for alle typer bygg.

I lavenergiboliger er det vanlig å sette et krav på 1.0 oms/t. For passivhus har passivhusinstituttet i Tyskland satt et krav på 0.6 oms/t. Flere tusen passivhus i Mellom-Europa har vist at det er mulig å oppnå dette lave lekkasjetallet (ca. 7 ganger bedre enn dagens forskriftskrav). Prosjekter i Norge og Sverige har vist at et lekkasjetall på 0.6 oms/t også er fullt mulig å få til i vanlig nordisk trehusbebyggelse.

I normale boliger er typiske lekkasjepunkter:

1. I overganger mellom tre og mur.
2. Rundt tekniske installasjoner (rør, kanaler, o.l) som går gjennom klimaskjermen.
3. I forbindelse med ildsteder og skorsteiner.
4. Rundt vinduer og dører.
5. Luftlekkasjer i og rundt loftsluker
6. Rundt utstikkende sperrer eller A-takstoler (takraft)
7. I hjørner, utspring, karnapper, arker, og lignende.
8. I bygg med vegger av lettklinkerblokker vil områder med dårlig poreetting/pussing føre til betydelige lekkasjepunkter.

For best mulig vindtetting bør man ideelt ha en enkel bygningskropp, med et gjennomgående vindtettsjikt med klemte skjøter, som har et minimum av gjennomføringer i klimaskjermen. I praksis kan man bruke følgende regler for å oppnå meget god vindtetting for lavenergiboliger og passivhus:

1. **Dobbel vindtetting.** I ytterveggflater som er utsatt for de største trykkforskjellene, anbefales det dobbel vindtetting, både i form av platekledning og rull-/pappprodukt med klemte skjøter. Her er rull/papp-tetting 5-10 ganger så lufttette som plateprodukter på de store veggflatene, men platekledning er ofte nødvendig for å få god tetting mot betong/mur, gjennomføringer, og rundt vinduer/dører.
2. **Lufttette overganger og hjørner.** Kontinuerlig rull/pappprodukt rundt hjørner og sprang i fasaden er nødvendig. Skjøting bør ikke forekomme på disse punktene.
3. **Lufttett overgang yttervegg-yttertak.** Det beste er å få et kontinuerlig vindtettsjikt over overgangen yttervegg-yttertak. Med utstikkende sperrer eller A-takstoler med utstikkende overgurt er dette ikke mulig. Her må man tette godt rundt hver sperre, noe som kan gjøres med rull/pappprodukt og klemlister. Alternativt kan man bruke A-takstoler uten sperreutstikk (se fig. 4.12), som gir et kontinuerlig vindtettsjikt, se [10] for mer info.
4. **Lufttetting rundt vinduer/dører.** Prinsippet om dobbel vindtetting bør også brukes her. Det anbefales å bruke bunnfyllingslist + fugemasse som første vindtetting (10-12 mm spalte), og klemt papp/rullprodukt som andre tettingssjikt (se figur 4.13). God dytting rundt vinduer og i eventuelle dype utføringer er viktig (kvalitetssikring er meget viktig). Bruk av ekspanderende fugeskum (polyuretan-skum) for innsetting og tetting rundt vinduer anbefales ikke. Det finnes også andre tetteløsninger rundt dører og vinduer som vil kunne gi god lufttetting, hvis håndtverksmessig korrekt utført.
5. **Lufttette overganger tre-betong/mur.** Samme prinsipp som rundt vinduer bør brukes her. En 10-12 mm tykk spalte mellom platekledning og betong/mur som fuges bør være første vindtetting (se figur 4.14). Papp/rullprodukt bør klemmes så godt som mulig, men fugemasse er her den primære tettingen.

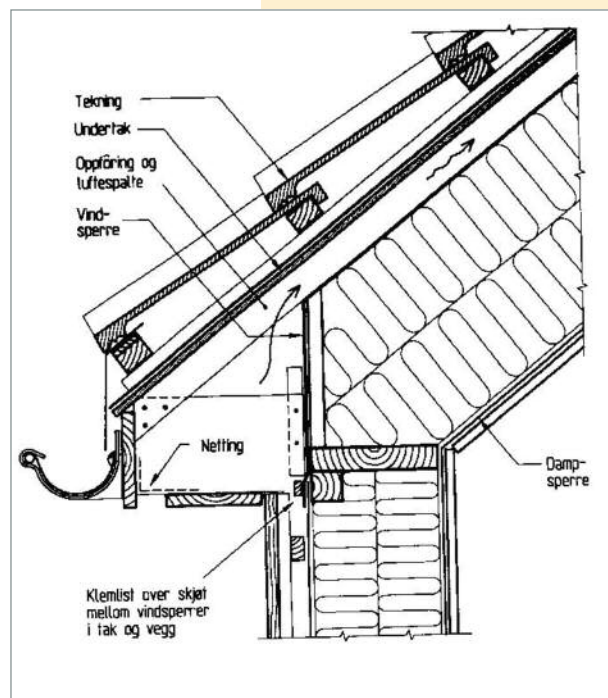
6. **Lufttette gjennomføringer.** For det første bør man i planleggingen av bygget forsøke å redusere antall gjennomføringer i klimaskjermen til et minimum. Ellers er det to akseptable løsninger for lufttetting rundt rør, kanaler, og lignende; den ene er som for vinduer å lage en 10-12 mm spalte rundt gjennomføringen som tettes med fugemasse. Alternativt, eller i tillegg, finnes det nå fleksible og selvklebende mansjettløsninger for en del rør og kanal-gjennomføringer som også kan være gode. Det er i så å si umulig å få rull/papprodukter tett rundt gjennomføringer, og fugetetting/eventuelt mansjetter er derfor den primære tettingen.

Det er ikke her nevnt dampsperre som et tetthetstiltak, den vil normalt bidra betydelig til lufttettheten til et bygg. Men funksjonelt og bygningsfysisk er det riktige prinsippet å vindtette i det ytre sjiktet, slik at man ikke får "anblåsning" inn i isolasjonslaget og dermed reduserer isolasjonsverdien til konstruksjonen. Innvendig dampsperre bør derfor bare være en siste sikring når det gjelder å redusere luftlekkasjer.

Som det fremgår av det ovenstående er det to viktige forhold for å oppnå lavt lekkasjetall:

- God planlegging (prosjektering) av byggets utforming, detaljer og løsninger er viktig, for å redusere og eliminere problemene allerede på planleggingsstadiet.
- God kvalitetssikring på byggeplass og god håndverksmessig utforming av detaljer.

Trykktesting i byggeperioden, når bygget er vindtettet, vil kunne avsløre lekkasjepunkter i klimaskjermen, som i de fleste tilfeller relativt enkelt kan bli utbedret. For passivhus (sertifisert av passivhus-instituttet i Darmstadt) er det krav til måling av lekkasjetallet ved ferdigstillelse, som altså må være under 0.6 oms/t.



Figur 4.12
Viser aktuell løsning der A-takstol er kappet jevnt med vegglivet, for å få et kontinuerlig vindtettesjikt fra yttertak til yttervegg. Taktstikk oppnås med en påhengt gesimskasse. Fra Byggforsk anvisning 40 [10].



Figur 4.13
Viser aktuell løsning for tetting rundt vinduer og dører: Dyting og bunnfyllingslist, og til slutt klemt papp på vindusramme (klemmes med vindusomramning).



Figur 4.14
Viser aktuell løsning for overgang yttervegg-grunnmur, med 12-15 mm spalte mellom grunnmur og utføringslekte (48 x 48 mm), som dyttes og tettes med fugemasse.

4.4 Superisolerte vinduer

Med superisolerte vinduer menes her vinduer med total U-verdi ned mot og under $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dagens byggeforskrifter krever at U-verdien for vinduer i boliger skal være under $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ¹³. Det er vanlig å kreve at vinduer i lav-energi boliger skal ha en U-verdi i området $0.95\text{--}1.05 \text{ W/m}^2\text{K}$. Passivhus har krav om at totalt U-verdi for hele vinduskonstruksjonen ikke skal overskride $0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Det er en rekke tiltak og teknologier man kan bruke for å redusere varmetapet i en vinduskonstruksjon:

- Bruke flere lag glass, for eksempel 3-lags rute i stedet for 2-lags rute som er standard i dag.
- Bytte ut luft med tunge gasser som argon, krypton og xenon, for å redusere det konvektive varmetapet i rutekonstruksjonen.
- Bruke lavemisjonsbelegg på ruteoverflatene inn mot hulrommet(ene) for å redusere strålingsvarmetapet i rutekonstruksjonen.
- Bruke avstandslist (spacer) med lavere varmeledningsevne enn aluminium som brukes som standard i dag. Slike spacere blir også kalt varmkant og superspacer.
- Bruke karm- og rammekonstruksjoner med lavt varmetap, i enkelte tilfeller bruk av isolerte komposittkarmer.
- Redusere randsonetapet ved å unngå spisser og andre oppdelinger av rutekonstruksjonen, samt å bruke store vindusflater i stedet for flere små.

I vinduer for lavenergi boliger bruker man ofte alle disse tiltakene for å få U-verdien ned mot $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, kanskje bortsett fra å bruke isolerte komposittkarmer. I passivhusvinduer der man skal komme ned i $0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ må man også isolere karmkonstruksjonen for å nå dette kravet.

Den totale U-verdien for et vindu kan ihht. NS-EN ISO 10077-1 [14] beregnes som:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi_g}{A_g + A_f} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (4.2)$$

Hvor:

- A_g er glassarealet til vinduet (m^2)
- U_g er U-verdien til vindusruta (midtrute U-verdi) ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- A_f er karm- og ramme arealet, dvs. den opake delen av vinduet (m^2)
- U_f er U-verdien til karm og ramme ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- l_g er omkretsen av glassruta (m)
- Ψ_g er den lineære kuldebroverdien forårsaket av avstandslisten (W/mK)

Vinduer og glassruter har også andre fysiske egenskaper enn U-verdien som er viktig for byggets energibalanse og byggets inn klima. Glassrutens *lystransmisjon* angir hvor mye av dagslyset som slipper gjennom ruta. Øker man antall glass og legger på lavemisjonsbelegg vil man redusere lystransmisjonen. Tunge gasser som argon og krypton påvirker ikke lystransmisjonen. Relatert til lystransmisjon er glassrutens soltransmisjon, som angir hvor mye av solvarmen som transmitteres gjennom ruta. Men siden en god del av solstrålingen er i det infrarøde spekteret, kan soltransmisjon og lystransmisjon være relativt forskjellig. Transmittert solvarme gjennom en rute består også av to komponenter: direkte kortbølget stråling og sekundær solvarme som absorberes i glassruten og overføres videre inn som langbølget stråling, konveksjon og varmeledning.

¹³ Omfordeling, også kalt varmetapsramme, er mulig, dvs. at dårligere vinduer kan kompenseres av for eksempel bedre isolert yttervegg, så lenge byggets transmisjonstap ikke økes.

Det finnes i dag optimaliserte rutetyper som slipper inn ca. dobbelt så mye dagslys som de slipper inn solvarme. Men dette er lite brukt i lavenergiboliger og passivhus, der man ønsker å maksimere utnyttelsen av passiv solvarme for å redusere oppvarmingsbehovet.

Det finnes også dataprogrammer fra glassprodusenter hvor man kan beregne sine "egne" glasskombinasjoner, og få ut U-verdi, lystransmisjon og soltransmisjon [24].

Rutekombinasjon	U-verdi (W/m ² K)	Lystransmisjon (%)	Soltransmisjon (%)
To lags, 4-15-4 ¹ , Luft	2.8	82	76
To lags, 4-15-4, Luft, 1 Lav-E ²	1.4	80	63
To lags, 4-15-4, Argon	2.6	82	76
To lags, 4-15-4, Argon, 1 Lav-E	1.4	80	63
Tre lags, 4-12-4-12-4, Luft, 1 Lav-E	1.3	72	54
Tre lags, 4-12-4-12-4, Argon, 1 Lav-E	1.0	72	54
Tre lags, 4-12-4-12-4, Luft, 2 Lav-E	1.0	70	45
Tre lags, 4-12-4-12-4, Argon, 2 Lav-E	0.7	70	45
Tre lags, 4-12-4-12-4, Krypton, 2 Lav-E	0.5	70	45
Tre lags Koblet, 4-15-4-35-4, argon&luft, 2 lav-E ³	0.7	67	50

Tabell 4.2

viser noen aktuelle ruteløsninger med tilhørende U-verdi, lystransmisjon og soltransmisjon. Vær klar over at U-verdiene i tabellen er U-verdi kun for glassruta og ikke for hele vinduskonstruksjonen.

4.4.1 Superisolerte vinduer i lavenergiboliger

I lavenergiboliger er det særlig en vindusløsning som til nå har blitt mye brukt, som bruker følgende tiltak/teknologier:

- 3 lags rute med ca. 15 mm avstand mellom glassene
- 2 lav-emisjonsbelegg ¹⁴
- Bruk av argongass i hul rommene
- Bruk av rustfri stålsparer ¹⁵ (avstandslist), eller tilsvarende spacer i kunststoff.
- Trekarm eller metallkarm, plastkarm eller metallbelagt trekarm med tilsvarende U-verdi.

Denne vindusløsningen leveres av de fleste ledende vindusprodusentene i Norge i dag. Løsningen har en U-verdi på ca. 1.0 W/m²K. Med ordinær spacer i aluminium, som mange ennå bruker, vil U-verdien komme opp i 1.05-1.1 W/m²K.

Et alternativ til løsningen over er et trelags koblet vindu (2+1), med en 2 lags forseglede rute innvendig og en ytre koblet rute. Dette er en løsning som for eksempel er egnet der man ønsker effektiv utvendig solavskjerming, ved at man plasserer persiennene i det ytre koblede hulrommet. Solavskjermingen er da beskyttet fra vær og vind, men er enkelt tilgjengelig for service og rengjøring. Den koblede ruten har også den fordel at den bidrar til høy overflatetemperatur i randsonen, ved at den effektivt bryter kuldebroen til spaceren i den forseglede ruten. U-verdien for denne vinduskonstruksjonen vil være ca. 0.90-0.95 W/m²K.

4.4.2 Passivhusvinduer

I tillegg til et absolutt krav til U-verdi på 0.80 W/m²K, har passivhus-sertifiserte vinduer også et eksplisitt krav til karm/ramme/spacer-løsning. Når et passivhusvindu skal sertifiseres skal man teoretisk regne med at glassruta har en U-verdi på 0.70 W/m²K, uansett hvilken glasskombinasjon som skal brukes i praksis. Det betyr at kravet på 0.80 W/m²K i virkeligheten er et eksplisitt krav til karm/ramme-konstruksjonen. For å nå kravet om 0.80 W/m²K, som er meget strengt, må man ha spacer-løsninger som gir meget

1. 4-15-4 står for to 4 mm glassruter med et 15 mm hulrom mellom.
2. 1 Lav-E står for et lavemisjonsbelegg. Det er regnet med et lavemisjonsbelegg som har emissivitet på: $\epsilon = 0.05$.
3. Her er det to ulike belegg, et mykt belegg med $\epsilon = 0.05$ i den innerste forseglede ruta og et hardt belegg med $\epsilon = 0.17$ i den ytterste koblede ruta.



Figur 4.15

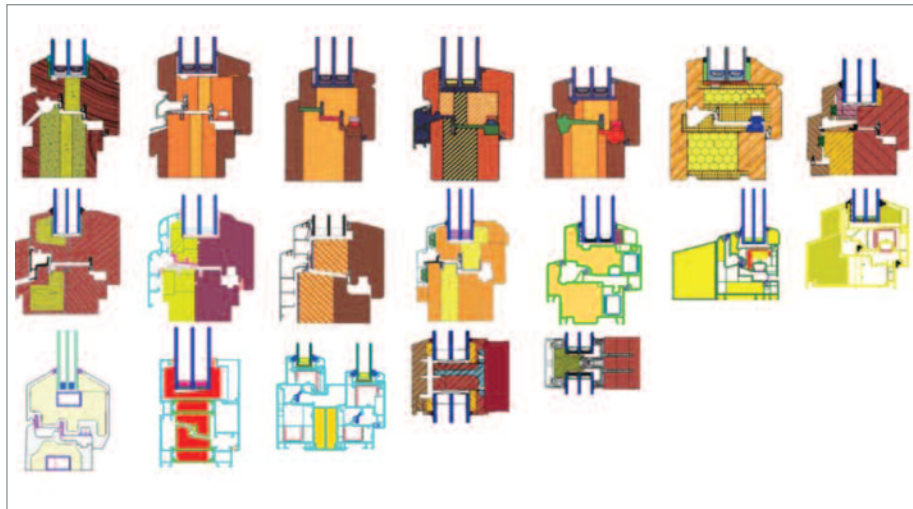
Viser superisolert vindu med 3-lags rute med 2 lavemisjonsbelegg, argongass, spacer (avstandslist) i rustfritt stål, og trekarm. Gir en U-verdi på ca. 1.00 W/m²K.

¹⁴ Lavemisjonsbelegg kalles også selektive belegg, siden de slipper inn kortbølget solstråling men reduserer varmetap pga. langbølget varmestråling kraftig. Lavemisjonsbelegg deles opp i harde og myke belegg, hvor harde belegg for eksempel kan brukes i koblede ruter, mens myke belegg kun kan vende inn mot hulrom i forseglede ruter. Harde belegg har dårligere evner til å redusere strålingsvarmetapet enn det de myke beleggene har.

¹⁵ Spacer i rustfritt stål har betydelig lavere varmetap enn spacere i rent stål eller aluminium.

Figur 4.16

Viser noen aktuelle karmløsninger for passivhusvinduer, som er sertifisert av passivhusinstituttet.



liten kuldebroeffekt, og i praksis en eller annen type isolert karmkonstruksjon.

I tillegg til at spaceren må ha meget lite varmetap (lav varmeledningsevne), må den vanligvis også plasseres et stykke inn i vinduskarmen, sammenlignet med konvensjonelle vinduer. "Innbakt" i den isolerte karmen vil da randsonetapet reduseres ytterligere.

Isolert karm som tilfredsstiller passivhus-kravet, kan oppnås på flere måter og med ulike isoleringsmaterialer. For eksempel er skumplast-isolering (XPS) mye brukt. Utfordringen er å opprettholde tilstrekkelig styrke med en slik komposittkarm. Figur 4.16 viser noen aktuelle karmtyper som er sertifisert av passivhusinstituttet.

Det er pr. i dag ca. 40 ulike vindusprodusenter i Mellom-Europa som produserer passivhusvinduer med isolerte karmløsninger. I Norge er det også utvikling av passivhusvinduer og passivhuskarmer på gang, og den første prototypen skal være klar i løpet av høsten 2005.

4.5 Energieffektive ventilasjonsanlegg

Effektiv varmegjenvinning av avtrekksluft er trolig det enkeltstående tiltaket som kan redusere varmebehovet mest. Det er i dag ventilasjonssystemer på markedet som kan gjenvinne 80-85 % av varmen i avtrekksluften. I lavenergiboliger er det vanlig å sette krav til at ventilasjonssystemet har en temperaturvirkningsgrad på minst 70 %, og helst over 75 %. I passivhus skal temperaturvirkningsgraden være minst 75 %, og helst over 80 %. Temperaturvirkningsgraden¹⁶ til varmegjenvinneren skal regnes som snitt over året og måles ut fra nedkjølingsgraden på avtrekksiden. Det skal også tas hensyn til eventuelle behov for avriming av aggregat (se 4.5.2 og 4.5.3).

Samtidig er det viktig å velge og prosjektere ventilasjonsanlegg med lavest mulig energibehov til vifter. I lavenergiboliger er det vanlig å sette krav til at vifteeffekten målt med SFP -tallet skal være bedre enn $2.0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ (0.56

¹⁶ Vi snakker her hele tiden om temperaturvirkningsgraden til varmegjenvinneren, og ikke varmevirkningsgraden til hele ventilasjonsaggregatet som definert i [12], der man også tar inn varmetap fra aggregat, varmetilskudd fra vifter m. mer.

¹⁷ SFP står for specific fan power, og sier hvor mye vifteeffekt i kW som er nødvendig for å sirkulere $1 \text{ m}^3/\text{s}$ i ventilasjonsanlegget. Passivhusinstituttet oppgir kravet sitt i $\text{W/m}^3/\text{h}$, som fås ved å dele SFP i $\text{kW/m}^3/\text{s}$ med 3.6.

¹⁸ Kravet til SFP-tall for passivhus inkluderer også energi til eventuell avriming av varmegjenvinner.

¹⁹ ECM står for electronically commutated motors, som har betydelig høyere virkningsgrad enn konvensjonelle motorer, men som også pr. i dag er betydelig dyrere.

W/m³/h). Tilsvarende er kravet for passivhus¹⁸ 1.6 kW/m³/s (0.45 W/m³/h). Lave SFP-tall oppnås ved bruk av strømningsoptimalisert utforming av aggregat og kanalanlegg, dvs. med små trykktap og så korte kanaler som mulig, samt bruk av energieffektive viftemotorer (for eksempel type ECM¹⁹).

I avsnittene nedenfor er det gitt en beskrivelse av aktuelle varmegjennvinnere som er på markedet i dag, med fordeler og ulemper de ulike har. Det er også gitt noen råd om

4.5.1 Roterende varmegjennvinnere

Figur 4.17 viser et ventilasjonsaggregat med roterende varmegjennvinner. Rotoren, som vanligvis er i aluminium, varmes opp av avtrekksluften, og denne varmen avgis igjen til den kalde innkommende uteluften. Roterende varmegjennvinnere har virkningsgrad fra ca. 75 % til over 85 %. Roterende gjennvinnere brukes både i små desentrale aggregater (ett for hver bolig/leilighet) og i store sentrale aggregater (leilighetskomplekser).

Fordelene med roterende gjennvinnere er flere:

- Har stabil høy temperaturvirkningsgrad selv i de kaldeste periodene av året, og passer derfor også godt i kalde strøk av landet.
- Har i praksis ikke behov for avriming eller kondensavløp til sluk.
- For roterende gjennvinnere med virkningsgrad over 80 % vil det være mulig å greie seg helt uten varmebatteri²⁰ (ettervarme), noe som gjør aggregatet noe rimeligere og reduserer trykktapet i aggregatet.
- I varme perioder kan ønsket tilluftstemperatur reguleres ved å regulere rotasjonshastigheten på rotoren. I veldig varme perioder kan gjenvinneren til og med fungere som kjølegjenvinner, men effekten av dette er relativt liten i norsk klima.
- Avhengig av rotor- og materialutforming vil gjenvinneren også ha mulighet for å overføre noe fuktighet fra avtrekksluften til tilluften. Dette kan være gunstig for å unngå tørr luft inne i de kaldeste vintermånedene.

Noen ulemper med roterende gjennvinnere er:

- Roterende gjennvinnere kan ha en viss overføring av lukt fra avtrekk til tilluften. Dette gjør at man ikke skal ha kjøkkenavtrekk som går over gjenvinneren, og da heller ha direkte avtrekk til det fri eller en bypass-løsning (luftstrøm går utenom gjenvinner).
- Det er eksempler på at aluminiumen i rotoren smuldrer opp etter en tid hvis utsatt for et "aggressivt miljø". For eksempel kan dette skje der luftinntak er mye utsatt for fuktig sjøluft med høyt saltvannsinhold. For de fleste bygg vil dette trolig ikke være noe stort problem.
- De små kanalene i rotoren (som luftstrømmen føre igjennom) kan ha en viss risiko for gjenfroing og tetting, hvis ikke luften filtreres godt nok, og/eller ved dårlig renhold og vedlikehold.

Totalt sett vil roterende gjennvinnere i de fleste tilfeller være et meget godt valg for lavenergiboliger og passivhus, og særlig i kalde innlandsstrøk pga. sin høye virkningsgrad ved lave temperaturer.



Figur 4.17
Ventilasjonsaggregat med roterende varmegjennvinner. Med tillatelse fra Villavent/Systemair.

²⁰ Med utetemperatur ned mot -20 °C vil tilluftstemperaturen kunne komme ned mot 14-15 °C. Med fornuftig utforming og plassering av innblåsningsventiler, samt en moderat reduksjon av luftmengdene, vil dette ikke være noe problem å løse når det gjelder trekk. En reduksjon av luftmengdene i de kaldeste periodene er også gunstig for å unngå for lav relativ fuktighet innendørs.

4.5.2 Motstrømsvarmeveksler

I motstrømsvarmeveksler føres luftstrømmene fra avtrekk og tilluft parallelt og mot hverandre (motstrøms). Luftstrømmene er fysisk avskilt med metallplater. Motstrømsvekslere er optimalisert slik at varmeoverføringsflaten mellom avtrekk og tilluft er størst (og lengst) mulig, for å overføre mest mulig varme. Motstrømsvarmevekslere er prinsipielt like med kryssvarmevekslere (4.5.3) bortsett fra at varmeoverføringsflaten er mindre i kryssvarmeveksler. Men i motstrømsvekslere er selvsagt også varmeoverføringsflaten begrenset pga. av plass- og kostnadshensyn.

I ideelle tilfeller kan temperaturvirkningsgraden i en motstrømsvarmeveksler komme opp mot 90 %. I praksis som snitt over året vil virkningsgraden være betydelig lavere, 75-80 %, når man tar hensyn til at varmeveksleren må avrimes i kalde perioder. I passivhus i Tyskland og Østerrike brukes det nesten utelukkende motstrømsvarmevekslere pga. den høye virkningsgraden.

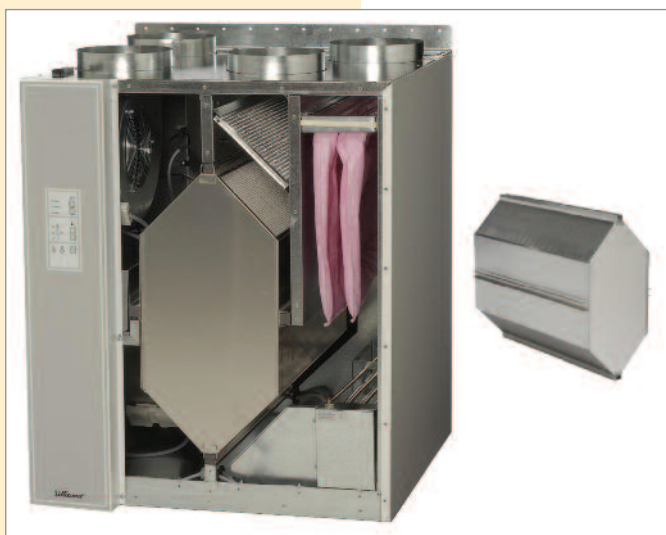
Fordelene med motstrømsvekslere er:

- Har under normale forhold (temperatur og fukt) meget høy virkningsgrad.
- Med passiv forvarming av luft²¹ kan også temperaturvirkningsgraden over året bli meget høy.
- Overfører ikke lukt mellom avtrekk og tilluft.
- Robust og enkel konstruksjon.

Ulemper med motstrømsvekslere er:

- Pga. påriming i kalde perioder med stor fuktproduksjon inne må man ha en automatikk som avrimer varmeveksleren. Dette er vanligvis et forvarmebatteri som forvarmer uteluften som tilføres aggregatet, men også andre løsninger med periodevis reduksjon av friskluftmengden finnes.
- Avriming med forvarmebatteri vil redusere den effektive virkningsgraden til gjenvinneren, typisk 10 -20 %. Dette er klimaavhengig og reduksjonen vil være størst i kalde strøk.
- Kondensering og avriming i varmeveksleren gjør at man må ha kondensavløp til sluk for denne type aggregat.
- Selv om man ikke har luktoverføring i veksleren, er det ikke anbefalt å kjøre kjøkkenavtrekk over gjenvinneren. Matos/fett vil da kondensere på gjenvinneren, og over tid redusere varmeoverføringen og virkningsgraden. En løsning på dette er å kjøre kjøkkenavtrekk i bypass utenfor gjenvinneren, eller å ha et separat avtrekk for dette.
- Kan gi for høye tilluftstemperaturer i varme perioder, der man egentlig ikke ønsker/har behov for varmegjenvinning. Det finnes såkalt "sommerblokker" for slike aggregater som kortslutter varmegjenvinningen. Disse må settes inn og fjernes manuelt, og dette fordrer at man har en klar skille mellom oppvarmingssesongen og en "sommer-sesongen". Dette er ikke alltid tilfelle, og man har flere prosjekter der det har vært klager på overoppvarming med denne type aggregater.

I passivhus i Tyskland og Østerrike brukes det mye komplette passivhusaggregater, som inneholder motstrømsvarmevekslere, men som også har avtrekksvarmepumpe for oppvarming av varmtvann. Se avsnitt 4.8 for mer info om slike løsninger.



Figur 4.18
Ventilasjonsaggregat med motstrømsvarmeveksler. Med tillatelse fra Villavent/Systemair.

²¹ Passiv forvarming av luft kan f.eks. være at man forvarmer uteluften i et atrium eller i en rørslynge som ligger i jorden. Såkalte "earth-tube collectors" som varmeveksler friskluften mot varmen i grunnen, er mye brukt i passivhus i Tyskland og Østerrike. Dette er ennå ikke utprøvd i Norge, og spørsmål om kondensering og eventuell muggvekst i rørene bør utredes bedre før dette kan anses som en akseptert løsning.

4.5.3 Kryssvarmeveksler

Kryssvarmeveksler er trolig den mest utbredte ventilasjonsløsningen i norske boliger med balansert ventilasjon pr. i dag. Kryssvarmeveksler er prinsipielt lik motstrømvarmeveksler, bortsett fra at luftstrømmene fra avtrekk og tilluft krysser hverandre med en vinkel på ca. 90° (se fig. 4.19).

Temperaturvirkningsgraden i en kryssvarmeveksler kan komme opp mot 70-75% under ideelle forhold. I praksis, som snitt over året, vil virkningsgraden være lavere, 50-65%, når man tar hensyn til at varmeveksleren må avrimes i kalde perioder.

Fordelene med kryssvekslere er:

- Overfører ikke lukt mellom avtrekk og tilluft.
- Robust og enkel konstruksjon.
- Lite plasskrevende varmevekslerkonstruksjon som gir kompakte aggregater, som igjen gir mulighet til plassering i kjøkkenoverskap eller lignende.

Ulemper med kryssvekslere er:

- Som for motstrømsvekslere vil man også for kryssvekslere få påriming i kalde perioder med stor fuktproduksjon inne. Det mest vanlige er også her å ha et forvarmebatteri før gjenvinneren, men det finnes også andre løsninger.
- Avriming med forvarmebatteri vil redusere den effektive virkningsgraden til gjenvinneren, typisk 10 -20 %, mest i kalde strøk.
- Kondensering og avriming i varmeveksleren gjør at man må ha kondensavløp til sluk.
- Kjøkkenavtrekk må/bør også her kjøres i bypass utenfor gjenvinneren, eller ha et separat avtrekk for dette.
- Som for motstrømsveksleren kan også kryssvekslere gi for høye tilluftstemperaturer om sommeren, hvis ikke "sommerblokk" er satt inn.

P.g.a. relativt lav virkningsgrad over året er kryssvarmevekslere generelt lite egnet for lavenergiboliger og passivhus. Optimaliserte kryssvekslere med årlig virkningsgrad opp mot 65-70 % kan være akseptable i lavenergiboliger, der de for eksempel av plasshensyn er ønsket.

4.5.4 Kammervarmegjenvinner

Kammervarmegjenvinner er en type gjenvinner der kassetter/kammer periodevis blir varmet opp av varm avtrekkluft, som i neste periode varmer opp kald uteluft. Se figur 4.20 og byggedetaljblad 552.340 for nærmere beskrivelse av funksjon.

Kammergjenvinnere kan ha relativt høy temperaturvirkningsgrad, 75-85 %.

Fordelene med kammergjenvinnere er:

- Har under normale forhold (temperatur og fukt) høy virkningsgrad.
- Det er ikke behov for kondensavløp fra gjenvinneren.
- Har under normale forhold ikke problem med påriming, men kan under forhold med lave utetemperaturer og mye fuktproduksjon inn fryse igjen. Robust og enkel konstruksjon.
- Pga. høy virkningsgrad kan det være mulig å klare seg uten varmebatteri, eller greie seg med et varmebatteri med meget lav effekt.
- Ved sommerforhold er det mulig å kjøre uten varmeveksling, og derfor også bruke ventilasjonsanlegget til frikjøling (bruke sval uteluft nattetid til å kjøle ned huset).

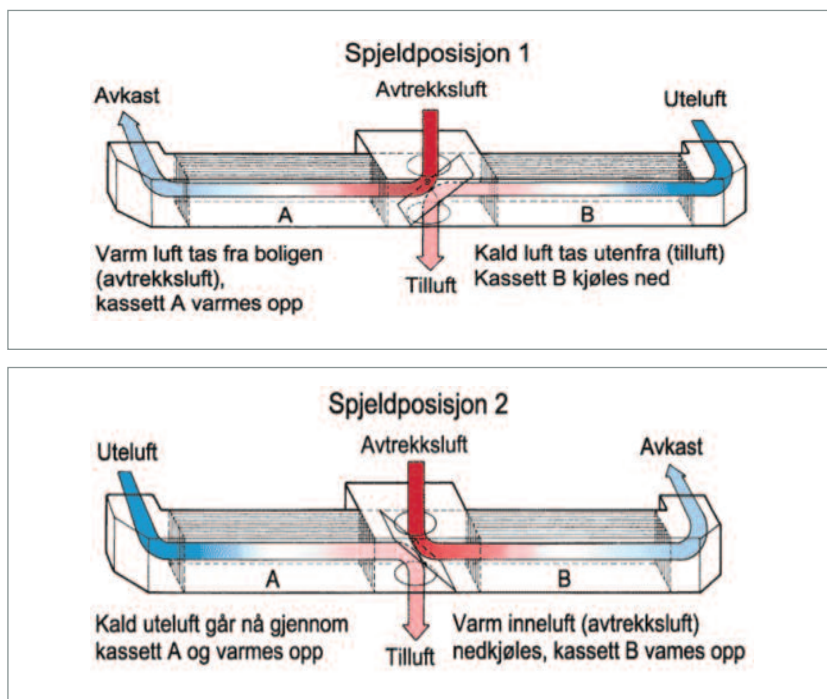
Ulemper med kammergjenvinnere er:

- Kammergjenvinnere kan ha en viss overføring av lukt fra avtrekk til tilluften (omluft). Dette gjør at man ikke skal ha kjøkkenavtrekk som går over gjen-



Figur 4.19
Ventilasjonsaggregat med kryssvarmeveksler.
Med tillatelse fra Villavent/Systemair.

Figur 4.20
Prinsippskisse av hvordan en kammer-
varmegjenvinner fungerer. Figur fra
NBI Byggetalblad 552.340.



4.5.5 Optimale kanalføringer

En viktig del av et vellykket ventilasjonsanlegg er plassering av ventilasjonsaggregat og design av kanalsystem. Generelt bør både aggregat og kanalføringer være innenfor klimaskjermen, og ikke plasseres på kaldt loft, i kald kjeller eller i kryprom. Plassering innenfor klimaskjermen gir mindre varmetap fra kanaler og aggregat, gjør inspeksjon og rengjøring lettere, og man får heller ikke problemer med utettheter rundt kanalgjennomføringer i klimaskjermen. Dette krever imidlertid at ventilasjons- og kanalsystem dras inn i planlegging av huset i en tidlig fase. En meget god ide er å planlegge et sentralt plassert teknisk rom og/eller en gjennomgående teknisk kanal i boligen som kan romme mye av kanalføringene i bygget (se figur 4.21). God integrert planlegging av planløsninger sammen med tekniske føringer i bygget vil kunne redusere kanalføringer ned til 1/3 av en konvensjonell bolig. Dette vil spare betydelige kostnader til installasjonsarbeid, men også betydelige kostnader til bygningstekniske arbeider (eksempelvis nedføring av himlinger i leilighetsbygg). Godt planlagte kanalsystemer kan ha mindre enn 0.1 meter kanal pr. kvadratmeter oppvarmet gulvflate (0.1 m/m^2), mens konvensjonelle anlegg har typisk 0.3 m/m^2 . For lavenergi-boliger og passivhus bør man etterstrebe å komme under 0.2 m/m^2 , og helst ned mot 0.1 m/m^2 .

Videre er det viktig å isolere friskluftkanalen godt og kontinuerlig for å unngå utvendig kondens på kanaloverflaten. Isolasjon av kanalen bør også inneholde en diffusjonstett "plaststrømpe" for å unngå vandampdiffusjon gjennom isolasjonen.

I tillegg til korte kanaler er det også viktig med god strømnings teknisk utforming av kanalanlegg for å redusere trykktap, og dermed redusere vifteenergi og støy fra ventilasjonsanlegget. For hovedkanalstrekk bør man forsøke å holde hastigheten under 2.0 m/s . For fordelingskanaler til de enkelte rom (avtrekk og tilluft) bør hastigheten helst holdes under 1.5 m/s . For en bolig på 100 m^2 som ventileres med $125 \text{ m}^3/\text{h}$ (0.5 oms/t) betyr dette at hovedkanalen bør ha

en diameter på 160 mm eller større, og fordelingskanalene bør ha en diameter på 125 mm. For større eneboliger og leilighetskomplekser bør kanalhastigheter og kanaldimensjoner beregnes og dimensjoneres i hvert enkelt tilfelle.

I tillegg er det viktig å unngå skarpe bend, innsnevringar og for mange og skarpe avgreininger i kanalnettet. For mer informasjon om strømingsteknisk design av kanalsystem vises det for eksempel til [13].

4.5.6 Sentrale kontra desentrale løsninger i leilighetsbygg

Særlig i større leilighetsbygg står man ovenfor valget om man skal bruke sentrale ventilasjonsaggregater med luftdistribusjon ut til den enkelte leilighet, eller desentrale løsninger med et ventilasjonsanlegg for hver leilighet.

Sentrale løsninger er å foretrekke der det er problematisk å ta luft fra fasaden på hver leilighet. Det kan for eksempel være at utelufta ved fasaden er såpass forurensert (biltrafikk) at det er lite ønskelig å ta inn luft der eller at det er arkitektonisk problematisk med kanalføringer og friskluftinntak på fasaden. Med sentrale ventilasjonsanlegg vil aggregatene vanligvis være plassert på tak eller i kjeller, og kan ta inn luft fra et sted med lite forurensing. Kanaler blir vanligvis ført i vertikale sjakter, og distribuert ut til de enkelte leilighetene gjennom horisontale hovedkanaler i korridorer. Kjøkkenavtrekk blir gjerne kjørt i et separat kanaltrekk. En fordel med sentrale anlegg er at bytte av filter og annen service på aggregat er mye enklere enn med desentrale anlegg.

Ulempen med sentrale anlegg er at det blir relativt lange kanaltrekk med store tverrsnitt som bygningsmessig tar mye plass, og drar med seg kostnader. Det kan også være vanskelig å styre luftmengder separat for hver leilighet²². Tilluftstemperaturen er heller ikke mulig å styre for hver leilighet. Man må også prosjektere anlegget slik at det ikke blir overhøring mellom ulike leiligheter, og at det ikke blir luktoverføring mellom leiligheter.

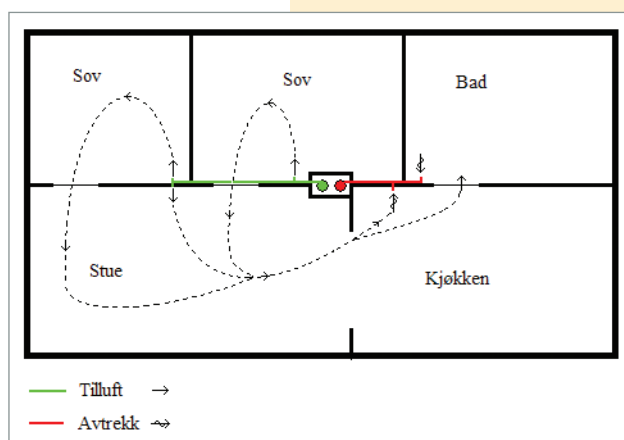
Desentrale anlegg for hver leilighet har fordelen at de kan styre både luftmengder og tilluftstemperatur for hver leilighet. Det er også liten risiko for lukt- og lydoverføring mellom leiligheter. Ulempen er at man vanligvis må ha friskluftinntak og avkast på relativt begrensede fasadearealer. Alternativt må man ha sentrale luftinntak til de enkelte aggregatene, men da får man igjen problemene med lange og volumiøse kanaltrekk, som det også kan bli problemer med overflatekondensering på. Andre problemer kan være plassering av aggregat i leilighet, samt eventuelt støy og vibrasjoner fra aggregatet. Desentrale løsninger betyr også at man må bytte mange små filtre, i stedet for ett eller flere sentrale filtre.

Om man satser på sentrale eller desentrale ventilasjonsanlegg må vurderes ut fra fordeler og ulemper for hvert prosjekt.

4.5.7 Luftmengder og styring av luftmengder

I følge byggeforskriftene av 1997 skal boliger tilføres en friskluftmengde tilsvarende 0.5 luftskifter i timen. Dette kan være naturlig ventilasjon, avtrekksventilasjon eller balansert ventilasjon, eller en kombinasjon av disse. Det betyr at man i teorien kan regne med infiltrasjonen (kontrollert luftskifte gjennom utettheter) inn i tilført luftmengde, og kan redusere ventilasjonen deretter. For eksempel vil man kunne redusere ventilasjonsluftmengden til 0.45 oms/t hvis man regner

²²Det er mulig å bruke såkalte VAV-anlegg, dvs. ventilasjonsanlegg med variable luftmengder, også på boligkomplekser, men dette er relativt uvanlig i dag. VAV-anlegg gir mulighet til å brukerstyre og behovsstyre luftmengdene, men er dyrere og har mer bevegelige deler enn konvensjonelle anlegg.



Figur 4.21
Skematisk skisse av bolig med ventilasjonssystem med korte kanalføringer.

Tabell 4.3

Krav til avtrekk fra ulike rom.

Avtrekksluftmengde		
Rom	Normal drift (m ³ /h)	Forsert drift (m ³ /h)
Kjøkken	36	108 ¹
Bad	54	108 ²
Toalett	36	36
Vaskerom/tørkerom	36	72 ³

- 1 Forsert avtrekk fra kjøkkenhette over komfyr eller lignende.
- 2 Forsert avtrekk fra bad uten vinduer som kan åpnes.
- 3 Forsert avtrekk fra vaskerom uten vinduer som kan åpnes.

med en infiltrasjon på 0.05 oms/t. I praksis dimensjonerer man gjerne ventilasjonsanlegget til 0.5 oms/t ved normal drift, og har mulighet til 0.7-0.8 oms/t ved forsert drift²³.

Men i tillegg til krav om 0.5 luftskifter i timen, er det også spesifikke krav til avtrekksluftmengder fra bad, vaskerom, toalett og kjøkken, se tabell 4.3.

Krav til avtrekksluftmengder vil, særlig for små leiligheter, føre til et luftskifte langt over 0.5 oms/t. I tabell 4.4 er det beregnet nødvendige luftmengder/luftskifter for typiske leiligheter mellom 30 og 100 m². Det er regnet med en effektiv takhøyde på 2.6 m, og for leiligheter på 80 m² og større er det også vaskerom i tillegg til kjøkken og baderom.

Tabell 4.4 angir relativt høye luftmengder for små leiligheter ved "normal drift"²⁴, og det kan synes mye å ventilere en leilighet med over 1.0 oms/t når det ikke er personer tilstede. Det bør derfor vurderes i installere automatikk, eller en enkel bryter (inne-ute stilling), som kan redusere luftskifte ned til ca. 0.5 oms/t når det ikke er personer tilstede i leiligheten. Særlig i små leiligheter der man kan forvente at beboerne er mye ute, vil man kunne spare mye energi til oppvarming og ventilasjon med en slik ventilasjonsstyring.

Størrelse leilighet	Volum leilighet	Luftmengde ut fra 0.5 oms/t	Krav til avtrekk	Reellt luftskifte	Leilighet inneholder
30 m ²	78 m ³	39 m ³ /h	90 m ³ /h	1.15 oms/t	Kjøkken og bad
40 m ²	104 m ³	52 m ³ /h	90 m ³ /h	0.87 oms/t	Kjøkken og bad
50 m ²	130 m ³	65 m ³ /h	90 m ³ /h	0.69 oms/t	Kjøkken og bad
60 m ²	156 m ³	78 m ³ /h	90 m ³ /h	0.58 oms/t	Kjøkken og bad
70 m ²	182 m ³	91 m ³ /h	90 m ³ /h	0.50 oms/t	Kjøkken og bad
80 m ²	208 m ³	104 m ³ /h	126 m ³ /h	0.61 oms/t	Kjøkken, bad og vaskerom
90 m ²	234 m ³	117 m ³ /h	126 m ³ /h	0.54 oms/t	Kjøkken, bad og vaskerom
100 m ²	260 m ³	130 m ³ /h	126 m ³ /h	0.50 oms/t	Kjøkken, bad og vaskerom

Tabell 4.4

Resultierende luftmengder og luftskifter ut fra krav til avtrekk fra våtrom og kjøkken.

Forsert ventilasjon for kjøkken og bad vil øke det effektive luftskiftet noe. Avhengig av størrelsen på leiligheten, vil forsert ventilasjon 1 time i døgnet fra kjøkken og bad føre til et ekstra luftskifte på 0.03-0.07 oms/t (mest for små leiligheter). Overslagsmessig kan man derfor regne med et ekstra luftskifte på 0.05 oms/t i leiligheter.

For kjøkken vil det vanligvis være fornuftig med manuell styring av forsert avtrekk over komfyr, selv om andre styringsmetoder finnes²⁵. For bad er det flere muligheter: styring etter fuktnivå (fuktfølere) – styring etter lysbryter – manuell styring (bryter), der styring etter fuktnivå og/eller manuell styring trolig er de beste.

Ved forsert avtrekk må man også ha en strategi for hvordan man tilfører den ekstra tilluften, for å balansere tilluft og avtrekk. På en del boligventilasjonsaggregater finnes det en egen forseringsfunksjon som også øker tilluften når man har forsert avtrekk. For eneboliger og rekkehus (småhus) kan det være akseptabelt å ha et åpningsbart vindu eller en veggventil når man kjører forsert ventilasjon, men "faren" er at dette blir stående åpent etter at man har avsluttet det forserte avtrekket. For moderne sentral ventilasjonsanlegg med VAV²⁶-styring (variable luftmengder) er det mulig å justere tilluftsmengden opp når det kjøres forsert avtrekk fra kjøkken og bad.

²⁴ De fleste moderne ventilasjonsaggregater har vanligvis tre stillinger: Lav, Normal og Høy luftmengde. Typisk 0.3 oms/t for lav stilling, 0.5 oms/t for normal, og 0.75 oms/t for høy. Men dette varierer fra produsent til produsent og fra prosjekt til prosjekt.

²⁴ Ikke forsert luftmengde fra kjøkken og bad.

²⁵ Det er for eksempel systemer tilgjengelig som styrer kjøkkenavtrekk etter bruk av komfyr/stekeovn.

²⁶ VAV-styring av luftmengder skjer vanligvis ved at trykket i hovedtilførselkanalene holdes konstant. Dette trykket holdes konstant vha. frekvensstyrte vifter i aggregatet. Luftmengden tilført til de enkelte leilighetene reguleres ved hjelp av såkalte VAV-spjeld, som enten kan styres trinnløst eller for eksempel ha to nivåer (normal – forsert).

4.6 Energibruk og varmetilskudd fra belysning, utstyr, tappevann og personer

En bolig har en rekke varmetilskudd som er med å reduserer behovet for oppvarming fra varmeanlegget:

- Belysning
- Utstyr
- Varmt tappevann
- Personer

Belysning, utstyr og varmt tappevann vil også stå for en god del av energibruken i en ny bolig. Selv om store interne varmetilskudd vil redusere oppvarmingsbehovet betydelig, vil det øke den totale energibruken til boligen siden alt internt varmetilskudd ikke kan nyttiggjøres til oppvarming. Samtidig må man normalt ha elektrisitet til å dekke energiforbruket til belysning og utstyr, som det er en uttalt politisk målsetning å redusere (se kap. 1). Det bør derfor være et mål å bruke så lite energi som mulig til belysning, utstyr og tappevanns-oppvarming innenfor ønsket komfortnivå. Energieffektivt utstyr, belysning og tappevannsproduksjon og god behovsstyring vil kunne redusere energibruken til disse energipostene, uten at det går utover komfort.

Samtidig er det viktig å bruke så riktige verdier som mulig for internlast, slik at beregnet oppvarmingsbehov (effekt og energi) blir så nære virkeligheten som mulig. I det etterfølgende er det diskutert og foreslått hvilke interne varmetilskudd som bør brukes for normale boliger, lavenergiboliger og passivhus, og hvilke tiltak som er aktuelle for å redusere energibruk til utstyr og belysning.

4.6.1 Interne varmetilskudd i normale boliger

Energibruk og varmetilskudd i forslag til ny energirammemetode i byggeforskriftene [5], er vist i tabell 4.5.

Verdiene i tabell 4.5 er ikke basert på spesielt energieffektivt eller behovsstyrt utstyr og belysning. Det er også regnet med at all energibruk til utstyr går over til varme i rommene.

I praksis vil noe av energiforbruket til vaskemaskin og oppvaskmaskin gå rett i sluket, og ikke kunne brukes til oppvarming. På den andre side er det ikke regnet med at noe av varmen fra produksjon av varmt tappevann vil kunne utnyttes til oppvarming, i praksis vil man kunne utnytte en betydelig del av denne varmen til oppvarming, særlig der tappevannstanken er plassert i den oppvarmede delen av boligen.

Verdiene for personvarme på 2 W/m^2 er også høyt sammenlignet med verdier for personvarme brukt i NS 3031 (1.4 W/m^2). Til sammen gir disse verdiene et totalt internvarmetilskudd på 7.9 W/m^2 , som trolig er noe for høyt i nye energieffektive boliger, og som derfor fører til at beregnet oppvarmingsbehov blir noe underestimert.

4.6.2 Interne varmetilskudd i lavenergiboliger

I godt isolerte lavenergiboliger der oppvarmingsbehovet blir under $30 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ er det meget fornuftig å bruke lavenergi utstyr og belysning, både for å redusere den totale energibruken og elforbruket, men også for å unngå overoppvarming i varme perioder. Det bør derfor brukes lavenergi hvitevarer (A, A+ eller A++ merkede hvitevarer), og lavenergibelysning (A-merkede lysepærer) der det er praktisk og komfortmessig mulig. I tillegg bør det være en sentral lysstyringsfunksjon som enkelt kan slå av all belysning når det ikke er noen i boligen, og helst også om natten (se kap. 4.7). Samme sentralfunksjon

Energipost	Energibruk*	Varmetilskudd*
Tappevann	$35 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (4 W/m^2)	$0 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (0 W/m^2)
Belysning	$23 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (2.63 W/m^2)	$23 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (2.63 W/m^2)
Utstyr	$29 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (3.31 W/m^2)	$29 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (3.31 W/m^2)
Personer	$0 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (2 W/m^2)	$17 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ (2 W/m^2)

Tabell 4.5
Energibruk og varmetilskudd i normal bolig (fra forslag til nye energirammemetode [5])

* Tall i parentes er snitteffekt over døgnet og året.

Tabell 4.6
Energibruk og varmetilskudd i normal bolig (fra forslag til nye energiramme-metode [5])

* Tall i parentes er snitteffekt over døgnet og året.

Energipost	Energibruk*	Varmetilskudd*
Tappevann	32 kWh/m ² år (3.65 W/m ²)	0 kWh/m ² år (0 W/m ²)
Belysning	14 kWh/m ² år (1.60 W/m ²)	14 kWh/m ² år (1.60 W/m ²)
Utstyr	21 kWh/m ² år (2.40 W/m ²)	21 kWh/m ² år (2.40 W/m ²)
Personer	0 kWh/m ² år (2 W/m ²)	17.5 kWh/m ² år (2 W/m ²)

Anbefalt energibruk og varmetilskudd for lavenergiboliger er vist i tabell 4.6. Til sammen gir disse verdiene et totalt intern-varmetilskudd på 6.0 W/m².

4.6.3 Interne varmetilskudd i passivhus

I passivhus er det enda viktigere å bruke lavenergi belysning og utstyr, både for å få ned den totale energibruken, men også for å unngå komfortproblemer.

Passivhusinstituttet i Darmstadt anbefaler at det brukes en total internlast på 2.1 W/m², noe som er langt under det som brukes i beregninger i Norge, og også langt under det som anbefales brukt for lavenergiboliger over. Selv om det for norske forhold kan virke veldig lavt, så er det målt så lave verdier i passivhusprosjekter i Tyskland. Pga. lengre vinterperiode i Norge med mer behov for kunstig lys, samt historisk sett lave elpriser, er det pr. i dag urealistisk å regne med så lave interntilskudd og energibruk til belysning og utstyr i Norge. Det foregår for øyeblikket en diskusjon om en nordisk definisjon på Passivhus i EU prosjektet: "Promotion of European Passive houses" [16], hvor bestemmelse av interne varmetilskudd er en viktig del. Pr. i dag kan det se ut som at en internlast på 4 W/m² er et rimelig anslag i nordiske passivhus, men dette er ikke bestemt endelig. I tabell 4.7 er det estimert sannsynlig varmetilskudd og energibruk til for "nordiske" passivhus.

Tabell 4.7
Energibruk og varmetilskudd i "nordiske" passivhus.

* Tall i parentes er snitteffekt over døgnet og året.

Energipost	Energibruk*	Varmetilskudd*
Tappevann	32 kWh/m ² år (3.65 W/m ²)	0 kWh/m ² år (0 W/m ²)
Belysning	12 kWh/m ² år (1.37 W/m ²)	10.8 kWh/m ² år (1.23 W/m ²)
Utstyr	20 kWh/m ² år (2.28 W/m ²)	13.2 kWh/m ² år (1.51 W/m ²)
Personer	0 kWh/m ² år (0 W/m ²)	11 kWh/m ² år (1.26 W/m ²)
SUM	64 kWh/m ² år (7.3 W/m ²)	35 kWh/m ² år (4.0 W/m ²)

I kap. 2 er det i beregning av energibruk også for passivhus og passivhus+ brukt samme energibruk og varmetilskudd som for lavenergiboliger (verdier gitt i 4.6.2). Effekten av å bruke lavere internl, som angitt i tabell 4.7, er beregnet i neste avsnitt.

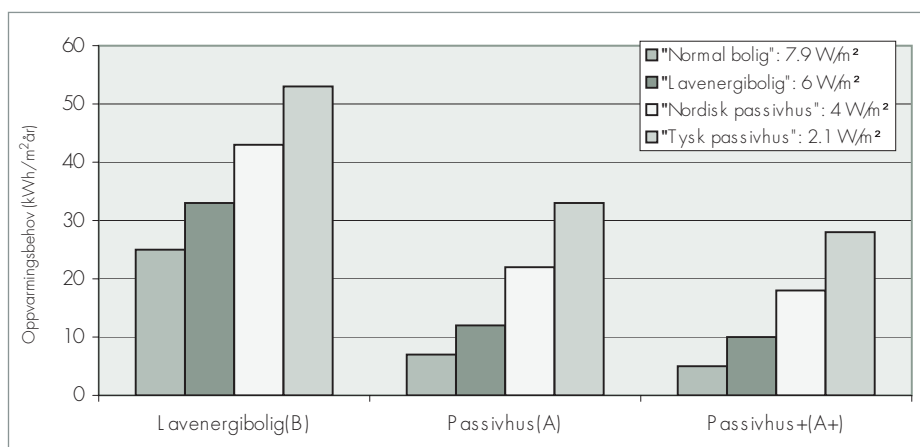
4.6.4 Oppvarmingsbehov som funksjon av ulike interne varmetilskudd

I figur 4.8 og 4.9 er det vist hvordan ulike internlastnivåer, fra høye 7.9 W/m² til lave 2.1 W/m², påvirker beregnet oppvarmingsbehov. Det sees at størrelsen på internlasten er helt avgjørende for hvor stort oppvarmingsbehovet er. Oppvarmingsbehovet med internlast på 2.1 W/m² ("Tysk passivhus") sammenlignet med 7.9 W/m² ("Normal bolig") er hele 3 til 4 ganger høyere.

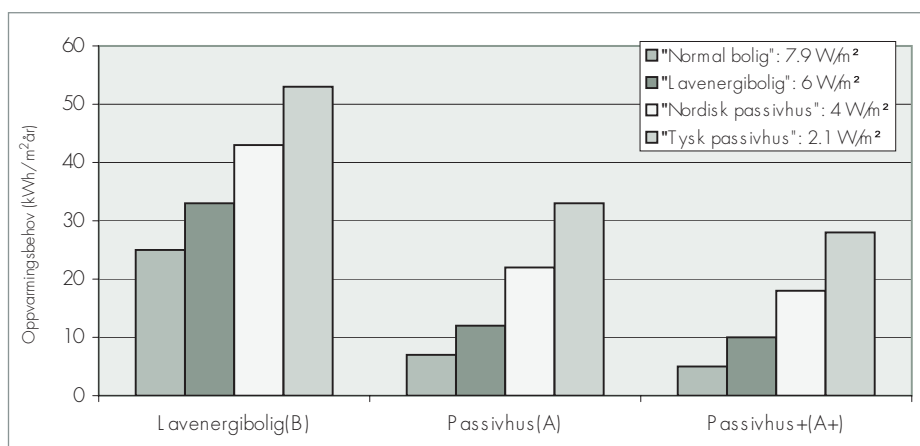
Foreløpig anbefales det å bruke en internlast på 6 W/m² ved beregning av oppvarmingsbehov (som brukt i kap.2), både for lavenergiboliger og passivhus.

Som nevnt vil det trolig komme en nordisk passivhus-definisjon der internlasten ligger rundt 4 W/m², men man må fortsatt under 15 kWh/m²år for å oppnå passivhus-standard.

²⁷Stadig flere produsenter av varmtvannstanker leverer nå skumisolerte tankker, noe som gir ca. 25 % mindre varmetap fra tanken sammenlignet med konvensjonelle varmtvannstanker isolert med mineralull (med samme isolasjonstykkelse). Dette reduserer energibruken til tappevannsoppvarming anslagsvis med ca. 3 kWh/m²år.



Figur 4.22
Beregnet oppvarmingsbehov for ulike nivåer av interne varmetilskudd, for småhus.



Figur 4.23
Beregnet oppvarmingsbehov for ulike nivåer av interne varmetilskudd, for leiligheter.

4.7 Systemer for behovsstyring og visualisering av energibruk

Moderne styringssystemer, elektronikk og sensortechnologi gir mange muligheter for behovsstyring og visualisering av energibruk. Ikke all såkalt smarthusteknologi og avanserte styringssystemer som finnes på markedet i dag er fornuftig eller kostnadseffektivt i lavenergiboliger og passivhus.

Man kan komme veldig langt ved enkle brukervennlige og rimelige systemer for å behovsstyre belysning, ventilasjon og utstyr, samt å visualisere energibruken. Det er nedenfor beskrevet noen aktuelle systemer og løsninger for å gjøre dette.

4.7.1 Manuell behovsstyring

En av de enkleste, mest effektive og kostnadsbesparende løsningene for å redusere elbruken og oppvarmingsbehovet på er en enkel bryter (se figur 4.24) som setter boligen i "hvilemodus"²⁸. Ved å sette bryteren i "Ute-stilling" vil all belysning bli slått av, aktuelle kurser for utstyr kan slås av²⁹ (ikke kjøøl og frysutstyr) og ventilasjonen kan reduseres (ikke slås helt av, se kap.4.5). Det vil også være mulig å redusere settpunkttemperaturen for romoppvarmingen, men redusert oppvarmingsbehov som følge av dette vil i lavenergiboliger og passivhus være veldig lite (1-3 %).

En bryter som vist i figur 4.2.4 bør plasseres lett tilgjengelig ved utgangsdør

²⁸ Dette er helt analogt med teknologien som brukes på bærbare PC'er og flatskjermer, som når de ikke i bruk slår seg ned i hvilemodus og bruker veldig lite strøm.

²⁹ Kurser som går til hvitevarer med kjøøl- og frysfunksjon kan selvsagt ikke gå om denne bryteren, andre hvitevarer som vaskemaskin, oppvaskmaskin, tørketrommel og lignende vil selvsagt også være upraktisk å ha over denne bryteren. Oppdeling i kurser må derfor gjøres med omtanke for at dette skal fungere bra i praksis.



Figur 4.2.4
Bryter med Ute-Hjemme funksjon som kan sette boligen i hvilemodus.

Illustrasjon: Guro Nereng.

(i entre eller vindfang) slik at den blir brukt når man forlater boligen. En lignende bryter med "Natt-Dag" funksjon kan brukes på samme måte, men bør av brukermessige grunner plasseres i hovedsoverom. Man må også passe på at ventilasjon i nattmodus ikke reduseres slik at luftkvalitet på soverom blir dårlig³⁰.

Kostnadene ved et slikt system kan være meget moderate, og lønnsomme, hvis man får dette inn tidlig i planleggingen av det elektrotekniske anlegget i bygget. Det er egentlig bare et spørsmål om god planlegging av de elektrotekniske føringsveiene (organisering av elkurser).

4.7.2 Tidsstyring

Tidsstyring av utstyr, belysning, ventilasjon og oppvarming (natt- og helgesenkning) er kanskje den vanligste og rimeligste formen for behovstyring. Den mest vanlige tidsstyring i boliger er panelovner med programmerbar natt- og helgesenkning. Dette er blitt veldig vanlig på panelovner i dag, enten som "stand alone" system der hver panelovn styres separat, eller med en sentral (se fig. 3.9 i kap. 3) som kan styre panelovner i mange ulike rom. Det er i dag også mulig å styre panelovner med radiosignaler, slik man slipper kabling mellom panelovner og styringssignal. Men som nevnt i kap. 3 er det veldig lite energi å spare på natt- og helgesenkning på lavenergiboliger og passivhus, siden temperaturen faller så sent i slike boliger (lang tidskonstant). Slik automatikk og styringssentraler blir derfor også lite lønnsomme i slike hus.

Tidsstyring av belysning, utstyr og ventilasjon er også sjelden brukt, siden bruk av boliger er mer irregulær enn andre type bygg. Tidsstyring kan være aktuelt for spesiell type utstyr slik som motorvarmer (drar mye strøm), og også tidsstyring av utebelysning kan være aktuelt. Generelt er utstyr/automatikk med tidsstyring relativt rimelige i investering.



Figur 4.25
Infrarød sensor brukt til tilstedeværelsesstyring.

4.7.3 Avansert styring: Dagslysstyring og tilstedeværelsesstyring

Stadig flere investerer i dag i alarmsystem med såkalte tilstedeværelses-varslere, basert på infrarød-sensorer (se figur 4.25), som også kan brukes til å styre lys, varme, ventilasjon og utstyr. Dessverre er det få som kobler sammen andre funksjoner enn alarm på slike produkter, noe som er litt synd siden en betydelig investering allikevel er gjort i disse sensorene. Dette vil trolig endre seg med tiden, etter hvert som integrerte smarthusløsninger (pakker) vil bli tilgjengelig 98

men det er et spørsmål om det er brukeraksept for at lys, oppvarming, utstyr og ventilasjon slås av og på hvis man går hyppig ut og inn av et rom. Det er selvsagt mulig å unngå noe av disse ulempene ved å ha en tidsforsinkelse i systemet, slik at ikke for eksempel lyset blir slått av med en gang man går ut av rommet. Sensorer for tilstedeværelsesstyring er relativt rimelige i investering, og har etter hvert blitt veldig vanlig på for eksempel kontorbygg.

Dagslysstyring er en annen mulig styringsmetode for å redusere energibehovet til kunstig belysning. Lyssensorer registrerer da lysnivået et sted i rommet, og reduserer (dimmer) da den kunstige belysningen ned. Det er ikke all kunstig belysning som har mulighet for dimming (generelt ikke lysstoffrør og lavenergipærer). Men siden beboere ofte manuelt styrer kunstig belysning ut fra tid på dagen og tid på året, vil det være relativt lite energi å spare på dagslysstyring over året i en bolig. Sammen med at dagslys/lys-sensorer er relativt dyre, er denne type styring sjelden et lønnsomt tiltak.

4.7.4 Systemer for visualisering av energibruk

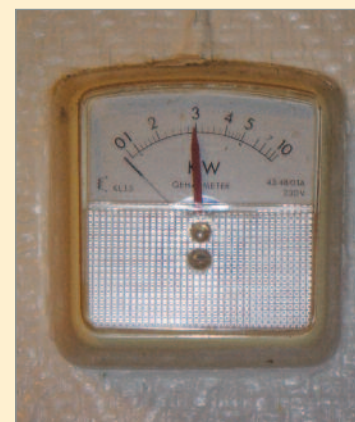
Erfaringer fra prosjekter antyder at beboere kan spare 10-15 % av sitt energibruk hvis de gjøres bevisst sitt eget energiforbruk (el og varme) og kan identifi-

³⁰Det er mulig å ha et spjeldsystem som redirigerer all tilluft til soverom om natten, og da ikke tilfører noe luft til andre oppholdsrom som stue og lignende. Dette kan være en bra løsning for å få optimal luftkvalitet på soverom, uten å sløse med energi.

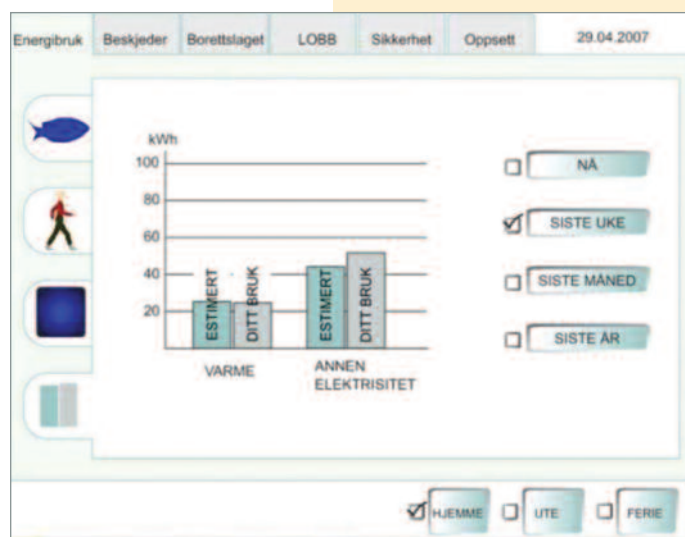
sere hva som påvirker forbruket. En form for visualisering av energibruket, gjerne oppdelt i elforbruk og varmekonsum, vil derfor være fornuftig. Dette gjør at beboere kan få direkte tilbakemelding på sin egen "energiatferd" og dermed gjøre endringer (hvis ønskelig) for å redusere sin energibruk. Det gamle Wattmeteret (se figur 4.25) ga en rask tilbakemelding på elforbruket (effekt).

En moderne utgave av Wattmeteret kan være et brukergrensesnitt som viser el- og varmekonsum nå (effekt), siste uke, siste måned og siste år. Dette kan da også sammenlignes med forventet bruk (simulert/beregnet eller tidligere målt). Forslag til et slikt brukergrensesnitt er vist i figur 4.26, og ble utviklet av Guro Nereng i en Masteroppgave ved Inst. for Produktdesign ved NTNU [17].

Et slikt brukergrensesnitt bør være lett synlig for å ha optimal innvirkning på atferd, og bør derfor, for eksempel, plasseres som et lite LCD-panel i entre eller tilsvarende sted. Det rimeligste er trolig å ha dette brukergrensesnittet på PC, for eksempel på et innloggbart nettsted, men for atferdsmessig påvirkning vil dette neppe være optimalt. Som vist i figur 4.26 kan et LCD-panel i entreen også kunne innholde hvilemodus-funksjonaliteten omtalt i 4.7.1.



Figur 4.25
Eksempel på gammeldags Wattmeter.



Figur 4.26
Eksempel på mulig brukergrensesnitt for "moderne" Wattmeter (Illustrasjon: Guro Nereng, Inst. for Produktdesign, NTNU)

4.8 Varme- og energiforsyningsløsninger tilpasset lavenergiboliger og passivhus

I følge fremgangsmåten for passiv energidesign (kap 2.3) er valg av oppvarmingsløsning og energiforsyning det siste steget i "pyramiden", men det betyr selvsagt ikke at det er uvesentlig. Når oppvarmingsbehov og energibehovet generelt er redusert mest mulig, må man finne en kostnadseffektiv, robust og tilpasset energiforsyningsløsning til dette. Det enkleste og rimeligste (pr. i dag) er trolig elektrisk rom- og tappevannsoppvarming. Men dette er ikke særlig fremtidsrettet verken samfunnsmessig eller privatøkonomisk, siden det er sannsynlig at elektrisitetsprisen vil øke i fremtiden. Det vil da være lite fornuftig å være låst til å bruke kun elektrisitet.

I det etterfølgende er ulike energiforsynings- og oppvarmingsløsninger i bygg beskrevet og diskutert med hensyn til hvordan de passer i lavenergiboliger og passivhus.

4.8.1 Varmeavgivelse i rom

Delvis uavhengig av type energikilde man velger, er valg av varmeavgivelse i rommene en viktig parameter både for komfort, kostnader, robusthet og energibruk. Generelt kan vi dele inn romoppvarmingssystemer i tre grupper:



Figur 4.28
Vannbåren gulvvarme i sponplategulv
(undergulv av spon)

1. **Bygningsintegrert oppvarmingssystem;** for eksempel gulvvarme, veggvarme eller takvarme (oppvarming integrert i vindusflater er også mulig).
2. **Direkte varmeavgivelse;** for eksempel panelovner, radiatorer, vedovner, pelletsovn, oljekamin, og lignende. Varme avgies som både stråling og konveksjon ("luftvarme").
3. **Luftbåren varme;** for eksempel oppvarming via ventilasjonsanlegget eller luft til luft varmepumpe.

Bygningsintegrert oppvarmingssystem

Elektriske varmekabler i gulv og vannbåren gulvvarme brukes i stort omfang i norske boliger. Særlig vannbåren gulvvarme har de siste årene fått stor utbredelse. Fordelene med vannbåren gulvvarme og forsåvidt også elektriske varmekabler³¹, er at de gir god komfort, varme gulv oppfattes som behagelig av de fleste. Relativt lav overflatetemperatur eliminerer sjansene for støvforbrenning og sterke konveksjonsstrømmer som ofte fører til klage på tørr luft. Men det er også flere ulemper:

- Særlig vannbåren gulvvarme kan være vanskelig å regulere nøyaktig, og kan i perioder føre til overoppvarming og sløsing med energi. Dette gjelder særlig i støpte løsninger som har stor termisk treghet, men også til en viss grad i lette trebjelkelag.
- Den økte temperaturen i gulvet vil føre til at varmetapet fra gulvet, til det fri, til grunnen eller til andre rom øker. For gulv på grunn kan dette føre til at varmetapet øker med fra 20-45 % sammenlignet med vanlig romoppvarming. Dette kan reduseres noe med ekstra isolering av gulvet.
- I lette løsninger (tregulv) vil ofte varmemotstanden fra varmesjiktet og til romlufta være så stor at man må ha relativt høy tilførselstemperatur (vannbårent system) for å få nødvendig avgitt effekt, typisk kan tilførselstemperaturen måtte være 45-50 °C. Dette fører til større varmetap fra gulvet, og at utnyttelse av lavtemperaturkilder som varmepumper og solfangere blir mindre effektivt.

Det finnes i dag også løsninger med både vannbåren veggvarme, vannbåren og elektrisk takvarme og elektrisk oppvarming av glassflater. Felles er at de, som for gulvvarme, øker varmetap fra konstruksjonen.

I en rapport laget av Byggforsk [18] er energibruken i 300 nye eneboliger og 250 leiligheter med vannbåren varme rapportert. I eneboliger uten varmepumpe er energibruken i snitt på 211 kWh/m²år. Dette er betydelig over forventet energibruk i nye eneboliger, og antyder at gulvvarmesystemer fører til høyere energibruk til oppvarming enn for boliger med ordinær romoppvarming (direkte varmeavgivelse).

Med et lite og variabelt oppvarmingsbehov som det er i lavenergiboliger og passivhus, vil integrerte oppvarmingssystemer som gulvvarme derfor være en lite egnet oppvarmingsmåte. Unntaket er våtrom og eventuelt entre der man ønsker en komfortvarme store deler av året.

Direkte varmeavgivelse

Direkte varmeavgivelse i rom i form av panelovner, radiator eller en form for ovner/kaminer, er tradisjonelt den dominerende oppvarmingsmåten i norske boliger, selv om andelen vannbåren gulvvarme i nye boliger har økt betydelig de siste årene.

Panelovner er en enkel, robust og rimelig oppvarmingsmåte, som også gir rask og nøyaktig regulering av temperaturen. Moderne panelovner med lav overflatetemperatur, alternativt med oljefylling, vil heller ikke ha nevneverdige problemer med brenning av støv eller for sterke konveksjonsstrømmer. Ulempen er at man er bundet til elektrisitet til oppvarming.

³¹ Som alternativ til elektriske kabler finnes det tynne varmefolier som har en lavere og jevnere temperatur enn varmekabler. Men de er mindre robuste enn varmekabler.

Radiatorer (vannbårne) er også robuste med lang levetid, men er dyrere enn panelovner. Moderne reguleringsteknikk og termostater gjør også at temperaturen kan reguleres rimelig raskt og nøyaktig, noe som er viktig i lavenergiboliger og passivhus. Radiatorer kan også dimensjoneres slik at lavtemperatur energikilder som varmepumper og solfangere kan brukes. Det gjør også til at overflatetemperaturene blir lave, noe som er gunstig for inneklimate.

En ulempe (i likhet med panelovner) er at man i større grad låser rommøblering, men dette er ikke noe stort problem i lavenergiboliger og passivhus som trenger veldig få oppvarmingspunkter (ofte bare ett).

Ovner, peisinnsatser og kaminer basert på fast eller flytende brensel er også en aktuell oppvarmingsmetode i boliger. Disse kan enten stå for mesteparten av romoppvarmingen, være et tilskudd i de kaldeste periodene av året, eller være mest for "trivsel", og da være helautomatisk, halvautomatiske eller helt manuelt styrte. En helautomatisk styrt oljekamin er eksempel på det første, mens en peis med innsats er eksempel på det siste. Synlig flamme og et sted å "varme seg på" blir av de fleste oppfattet som positivt. Ulempen med slike løsninger er at de kan være vanskelig å regulere, og ofte gir for mye varme allerede på laveste reguleringsnivå. Dette gjelder i enda større grad lavenergiboliger og passivhus, enn normale boliger. Punkt plassering gjør også at man kan få veldig ujevn varmefordeling i boligen.

Både panelovner og radiatorer er romoppvarmingsløsninger som passer i lavenergiboliger og passivhus, men vannbåren radiator gir mulighet for valg av miljøvennlige energikilder og bør brukes der det er kostnadsmessig forsvarlig. Ovner og kaminer kan også være aktuelle løsninger, men forutsetter god regulering og tilpasning til boligens planløsning (varmedistribusjon) og varmebehov for å unngå overoppvarming og sløsing med energi.

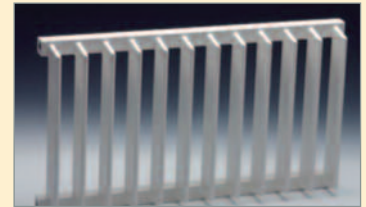
Luftbåren varme

Luftoppvarming, dvs. tilførsel av luft med overtemperatur, har tradisjonelt vært lite brukt i Norge. I passivhus, særlig i Tyskland og Østerrike, er bruk av luftoppvarming veldig vanlig, og bevisst brukt for å redusere kostnadene til oppvarmingssystem drastisk. Luft-til-luft-varmepumper³² har også de siste årene fått et kraftig oppsving i Norge. Mye av årsaken til dette var tilskuddsordningen myndighetene igangsatte i 2003.

Luftoppvarming via ventilasjonsanlegget, slik som det gjøres i Passivhus, er en enkel og relativt robust løsning som også er veldig kostnadseffektiv. Det trengs bare et lite varmebatteri, enten elektrisk eller vannbårent³³, som varmer luften opp til tilstrekkelig temperatur for å holde innnetemperaturen på 20-21 °C. For at dette skal fungere tilfredsstillende må effektbehovet til oppvarming være meget lavt, ned mot 10 W/m². Selv med så lavt effektbehov må man tilføre luft med 40-45 °C. Så varm luft vil i utgangspunktet føles ubehagelig å puste inn, men ved gjennomtenkt utførelse og plassering av innblåsningsventiler, vil dette blandes inn i resten av romluften og holde akseptabel temperatur i oppholdssoenen. Erfaringer fra Tyskland og Østerrike er gjennomgående god med denne oppvarmingsløsningen. En ulempe med luftoppvarming er at man får blåst inn samme temperatur på alle rom, og det er derfor vanskelig å holde f.eks. soverom på en lavere temperatur. I Norge der det er tradisjon for å ha lav temperatur på soverom, er det derfor en fare for at man vil vinduslufter kontinuerlig på soverom for å holde lav temperatur og dermed sløse med energi.

³² Luft-til-luftvarmepumper tar varme fra uteluften, men det er romluften som varmes opp av varmepumpen og sendes inn med relativt stor overtemperatur. Varmepumpen fungerer derfor som et omluftsystem, og tilfører ikke frisk uteluft til bygget.

³³ Vannbårent varmebatteri er å foretrekke både fordi miljøvennlige energikilder kan brukes, men også fordi man ikke har risiko for støvforbrenning som ved elektrisk batteri.



Figur 4.29
"Transparent" radiator (Ill. Lyngson AS)



Figur 4.30
Tilluftsventil type: "Frog mouth"
("froskemunn") som brukes mye i passivhus med kun luftoppvarming.

Luft-til-luft-varmepumpe er en punktvarmekilde (i motsetning til ventilasjonsoppvarming), som er avhengig av en relativt åpen planløsning for å kunne dekke en større del av boligens oppvarmingsbehov. Pga. større konsentrert varmluftstrøm vil det være økt risiko for dårlig komfort med denne løsningen, men også her kan riktig plassering og utforming av utblåsningsåpning kunne minimere problemet.

Oppvarming via ventilasjonssystemet kan være en aktuell oppvarmingsmetode i passivhus med meget lavt effektbehov til oppvarming. I lavenergiboliger som har høyere effektbehov er løsningen med luftpoppvarming ikke å anbefale.

4.8.2 Elektrisk oppvarming

Elektrisk oppvarming i form av panelovner, varmekabler, eller varmebatterier er ofte robuste og rimelig i investering. Panelovner er også enkle å regulere, mens innstøpte varmekabler er noe mer unøyaktig og tregt å regulere. Noe dårligere regulerbarhet på varmekabler er sjelden noe stort problem i våtrom der man gjerne vil ha en jevn varme døgnet rundt. Den store ulempen med elektrisk oppvarming er at man er låst til en energikilde. Dette trenger ikke være noe stort problem så lenge man har en annen energikilde man kan bruke for eksempel en vedovn eller biopellets-kamin.

Energibehov til tappevannsoppvarming er tradisjonelt blitt dekket med elektriske beredere. Disse er enkle og utprøvde, og er også relativt enkle å regulere nøyaktig. Men tappevannsbehovet i norske boliger er ofte høyt, og er den største energiposten i lavenergiboliger og passivhus. Tappevannsoppvarming bør derfor vurderes dekket av andre energikilder enn elektrisitet, der dette er praktisk og økonomisk mulig.

Elektrisk romoppvarming er akseptabelt i lavenergiboliger og passivhus hvis ikke mer miljøvennlig energiforsyning er praktisk og økonomisk forsvarbart. Tappevannsoppvarming, som vanligvis er den største energipost i passivhus og lavenergiboliger, bør forsøkes dekket av andre og mer miljøvennlige energikilder enn elektrisitet.

4.8.3 Biobrensel

Det finnes en rekke ulike oppvarmingsløsninger som anvender biobrensel:

- Sentrale kjelsystemer som bruker enten ved eller biopellets (flis er også mulig), og distribuerer varme via et vannbårent system. Kan også dekke deler av tappevannbehovet.
- Lokale kaminer, ovner eller peisinnsetser som bruker ved eller biopellets.

For eneboliger og mindre boligprosjekter (under 8-10 boligenheter) med passivhus- eller lavenergistandard er det vanskelig å få økonomisk lønnsomhet i et sentralt biobrenselanlegg med vannbåren varme. Slike anlegg vil også kunne være problematisk å regulere nøyaktig, med dårlig virkningsgrad i kjelsystemet og i verste fall overoppvarming som konsekvens. I større boligprosjekter (over 10-15 boliger) kan det være aktuelt med et sentralt helautomatisk biopellets-kjelanlegg som dekker tappevannsbehovet og romoppvarmingsbehovet. Slike anlegg må planlegges og dimensjoneres nøye for å unngå for mye dellast- og intermittenstap³⁴.



Figur 4.31
Sentral biopellets-kjel som produserer varme til tappevann og romoppvarming i et passivhusprosjekt i Østerrike.

³⁴ Dellast betyr at brenneren kun utnytter deler av den fulle kapasiteten brenneren/kjelsystemet har. Ved dellast vil temperaturen i brenneren være mindre og dermed virkningsgraden være lavere enn ved full last (kapasitet). Intermittens betyr at man periodevis må slå av kjelen siden det ikke er behov for varmeproduksjon. Siden det er ufullstendig forbrenning og energitap forbundet med intermitterende drift, bør man forsøke å minimere dette ved god dimensjonering og planlegging av kjelsystemet.

Vedovner eller peisinnsetser passer generelt dårlig i lavenergiboliger og passivhus, fordi de avgir for mye varme i forhold til varmebehovet i slike boliger. Selv de minste ovnene vil ved laveste avgitt effekt (2.5 – 4 kW) avgi mer enn dimensjonerende varmeeffekt for slike boliger. Unntaket er relativt store boliger (over ca. 150 m²), hvor vedovner og peisinnsetser kan være akseptable hvis det er en relativ åpen planløsning i huset. En annen ulempe med vedovner og peisinnsetser er at de trenger tilført relativt store luftmengder til forbrenningen (typisk 150–300 m³/h), og man må derfor ha et eget friskluftinntak til dette. Det er betydelig risiko for utettheter rundt og i friskluftinntak og skorstein, og dette må derfor utføres omhyggelig for å ikke få store luftlekkasjer som er uforenlig med lavenergi- og passivhuskonseptene.

Biopelletskamin er en mer egnet løsning, siden de kan reguleres ned til en effekt på 1.5 – 1.8 kW. Disse har også ofte termostatstyring, slik at de slår seg av og på etter varmebehovet. Men mye av og på drift (intermittens) vil redusere forbrenningsvirkningsgraden betydelig. Biopelletskaminer har også fordelen at de kan ha et lager av biopellets som automatisk blir matet inn i kaminene. Lageret kan holde fra et par dager til over en uke (når i bruk).

Både for vedfyring og biopelletsløsninger er det en klar fordel at boligen har en viss indre varmekapasitet, i form av eksponert murverk eller betong. Dette vil føre til at periodevis høy varmeeffekt avgitt av biobrenselløsningene vil bli lagret i de tunge konstruksjonene, og gradvis bli avgitt til romlufta over tid. Varmelagringen kan derfor hindre overoppvarming og utnytte den avgitt varmen bedre (man slipper å lufte ut overskuddsvarme).

Sentrale og helautomatiske biopelletskjel-systemer kan være en aktuell løsning for lavenergibolig- og passivhus med et visst antall boligenheter (mer enn 5-10 boenheter), men må planlegges og dimensjoneres nøye. Biopelletskaminer og til nød vedovner kan være akseptabelt i større boliger med lavenergi- og passivhusstandard, men man bør da ha et bygg med en viss indre varmekapasitet. Installasjon av slike løsninger må ikke gå utover byggets tetthet.

4.8.4 Solenergi

Det er prinsipielt tre måter å utnytte solenergi på i bygningssammenheng:

1. Passiv soloppvarming, dvs. soltilskudd som kommer inn gjennom vinduer og transparente bygningsdeler. Dette er omhandlet i kap. 3.
2. Solfangere som varmer opp vann eller luft, og som igjen brukes til å varme opp tappevann eller brukes til romoppvarming.
3. Solceller som omdanner solstråling til elektrisk energi.

Solfangere, og da særlig vannbaserte solfangere, har meget stor utbredelse i sydeuropeiske land, da primært brukt for oppvarming av tappevann. Også i land som Tyskland og Østerrike har solfangere fått relativt stor utbredelse. Disse brukes også stort sett til tappevannoppvarming, men en del er også kombisystemer som dekker både tappevann og romoppvarming. Solfangere har foreløpig liten utbredelse i Norge, men brukes i noe større grad i Sverige og Danmark. Vannbårne solfangere kan ta opp i området 75 – 90 % av den innkommende solstrålingen. Når innkommende solinnstråling på ei sydvendt takflate kan være over 1000 kWh/m²år i syd-norsk klima, betyr det at det er mulig å hente ut betydelig energimengder med et solfangersystem.

Solfangere kan i nordisk klima dekke ca. 50 % av varmebehovet til tappevann, men dette kan variere fra 40-70 % avhengig solfangertype og antall kvadratmeter solfanger. Nødvendig solfangerareal kun for å dekke tappevannsoppvarming, er typisk i området 3-6 m² for en normal bolig.

Kombisystemer som både dekker romoppvarming og tappevann, kan typisk



Figur 4.32
Liten biopelletskamin.



Figur 4.33
Vannbasert solfanger plassert på
taket.



Figur 4.34
Eksempel på solbio-kjel (Ill. Pellx)

dekke 30-35 % av romoppvarmingsbehovet og ca. 50 % av tappevannbehovet. Problemet i lavenergiboliger og passivhus er at når det i de kaldeste periodene er behov for romoppvarming er det lite solenergi tilgjengelig, og visa versa om sommeren. Det er kun i en relativ kort overgangssesong vår og høst at man får utnyttet solvarmen til romoppvarming. Nødvendig solfangerareal for å dekke romoppvarmingsbehov (i normale boliger) er vanligvis i området 15 – 30 m².

Kombisystemer som primært dekker tappevannsbehovet, og sekundært dekker vannbåren gulvvarme i bad og våtrom kan være en aktuell løsning i lavenergiboliger og passivhus. Varmebehovet i våtrom varierer mindre over døgnet og året enn annen romoppvarming, og er derfor mer i fase med tilgjengelig solvarme.

Solfangere bør optimalt ha orientering mot syd (+/- 20 °) og ha en helning på 30 -55 ° (vinkel i forhold til horisontalplanet). Montering på sydvendte saltak over 30 ° er derfor vanlig plassering av solfangere.

Siden solfangere ikke kan dekke hele det termiske energibehovet, må den ha en tilsatsvarme i de kaldeste månedene av året. Denne tilsatsvarmen kan være fjernvarme der tilgjengelig, eller olje, el, gass eller biopellets. Særlig kombinasjonen sol-bio er en meget miljøvennlig løsning som kan gi tilnærmet null klimagassutslipp. Det finnes allerede i dag kommersielt tilgjengelige sol-bio systemer med ferdig automatikk.

Solceller kan, i motsetning til solfangere, kun omdanne i området 12-20 % av den innkommende solenergien og må derfor ha relativt store flater for å kunne dekke en betydelig andel av en boligs elektrisitetsforbruk. Solceller er også pr. i dag relativt dyre i investering. Med videre utvikling av solceller med høyere virkningsgrad og lavere kostnad vil solceller kunne bli en viktig del av fremtidens boliger som vil ha en stadig større grad av egenprodusert miljøvennlig energi.

Solfangere som primært dekker behovet for tappevannsoppvarming, og sekundært varme til komfortvarme på bad og våtrom, er en løsning som passer godt med konseptet for lavenergiboliger og passivhus. Solfangere som primært dekker romoppvarming, egner seg dårlig for lavenergiboliger og passivhus. Solcelleanlegg for produksjon av strøm, er med dagens elektrisitetspris lite regningssvarende.

4.8.5 Varmepumper

Varmepumper finnes i en rekke utførelser og systemer, og i mange kostnadsnivåer. Varmepumper blir vanligvis oppdelt etter hvor de tar varme fra (omgivelsesvarme), men også hvordan de avgir varmen til boligen. Nedenfor er det gitt en kort beskrivelse og vurdering av aktuelle varmepumpesystemer i boliger og hvor godt de passer i lavenergiboliger og passivhus.

Luft-til-luft varmepumpe

Luft-til-luft varmepumpe tar varme fra uteluften og avgir den direkte til inneluften. Prisen på slike varmepumper er de siste årene blitt betydelig redusert, og kan ha bra lønnsomhet i eksisterende boliger. Ulempen for denne typen varmepumper er at varmefaktoren³⁵ avtar ved lave temperaturer, og effekten er liten når temperaturen nærmer seg -20 °C. Man må derfor også ha en annen energikilde for å dekke oppvarmingsbehovet i de kaldeste periodene. En annen ulempe er at den er en punktvarmekilde, og derfor er avhengig av en relativt åpen planløsning for å kunne dekke en betydelig del av varmebehovet.

Luft-til-luft varmepumper passer relativt dårlig i lavenergiboliger og passivhus, siden den har minst effekt når det er størst varmebehov i denne typen boliger.

³⁵ Varmefaktoren er avgitt varme fra varmepumpa delt på elektrisitetsbruken til varmepumpa. Det må skilles på momentan varmefaktor (også kalt effektfaktor eller COP) for varmepumpa ved en gitt tilstand (f.eks. ved +5 °C) og en midlere varmefaktor over året som vanligvis er lavere.

³⁶ Det er også mulig å bruke varmepumpen som en varmegjenvinner, ved å varme opp tilluften, men dette er normalt ikke lønnsomt.

Avtrekksvarmepumpe

En avtrekksvarmepumpe tar varme fra ventilasjonsluften (avtrekk) og varmer opp varmtvann. Normalt brukes slike varmepumper der det kun er avtrekksventilasjon³⁶.

Siden lavenergiboliger og passivhus er basert på bruk av balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning er avtrekksvarmepumper lite egnede i slike boliger.

En type avtrekksvarmepumpe som brukes mye i passivhus, er et kompaktaggregat som både inneholder balansert ventilasjon, avtrekksvarmepumpe og tappevannsoppvarming. Denne type løsninger er beskrevet i kap. 4.8.8.

Luft-til-vann varmepumpe

Denne typen varmepumper tar varme fra uteluften og varmer opp varmtvann. Varmtvannet kan brukes både til å dekke tappevannsbehov og til romoppvarming. Som for luft-til-luft varmepumper er ulempen at effekten til varmepumpa reduseres ved lave utetemperaturer.

Selv om luft-til-vann varmepumper er betydelig rimeligere enn berg/vann/jordvarmepumper (se neste avsnitt), er de fortsatt vanskelig å forsvare investeringsmessig i lavenergiboliger og passivhus.

Berg/vann/jord- vann

Dette er varmepumpeløsninger som tar varmen fra berg (borehull), grunnvann (borehull), jord (kollektor sløyfer i jorda) eller i sjøvann eller elver.

Varmepumpen kan levere varme både til tappevann og vannbåren romvarme (radiatorer eller gulvvarme). Det er for alle disse løsningene betydelig investering forbundet med varmeopptakssystemet i form av kollektorrør, boring og lignende, og dette er derfor også den mest kostbare varmepumpeløsningen. Grunnet relativt stabil temperatur på varmekilden vil varmefaktoren kunne være relativt høy (2.5-3.5) og stabil over året.

Pga. av høy investering og lite varmebehov i lavenergiboliger og passivhus, passer slike varmepumpesystemer vanligvis dårlig i slike boliger. Unntaket kan være prosjekter med mange kompakte boenheter (type blokk), hvor varmepumpesystemet primært dimensjoneres for å dekke tappevannsoppvarming og sekundært romoppvarming.

Gråvannsvarmepumpe

Denne type varmepumpe tar varme fra gråvannet (all avløpsvann bortsett fra toalett), og varmer opp varmtvann. Varmtvannet kan enten brukes til tappevannsoppvarming og/eller romoppvarming. Denne typen varmepumper er primært brukt i svømmehaller og badeland, og fortsatt lite brukt i boligsammenheng. Et slikt gråvannsvarmepumpesystem har behov for en egen sentral (rom) med bl.a. oppsamlingsbasseng for gråvannet. Systemet innbærer relativt store kostnader, og man må ha relativt mange boenheter i kompakt byggeform (blokker) for at det skal kunne være regningssvarende. Systemet krever også en del kontinuerlig drifting, bl.a. rensing av gråvannsfiler.

Pga. høy og stabil varmekildetemperatur, kan varmefaktoren bli relativt høy (4-7) på slike systemer. Se også omtale av prosjektet Husby Amfi i kap. 7.3.

Generelt passer de fleste ordinære varmepumpesystemer dårlig med det lave og veldig varierende varmebehovet i lavenergiboliger og passivhus. Unntaket kan være sentrale systemer for relativt mange og kompakte boenheter, hvor varmepumpesystemet primært dekker tappevannbehovet.

³⁶ Det er også mulig å bruke varmepumpen som en varmegjenvinner, ved å varme opp tilluften, men dette er normalt ikke lønnsomt.

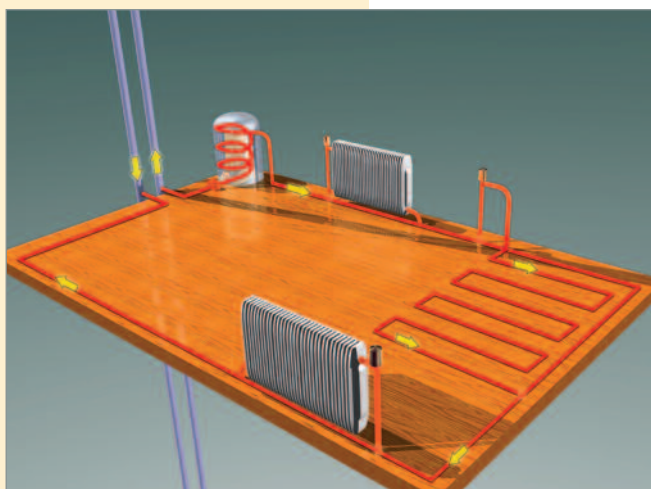
4.8.6 Fjernvarme

De fleste store fjernvarmeverk i Norge er basert på brenning av søppel (grunnlast), men har også en rekke andre energikilder som brukes som spisslast når det ikke er nok tilgang på søppel. Slike energikilder kan være olje, el, gass og bio-brensel. Hvor miljøvennlig fjernvarmeleveransen er, varierer en del mellom fjernvarmeverkene, men de fleste har et mål om å dekke betydelig mer enn 50 % med fornybar energi (søppel regnes da her som fornybar). Varme fra fjernvarmeledningen overføres til det vannbaserte varmesystemet i bygget med en varmeveksler.

I områder med konsesjonsplikt kan kommunene kreve at man kobler seg til fjernvarmenettet og bruker fjernvarme til romoppvarming. Det kan ikke kreves at fjernvarme skal brukes til oppvarming av tappevann. I praksis er det fornuftig å dekke tappevannsbehovet med fjernvarme, hvis man først er tilkoblet fjernvarme. Siden tappevannsbehovet er jevnt over året, og dermed i fase med tilgang på søppel, vil det være miljøvennlig å dekke tappevannsbehovet. Det er i praksis mindre miljøvennlig å dekke romoppvarming som har størst behov i de kaldeste periodene, hvor fjernvarmeverkene fyres med mindre miljøvennlige og forurenssende energikilder (el, olje og gass).

Det har vært flere boligprosjekter i Trondheim og Oslo, der det tilsynelatende har vært konflikt mellom lavenergiboliger og bruk av fjernvarme til romoppvarming. Utbyggere har ment at det har vært for kostbart og både satse på lavenergitiltak og et relativt kostbart vannbårent oppvarmingssystem. Men det

foregår arbeid og utvikling på dette området for å få fram meget kostnadseffektive vannbårne systemer som er tilpasset det lave varmebehovet i lavenergiboliger og passivhus [19]. Figur 4.35 viser eksempel på en forenklet og kostnadseffektiv vannbåren løsning, som er beregnet å være kostnadmessig omtrent lik med en tilsvarende elektrisk oppvarmingsløsning (panelovner, varmekabler og elektrisk varmtvannsbereder).



Figur 4.35
Skjematisk skisse på forenklet og kostnadseffektiv vannbåren løsning i lavenergieleilighet. Illustrasjon og ide: Leif Amdahl, VVSforeningen [19].

I områder med tilgjengelig fjernvarme basert på hovedsakelig miljøvennlig energi vil dette kunne dekke både tappevannsbehov og romoppvarming i lavenergiboliger og passivhus. Dette forutsatt at det brukes forenklede og kostnadseffektive vannbårne oppvarmingsanlegg tilpasset det lave varmebehovet i slike boliger.

4.8.7 Fossile brenslers

I utgangspunktet bør man i miljøvennlige boliger som lavenergiboliger og passivhus forøke å unngå bruk av ikke-fornybare energikilder som petroleum-produkter (fyringsolje, parafin) og gass (propan, naturgass, og lignende).

Gass kan imidlertid være et godt alternativ til elektrisitet siden gassforbrenning har god regulerbarhet. Små lokale gassovner (og gasspeiser) kan effektivt reguleres ned til små avgitte effekter noe som passer bra i lavenergiboliger og passivhus. De har også relativt små tap ved av og på regulering (intermittent drift). Gassovner har også fordelen at de ikke trenger egen skorstein over tak, men kan ha forenklet røykgassutslipp i fasade. Ulemper med gassovner er at det er en punktkilde som krever relativt åpen planløsning for å kunne dekke en stor andel av varmebehovet. De fleste gassovner og gasspeiser på det norske markedet er tilpasset normale boliger, og har generelt for stor avgitt effekt for lavenergiboliger og passivhus. Gass kan også dekke energibehovet til tappevannsoppvarming og matlaging.

Fyringsolje og parafin bør ikke brukes til oppvarmingsformål i miljøvennlig boliger som lavenergiboliger og passivhus. Der gass er tilgjengelig gjennom et gassnett eller annen distribusjon, kan det være et alternativ til elektrisk oppvarming. Gass kan også være et bra alternativ som spisslast (tilsatsvarme) i varmepumpe- og solfangersystemer.

4.8.8 Integrerte passivhusløsninger

I Tyskland og Østerrike der utbredelsen av passivhus er størst, har flere firmaer utviklet skreddersydde og kompakte passivhusaggregater. Disse aggregatene inneholder balansert ventilasjon med varmegjenvinning, avtrekksvarmepumpe (etter varmegjenvinner) og varmtvannsproduksjon. Varmt vannet kan brukes til å dekke tappevannsbehovet, men også til romoppvarming i form av gulvvarme i våtrom, radiatorer eller til luftoppvarming (varmebatteri) som er mye brukt i passivhus.

Siden varmemengden i avtrekkslufta etter varmegjenvinneren (vanligvis motstrømsvarmeveksler) er begrenset, er avgitt effekt fra varmepumpa til varmtvannproduksjon også ganske lav, typisk i området: 1.0-1.8 kW. Men siden dette er en kontinuerlig avgitt effekt til en lagringstank på 250-300 l, vil det kunne dekke en stor andel av varmebehovet (tappevann og rom) i et passivhus. Typisk 75-90 %. Varmefaktoren (årsverdi) for avtrekksvarmepumpa ligger i området 2.0-2.5 i sentraleuropeisk klima. Det er også mulighet til å koble solfangere på dette systemet, for å kunne dekke en enda større del av varmebehovet med fornybar energi. I praksis vil avtrekksvarmepumpa og solfangeren "konkurrere" om å levere varme i stor deler av året, mens begge deler har dårligst effekt i de kaldeste periodene av året når varmebehovet er størst. Kombinasjonen avtrekksvarmepumpe og solfanger er derfor ikke optimal reint kostnadmessig.

Dessverre er det foreløpig lite eller ingen erfaring med slike kompaktenheter i kaldt norsk eller nordisk klima. I teorien vil det med kalde perioder med temperaturer godt under null grader oppstå påriming på motstrømsvarmeveksleren, og/eller at avkasttemperaturen etter gjenvinneren blir så lav at avtrekksvarmepumpen vil få betydelig redusert effekt (lav varmefaktor). Ser man på prinsippskissen i figur 4.37, foreslås det som et alternativ at friskluften går gjennom en jordvarmesløyfe (nedgravde plastrør i grunnen) som forvarmer luften før den går inne i aggregatet. Dette vil i teorien kunne redusere eller eliminere både problemet med påriming i gjenvinner og lav varmefaktor for avtrekksvarmepumpa. Slike jordvarmesløyfer er mye brukt i passivhusprosjekter i Tyskland og Østerrike. Per i dag er ikke dette utprøvd i Norge, og risikoen for kondensering, vanskelig renhold, mikrobiologisk vekst er derfor til stede.

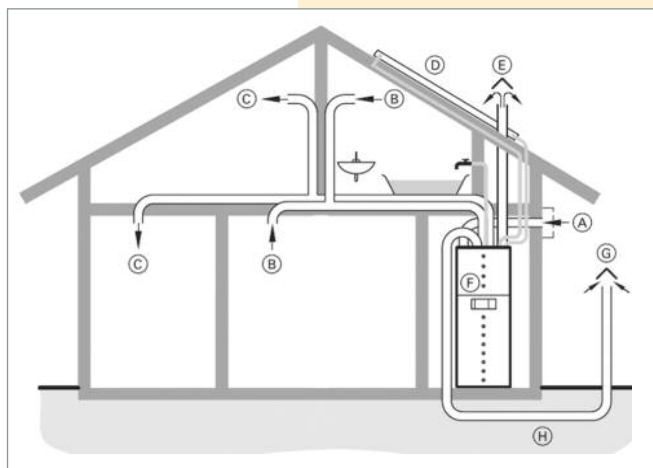
Før dette anbefales i Norge bør det utredes nærmere.

Det er selvsagt teknisk mulig å løse problemet med påriming og lav avkasttemperatur ved å montere et forvarmebatteri (varmer opp luften før den kommer inn på varmegjenvinneren). Men dette vil føre til at virkningsgraden til varmegjenvinneren og den effektive varmefaktoren til aggregatet vil gå betydelig ned, noe som selvsagt ikke er ønskelig.

I temperert norsk kystklima, som ligner mye på Sentral-Europeisk klima, vil slike kompaktaggregater tilpasset passivhus være en god løsning både i lavenergiboliger og passivhus. I kalde strøk av landet (dimensjonerende utetemperatur ned mot og under -20 °C) bør det utredes nærmere før slike aggregater tas i bruk.



Figur 4.36
Kompaktenheten plassert på vaske-
rom, der varmetap fra enheten også
kan nyttiggjøres til romoppvarming.
Bilde: Viessmann Werke GmbH.



Figur 4.37
Prinsippskisse av hvordan kompaktag-
gregatet fungerer i et passivhus.
A: Friskluftinntak (alternativ til G).
B: Avtrekksluft.
C: Tilluft. D: Eventuell solfanger.
E: Avkastluft.
F: Kompaktaggregatet.
G: Friksluftinntak (alternativ til A).
H: Jordvarmesløyfe for forvarming av
friskluft. Figur: Viessmann Werke
GmbH.



5 Planleggings- og byggeprosess

Planleggingsfasen for en lavenergibolig eller et passivhus er vanligvis noe mer omfattende enn for et normalt boligprosjekt. Byggeprosessen vil også kreve mer fokus på detaljer og bedre kvalitetssikring enn for normale boliger. Dette vil selvsagt kreve mer arbeid i en overgangsfase, men når lavenergiboliger og passivhus har etableret som en standard også i Norge vil både planleggings- og byggeprosessen ressursmessig trolig ha tilnærmet samme omfang som normale boligprosjekter.

Det viktige er å ha en strukturert planleggings- og byggeprosess der målsetningene og kravene som er satt for prosjektet blir tatt hensyn til alt fra første strek som arkitekten/planleggeren gjør, til konkret utførelse på byggeplassen. Dvs. at alle ledd fra arkitekten til tømrerlærlingen på byggeplassen må ha en god forståelse av målsetningen for bygget, og konsekvensene dette har for planleggings- og byggeprosess.

Gode eksempler fra Østerrike, Sverige og etter hvert Norge viser at man kan planlegge og bygge boliger med meget lavt energibehov uten at de koster mer enn normale boliger. Dette er et resultat av god og integrert planlegging, og rasjonelle byggemetoder.

Figur 5.1 viser hvordan en slik prosess fra idefase til overtagelse kan foregå, med eksempel på krav til byggets lufttetthet.

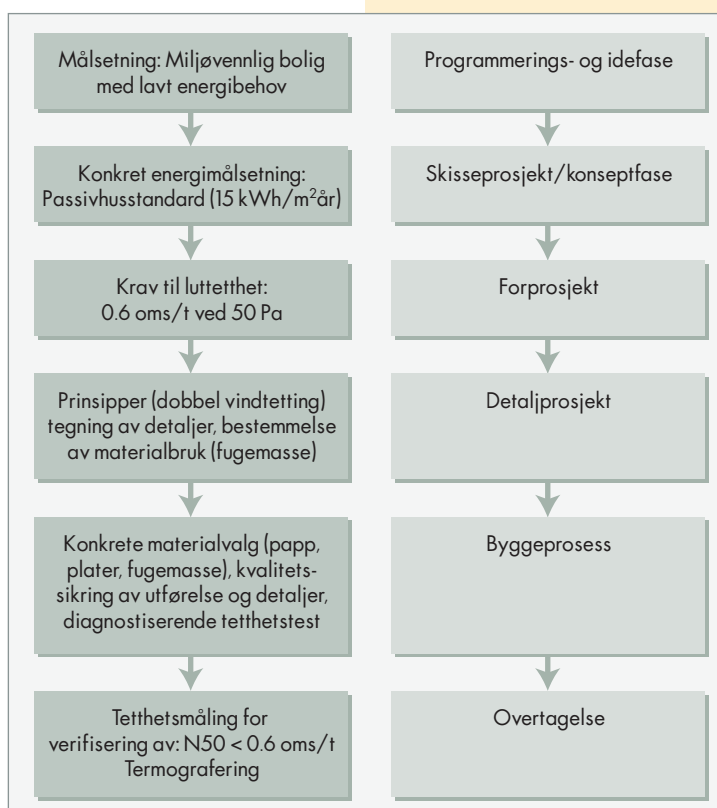
Viktige ting å sette fokus på i ulike faser av et prosjekt er beskrevet i det etterfølgende. Komplexiteten og tidsbruken i ulike faser av planleggingsprosessen vil selvsagt variere mye fra en enkel enebolig til et komplekst stort leilighetskompleks, men alle byggeprosjekter går vanligvis gjennom disse fasene.

5.1 Programmering og idefase

Dette er helt i startfasen av et prosjekt der man bestemmer seg for boligtype(r), ca. størrelse på boligen(e), krav til rom og arealer, andre funksjonskrav (livsløpsstandard, universell utforming), krav til parkering/parkeringskjeller, målsetninger om materialbruk og overordnede energi- og miljømålsetninger.

Foreløpige vurderinger av soltilgang på tomt, utnyttelse av tomtens topologi og vegetasjon, vindutsatthet og lignende kan også med fordel gjøres på dette stadiet, og danne grunnlag for utkast til orientering og plassering på tomt, hvordan bygget skal være koblet til grunnen (plate på mark, sokkel, kjeller), bevarelse av vegetasjon, og lignende.

Målsetninger og foreløpige vurderinger bør sammenfattes i et lite dokument som danner grunnlag for planleggenes videre arbeid. Når det gjelder energi-



Figur 5.1
Eksempel på prosess fra overordnet ide til konkrete resultat på bygget.

målsetning i denne fasen kan dette være på et nøyaktighetsnivå som: "boliger med 50 % redusert energibehov", "klasse B ihht. ny energimerkeordning" eller "passivhus-standard" med bruk av fornybar energi til tappevannsoppvarming".

5.2 Skisseprosjekt og konseptfase

Ut fra målsetninger og programkrav lages et overordnet konsept for bygget. Dette er en meget viktig fase, der mange avgjørelser når det gjelder bl.a. energibruk, komfort og kostnader gjøres. Man tar her avgjørelser om kompakthet, husorientering og plassering på tomt, vindus-orientering og -distribusjon på fasader, overordnet konstruksjons- og materialvalg, overordnet valg av tekniske installasjoner som ventilasjons- og oppvarmingssystem med mer. Disse vurderingene må samkjøres med den arkitektoniske utformingen av bygget, som planløsninger og fasadeutforming.

Dette munner ut i første skisser av plan, snitt og fasader, en relativt konkret energimålsetning, og gjerne et første grovt kostnadsoverslag. Energimålsetning for prosjektet kan her være for eksempel at totalt energibehov skal være under 100 kWh/m²år, at oppvarmingsbehovet skal være høyst 30 kWh/m²år, og at 50 % av tappevannsbehovet dekkes av fornybar energi.

Man bør også her gjøre de første overslagsberegninger/simuleringer av energibruk for å se om energimålsetningen er realiserbar innenfor fornuftige kostnader. Er de ikke det, må man "kna prosjektet" for å se hvilke store grep man må gjøre for å redusere kostnadene og energibruken uten at dette går utover programkrav og arkitektonisk uttrykk.

5.3 Forprosjekt

Overgangen mellom skisse- og forprosjekt er ofte glidende. Grovt sett går forprosjektet ut på å konkretisere skisseprosjektet ytterligere. Konkrete valg av vindusorientering, fasadeutforming, konstruksjonsvalg, valg av ventilasjonsløsning, oppvarmingsløsning, energiforsyning, osv. utarbeides her. Ut fra dette gjøres det energiberegninger og/eller simuleringer for å se på om energibehovet tilfredsstiller målsetninger satt opp i skisseprosjektet. Mer nøyaktige kostnadsoverslag for prosjektet gjøres også.

Ut fra dette settes det opp en kravspesifikasjon, se eksempel tabell 6.1, som danner underlag for resten av planleggingsarbeidet og byggeprosessen. Kravspesifikasjonen kan fravikes senere i prosjekterings- eller byggefasen, hvis det kan påvises at alternativ løsning gir like bra eller bedre ytelse enn satt opp i kravspesifikasjonen. Særlig i større leilighetsprosjekter vil en kravspesifikasjon være et meget nyttig verktøy for å påse at man ikke i en eller annen fase i prosjektet reduserer kvaliteten/ytelsen på komponenter og løsninger.

5.4 Detaljprosjekt

I denne fasen er gjerne entreprenør/byggmester og underentreprenører dratt inn i prosjekteringsprosessen (det kan også være gjort i skisse- eller forprosjektfasen). Man utarbeider i denne fasen detaljløsninger og bestemmer ofte konkrete produkter/leverandører for komponenter og løsninger (vinduer, ventilasjon, oppvarmingsløsninger) som tilfredsstiller kravspesifikasjonen. Det er ofte i denne fasen man lager detaljtegninger og løsninger for tetthet og kuldebroer og lignende. Detaljprosjektering av ventilasjonsanlegg og oppvarmingssystem gjøres også ofte her. På bakgrunn av detaljprosjekteringen gjør man vanligvis justeringer av energiberegninger/simuleringer og kostnadskalkyler.

Tabell 5.1
Eksempel på
kravspesifikasjon.

Tiltak/område	Kravspesifikasjon	Aktuelle løsninger og aktuell teknologi
Arkitektonisk utforming		
Planløsning	Energikonserverende planløsning	Så langt som mulig: Varme våtrom internt i bygget, kalde rom mot nord, oppholdsrom (kjøkken og stue) mot solrik orientering.
Bygningsform	Overflateareal/volum < 0.45 m ⁻¹	Enkel og kompakt bygningsform, men kompromiss med dagslys krav
Vinduer og vindusfordeling	Maks 20 % vindusareal, min. 40 % mot solrik orientering Min brystningshøyde i oppholdsrom: 30 cm	Ikke mer enn 20 % vindus- og dørareal i forhold til oppvarmet gulvareal. Mest vinduer mot solrik orientering (S, SV, SØ). Heller høye vinduer opp mot himling, som er gunstig for dagslysinntrenging i dype rom, enn vinduer ned mot gulv som skaper kaldras langs gulv.
Bygningstekniske løsninger		
Yttervegg	$U < 0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$	Bindingsverksvegg med til sammen 250 mm isolasjon, krysslektet for å bryte kuldebroer i bindingsverket, eventuelt utvendig trykkfast isolasjon for murfasader (tegl eller puss).
Yttertak	$U < 0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$	Flatt tak med 400 mm isolasjon.
Gulv	$U < 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gulv på grunn med 250 mm isolasjon (EPS) eller gulv mot kjeller/garasje med min. 300 mm isolasjon.
Vinduer	$U < 0.95 \text{ W/m}^2\text{K}$	Tre lags rute, 2 lav E-belegg, argon, stål-spacer, ekstra tykk trekarm.
Dører	$U < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$	Godt isolerte dører.
Kuldebroer	$\psi < 0.03 \text{ W/mK}$	Min 50 mm isolasjonsbrudd for treverk, min 100 mm isolasjonsbrudd for betong.
Lufttetthet	N50 < 0.8 oms/h	Dobbel vindtetting, fugemasse/silikon, tape, klemming, gode detaljer: overgang mur/tre, tekniske gjennomføringer, rundt vinduer og dører, dokumentert tette dører og vinduer. Godt håndverk.
Installasjoner		
Ventilasjonsanlegg	> 80 %, SFP < 1.8 kW/m ³ /S	Motstrømsvarmeveksler, kammerveksler eller roterende gjenvinner, aggregat med lite systemtap (trykk), kanalnett/føringsveier med lite trykktap
Belysning	Mer enn 80 % A-merkede lyskilder.	"Allmennbelysning" med A-merkede sparepærer eller lysstoffrør.
Hvitevarer	A-merkede hvitevarer (ekskl. tørketrommel)	A-merket kjøleskap/kombiskap, fryser, oppvaskmaskin, vaske-maskin. Minimum C-merket tørketrommel.
Synliggjøring av energibruk og brukervaner	Display som viser energibruk opp mot normert energibruk	Enkelt display som viser energibruk splittet i oppvarming og elbruk, med oppløsning: nå, uke, måned, år, som også viser ute og innetemperatur.
Energiforsyning	Min 30 kWh/m ² år dekkes av miljøvennlig energi	Elektrisk romoppvarming hvis behovet er under 20 kWh/m ² år, tappevannsforbruk dekkes av fjernvarme.

Ofte vil noe av detaljprosjekteringen foregå etter at byggingen har startet, for eksempel utarbeidelse av arbeidstegninger og sjekklister for arbeidsutførelse (se 5.5).

5.5 Byggeprosess og produksjonsfase

Det er veldig viktig at målsetningene, kravene og løsningene fra prosjekteringsprosessen blir overført til byggeprosessen. Å få kontinuitet fra prosjekterings- til byggefase kan for eksempel gjøres ved å dra inn entreprenør/byggmester tidlig i prosjekteringsprosessen, gjerne helt fra skisse- og forprosjektstadiet. I større prosjekter vil det også være fornuftig med et "håndverkerseminar" der for-menn/baser, men også utførende på byggeplass deltar. Gjennomgang av målsetning, krav og løsninger er viktig for å skape forankring og forståelse av at detaljer (kuldebroer og tetting) er viktig. Opplysninger om at bygget skal etterprøves med for eksempel trykktesting og termografering, vil også skape forståelse for at håndverksmessig god utførelse er viktig.

Kvalitetssikring på byggeplass er også viktig for å nå de oppsatte krav i prosjekteringsfasen. Det er generelt lite tradisjon for kvalitetssikring i norsk byggebransje, sammenlignet med annen industriell produksjon. Trolig vil en mer systematisk kvalitetssikring av byggeprosessen føre til bedre bygg og mindre byggska-

Tabell 5.2

Eksempel på sjekklister for kvalitets-sikring av byggets lufttetthet på byggeplass.

Kontroll	Når	Hvordan
Poretetting grunnmur	Oppført og ferdig pusset grunnmur	Visuell kontroll
Overganger tre-mur	Utvendig vindtettsjikt montert	Visuell kontroll
Overganger yttervegg-yttertak (raft)	Utvendig vindtettsjikt montert (både yttertak og yttervegg)	Visuell kontroll
Gjennomføringer tekniske installasjoner (rør og kanaler)	Utvendig vindtettsjikt montert og gjennomføringer installert.	Visuell kontroll
Tetting rundt vinduer og dører	Utvendig vindtettsjikt montert, vinduer og dører innsatt og utvendige fuger tett. Sjekkes før ytterkledning og vindusomramming settes opp.	Visuell kontroll
Generelt tettesjikt yttervegger	Utvendig vindtettsjikt montert.	Visuell kontroll
Global vindtetting	Når det utvendige vindtettsjiktet anses ferdigstilt, men før isolering og innvendig damp-sperre påbegynnes.	Diagnostiserende trykktesting 37

Sammen med arbeidstegninger er kontroll- eller sjekklister et viktig verktøy i dette arbeidet, der man angir hva som skal kontrolleres, når det skal kontrolleres og hvordan det skal kontrolleres. Det er viktig at dette er så transparent som mulig, også for de utførende, slik at ikke kontrollene skjer etter "innfalls-metoden". Vet de utførende hva, når og hvordan ting skal kvalitetssikres vil også kontrollen bli kunne oppfattet som et positivt element for å bedre kvaliteten på bygget. Tabell 6.2 viser eksempel på en sjekklister for å kvalitetssikre tettheten til bygget.

Slik kan man lage sjekklister også for andre områder, slik som isolering, ventilasjonsanlegg/kanalsystem, oppvarmingsanlegg, og lignende som er viktige for energibruk og komfort. Sjekklister kan med fordel utarbeides i detaljprosjekt, og gjerne i samarbeid mellom planleggerne og de utførende (entreprenør/byggmester).

5.6 Ferdigkontroll og overtagelse

Før overtagelse av boligen er det viktig å gjøre en ferdigkontroll av bygget. Avhengig av bygget, og løsningene kan dette være:

- Innregulering og funksjonskontroll av ventilasjonsanlegg.
- Igangkjøring og eventuell innregulering av oppvarmingsanlegg (vannbårne anlegg krever innregulering).
- Testing av funksjonaliteten til eventuelt styrings- og visualiseringssystem.
- En bygningsteknisk gjennomgang av bygget for å sjekke at alt fungerer etter intensjonen.
- Eventuell termografering for å avdekke eventuelle kuldebroer eller luftlekkasjer (gjøre gjerne samtidig med trykktesting)
- Eventuell tetthetsmåling av bygget for å verifisere at bygget tilfredsstiller den prosjekterte tetthetskravet. Trykktesting er et krav for passivhus, men anbefales også gjort for lavenergi boliger.

En siste gjennomgang og justering av energiberegningene med "as built" verdier bør også gjøres, for å ha et så riktig beregnet/simulert energibehov som mulig. Særlig er det viktig der simulert energibruk skal benyttes som sammenligning med reelt forbruk (visualisering av forbruket).

En enkel brukerveiledning for boligen kan også være fornuftig, som bla. kan ta opp drift og vedlikehold av bygg og tekniske anlegg, men også hvordan bygget

³⁷ Ofte kan det være fornuftig å gjennomføre en diagnostiserende trykktest av bygget når vindtettingen er ferdigstilt, for å finne ut hvor de største lekkasjepunktene er. Det er da relativt enkelt og rimelig å utbedre lekkasjepunktene, i motsetning til senere i byggeprosjektet når utbedringer kan være mer arbeidskrevende og vanskelig å utbedre.



Figur 5.2

Utstyr for trykktesting av bygg.
Bilde: Minneapolis Blower Door™
(www.energyconservatory.com)

er forutsatt brukt for å få oppnå prosjektert energibruk. For eksempel at:

- Høyere innetemperatur enn 21 °C i snitt vil øke oppvarmingsbehovet.
- Omfattende vinduslufting³⁸ vil øke oppvarmingsbehovet.
- Bruk av mye glødepærer og halogenbelysning vil øke elektrisitetsbruken.
- Bruk av mye hvitevarer og annet utstyr vil øke elektrisitetsbruken. Særlig vil mye bruk av tørketrommel og tørkeskap øke el-bruken betydelig
- Mye bruk av badekar, boblebad og mye dusjing vil kunne øke energibruken betydelig.

Disse brukermessige forholdene vil kunne øke energibruken med 50-100 % i forhold til gjennomsnittet, og det er derfor viktig å gjøre beboerne bevisst på dette. Dermed kan man avverge urettmessige klager på høyt energibruk, der brukermessige forhold og ikke kvaliteten til bygget er årsaken til forbruket.

5.7 Prosjekteringsverktøy

Internasjonalt finnes det flere hundre beregningsprogrammer for analyse av energibruk i bygninger (se: www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/). De fleste av disse er lite egnet til å beregne og prosjektere lavenergiboliger og passivhus, bl.a. på grunn av:

- De er for kompliserte og lite brukervennlige, og man vil derfor bruke for mye tid til å sette seg inn i og bruke disse.
- De er ikke tilpasset bygningstekniske og installasjonstekniske løsninger som brukes i Norge.
- De har ikke tilgjengelig klimadata for Norge. Noen har klimadata for Oslo og kanskje Bergen, men ikke for andre steder i Norge.

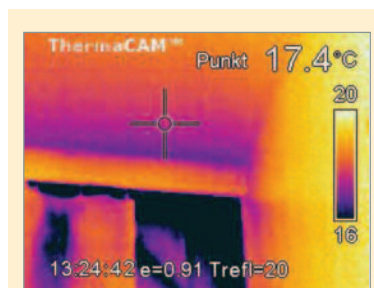
Samtidig vil det de to neste årene bli utviklet nye databeregningsverktøy (eller eksisterende bli modifisert) i forbindelse med innføring av EU-direktivet (EPBD, se kap.1). Dette vi skje både internasjonalt (i Europa) og trolig nasjonalt. Disse programmene vil da hovedsakelig bli basert på, eller validert etter nye Europeiske standarder (CEN) som er under utarbeidelse.

Nedenfor er det gitt en kort beskrivelse av de mest aktuelle beregnings- og simuleringsverktøyene for lavenergiboliger og passivhus som tilgjengelige i dag.

5.7.1 Enøk normtall

Enøk Normtall er et dataprogram for enkel og rask energi- og effektbehovsberegning. Programmet er basert på en månedsmiddelberegning i henhold til den NS 3031 [11]. Det har tilstrekkelig nøyaktighet for overslagsmessige beregninger i en skisseprosjekt-fase. Det beregner kun energibudsjet for netto energibehov, og tar ikke hensyn til ulike energikilder. Programmet kan lastes gratis ned fra Enovas hjemmesider (www.enova.no/?itemid=990).

³⁸ Vinduslufting bl.a. på soverom er meget vanlig i norske boliger. Dette vil ikke ha noen negativ effekt på funksjonen til det balanserte ventilasjonsanlegget, men vil bare føre til et ekstra oppvarmingsbehov.

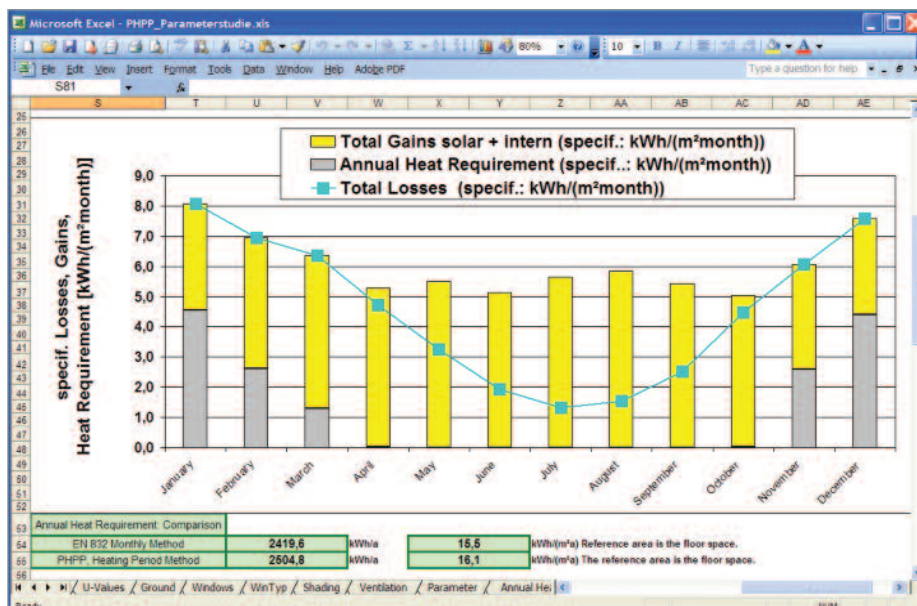


Figur 5.3
Eksempel på termografering av kuldebro forårsaket av etasjeskiller i betong
(Bilde: Bjørn Wachenfeldt Jensen).

Enøk Normtall					
Energi- og Effektbudsjet					
Prosjekt: THD					
Byggtype: Boligblokk					
Referansetilstand: 1997					
Klimastasjon: 1. Ser-Norge innland					
Fyringssesong: 10.9 - 20.5					
Budsjettpost	Normtall [kWh/m²]	Før enøk [kWh/m²]		Etter enøk [kWh/m²]	
1. Oppvarming	19,8	19,8	57 420	19,8	57 420
2. Ventilasjon	22,1	13,7	39 730	13,7	39 730
3. Varmtvann	29,6	29,6	85 840	29,6	85 840
4. Vifter & pumper	6,6	6,6	19 140	6,6	19 140
5. Belysning	16,9	16,9	49 010	16,9	49 010
6. Diverse	27,4	27,4	79 460	27,4	79 460
7. Kjøling	0,0	0,0	0	0,0	0
Totalt	122,3	114,0	330 600	114,0	330 600
8. Utenders			0 [kWh/år]		0 [kWh/år]

Figur 5.4
Brukergrensesnitt i dataprogrammet Enøk Normtall.

Figur 5.5
Brukergrensesnitt i dataverktøyet PHPP
fra Passivhusinstituttet.



5.7.2 PHPP

PHPP står for "Passive House Planning Package" og er utviklet av Passivhusinstituttet i Darmstadt (www.passiv.de). Dette er et regnearkbasert beregningsverktøy utviklet spesielt for prosjektering av passivhus. Dette verktøyet er brukt til å planlegge og verifisere over tusen passivhus i Sentral-Europa. Beregningsalgoritmen er hovedsakelig basert på den europeiske standarden EN 832 [25]. Programmet krever relativt detaljerte inngangsdata for en energiberegning, og deler av programmet er noe tilpasset typiske forhold i Sentral-Europa. Men det vil være fullt mulig å bruke dette verktøyet for prosjektering av passivhus i Norge. Begrensningen er at det så langt er tilgjengelig kun klimadatasett for Oslo og Bergen. Programmet finnes så langt på Tysk og Engelsk. Programmet kan bestilles på hjemmesidene til Passivhusinstituttet:

www.passiv.de

5.7.3 Energi i Bygninger

Energi i Bygninger er et norskutviklet energiberegningsprogram, med ca. 200 brukere i Norge og Sverige. Det er basert på en forenklet dynamisk simuleringsmodell der byggets varmembalanse (varmetilskudd – varmetap = varmelagring) løses for hver time i året. Det har en rekke simuleringsmuligheter:

- Dimensjonerende vinter; med beregning av dimensjonerende varmeeffekt, effektbudsjett og temperaturforløp.
- Dimensjonerende sommer; beregning av dimensjonerende kjøleeffekt, effektbudsjett sommer og temperaturforløp. Pga. den forenklede termiske modellen er temperaturforløpet om sommeren kun indikativt.
- Årssimulering; beregning av varmembalanse, oppvarmingsbehov, energitilførsel, med mer, månedvis og for hele året.
- Lønnsomhet av enøktiltak; beregning av spart energi, energikostnader og lønnsomhet av enkelttiltak og hele enøktiltakspakker.
- Evaluering mot forskrifter; sammenligning av simulert energibruk og andre beregninger mot dagens forskriftskrav.
- Total simulering (Enøkrappport); et konsentrat av beregningene over, men også årlig energibudsjett og energibruk fordelt på ulike energikilder.

Programmet er primært utviklet med tanke på yrkesbygg, men vil også være egnet til å beregne lavenergiboliger og passivhus. Det ligger i overkant av 30 klimadatasett for ulike steder i Norge. Demoversjon av programmet kan lastes ned fra www.programbyggerne.no

5.7.4 Andre hjelpeprogrammer

Det kan i en prosjekteringsprosess også være aktuelt å bruke andre mer spesialiserte beregningsprogrammer.

Programmer for 2- og 3-dimensjonal varmestrøm i bygningskonstruksjoner, er mye brukt for å beregne kuldebroverdier. Et mye brukt program for dette er Heat 2 som er et svensk utviklet program for to-dimensjonal varmestrøm, som også er brukt mye for beregning av kuldebroer. Programmet finnes også i en tre-dimensjonal versjon, Heat 3. Programmene er basert på såkalte differensmetoder³⁹. Mer informasjon om programmene er å finne på:

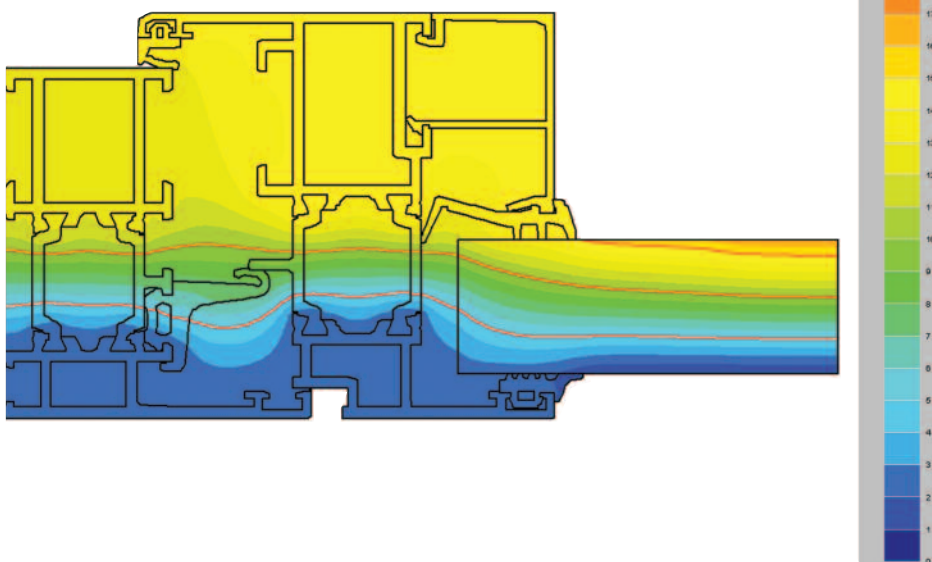
www.buildingphysics.com/PC-programs.htm

Et alternativ til Heat programmene er programmene fra Physibel Software (Belgisk firma) som har programmer for 2- og 3-dimensjonal varmestrøm. Disse programmene er basert på såkalte elementmetoder³⁹.

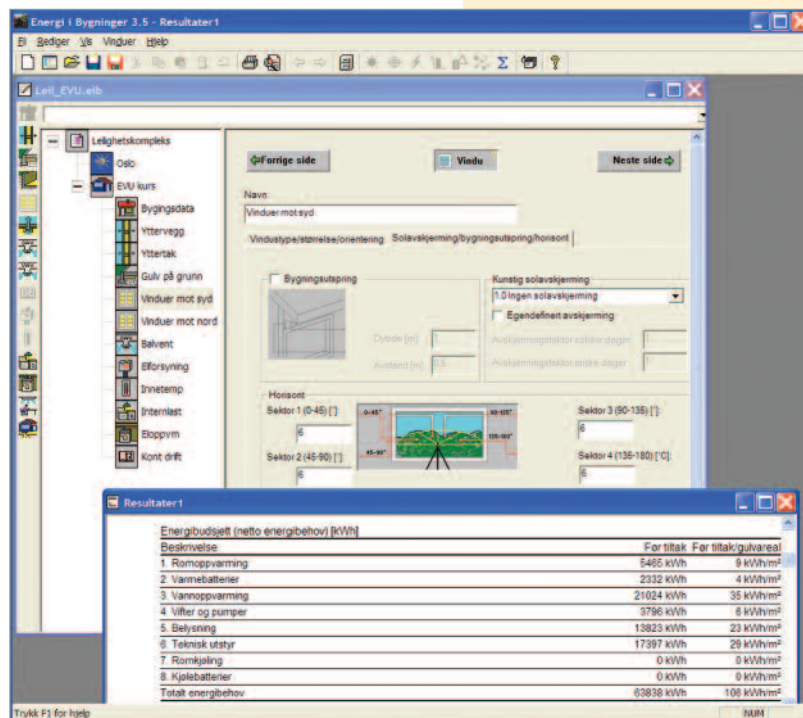
Programmer for beregning av termiske solfangere kan også være aktuelt å bruke i enkelte prosjekter. Et mye brukt program internasjonalt er programmet PolySun utviklet i Sveits. Informasjon om programmet finnes på:

www.solarenergy.ch/spf.php?lang=en&fam=14&tab=1

Et mer generelt program for beregning og prosjektering av fornybare energikilder er det kanadiske Retscreen. Dette kan brukes til planlegging av vind-energianlegg, små vannkraftanlegg, solfangere, solceller, biobrenselanlegg, kogenererings-systemer, varmepumper, osv. Programmet kan lastes gratis ned fra www.retscreen.net/ang/menu.php. Nettstedet påstår at programmet har over 70 000 brukere i 210 land.



³⁹ Numeriske metoder for løsning av varmestrømningsproblemer kan deles opp i differensmetoder og elementmetoder. Differensmetoder deler opp området i rektangler, der de grunnleggende lovene (Fourier's lov og energibevarelse) løses. Elementmetoder er noe mer komplisert, men har fordelen av at elementene kan ha ulik geometri (for eksempel: bokser, tetraeder og platelementer) som bedre kan tilpasses konstruksjoner med uregulær geometri (som vinduskarmer).



Figur 5.6
Brukergrensesnitt i dataprogrammet Energi i Bygninger 3.5.

Figur 5.7
Eksempel på numerisk 2-dimensjonal beregning av varmestrøm i en vinduskarm (www.physibel.com)



6 Komfort, kostnader og lønnsomhet

6.1 Komfort og inneklima

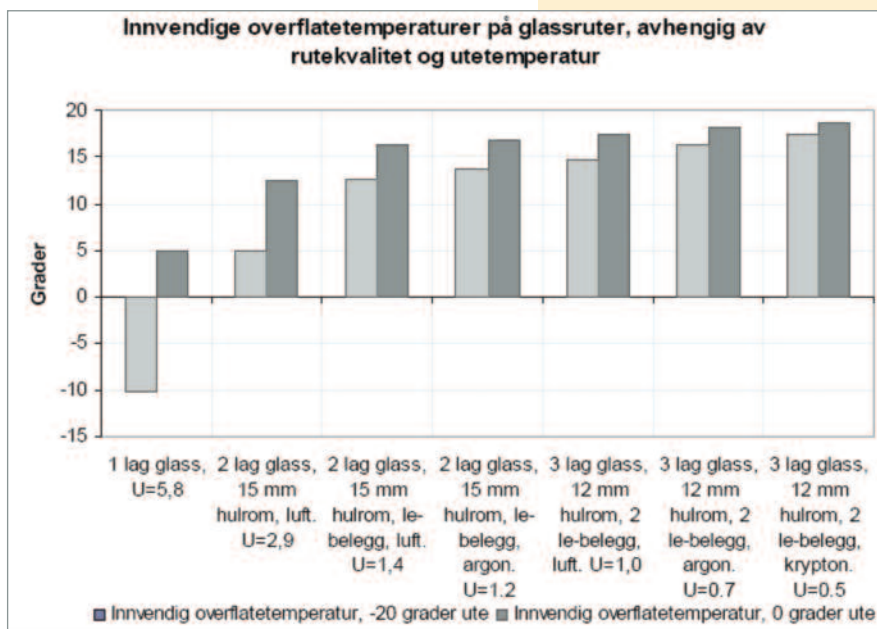
Passivhus og lavenergiboliger som er riktig prosjektert og utført vil ha godt inneklima og meget god komfort vinter og sommer. Dette kommer som en følge av at man får høye overflatetemperaturer, eliminering av kaldras og trekkproblemer og et stabilt luftskifte i boligen.

6.1.1 Høye overflatetemperaturer

Høyisolerte konstruksjoner med neglisjerbare kuldebroer vil ha overflatetemperaturer nære romlufttemperaturen. Dessuten har superisolerte vinduer betydelig høyere innvendig overflatetemperatur enn ordinære vinduer, se figur 6.1. Dette fører til at man får en operativ temperatur⁴⁰ (følt temperatur) som er veldig nær romlufttemperaturen. Sammenlignet med en ordinær bolig kan man derfor senke romlufttemperaturen i en lavenergibolig eller passivhus, uten at dette fører til dårligere termisk komfort. Beregninger viser at man i fyringssesongen kan senke romtemperaturen med 0,5 til 2 °C i et passivhus eller lavenergibolig, sammenlignet med en ordinær eller dårlig isolert bolig. For hver grad man reduserer romtemperaturen reduseres oppvarmingsbehovet med 10-15 %.

Eliminerte eller neglisjerbare kuldebroer i lavenergiboliger og passivhus fører også til at man unngår stedvis kalde gulvflater, som i ordinære boliger kan være et problem i bygg med etasjeskille i betong. Disse stedvis kalde områdene kan i tillegg til dårlig komfort, og kan i verste fall føre til kondensering og mikrobiologisk vekst⁴¹.

På gulv i vanlige oppholdsrom (ikke bad og andre våtrom), særlig de som vender mot grunnen eller kalde kjellere/kryprom, bør man velge en gulvoverflate som isolerer godt (har lav varmeledningsevne). Selv om gulvet er godt isolert og holder ca. 20 °C vil dette føles kaldt hvis man bruker en gulvoverflate med høy varmeledningsevne, for eksempel keramiske fliser eller skiferheller. Korkbelegg, furu- eller grangulv er gode alternativer, parkett eller heltre gulv i eik og lignende treslag er også rimelig bra. Teppet er jo selvsagt også bra i så måte, men er mindre ønskelig i inneklimasammenheng pga. renholdsegenskaper og avgassingssegenskaper. Laminatgulv og ulike typer gulvbelegg (linoleum og



Figur 6.1 Innvendig overflatetemperatur for ulike rutetyper (Utarbeidet av Marit Thyholt, NTNU/SINTEF-2005)

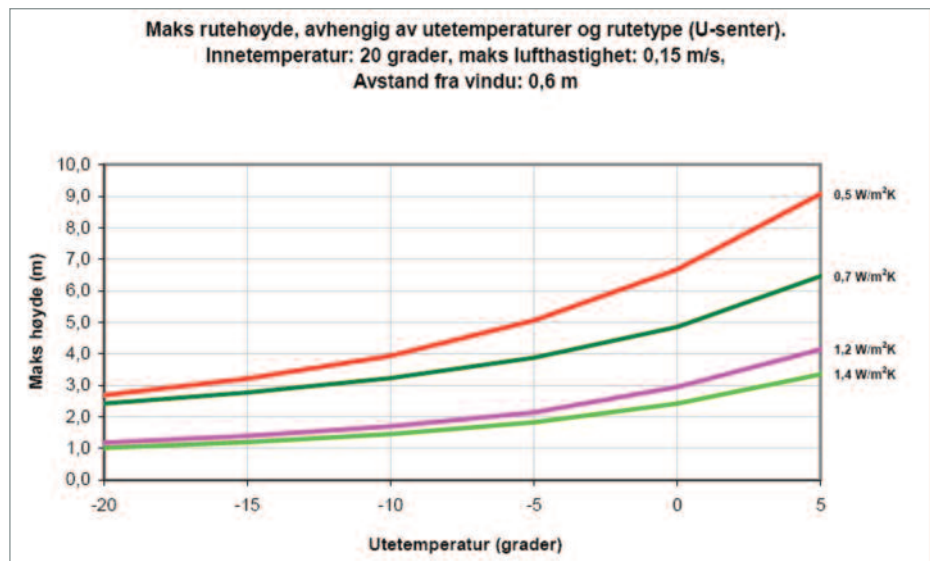
⁴⁰ Den operative temperaturen er den "følbare" temperaturen i rommet, og er en funksjon av temperaturen på overflatene i rommet, også kalt strålingstemperaturen (T_s), og lufttemperaturen i rommet (T_r). Under vanlige termiske forhold er den operative temperaturen tilnærmet lik midlet av lufttemperaturen og strålingstemperaturen: $T_{op} = (T_r + T_s)/2$

⁴¹ Utsatte steder er bak møbler eller annen innredning som står mot ytterkonstruksjoner, der det er dårlig luftsirkulasjon. Der kan det oppstå kondensering, og etter hvert mikrobiologisk vekst siden det også er ofte er lite synlige steder.

PVC) vil ikke gi fullt så komfortable overflatetemperaturer, men det er noe avhengig av konstruksjonen under gulvet (betong eller tre). I bad og andre våtrom hvor det vanligvis er brukerkraft til gulvvarme⁴², er det motsatt; der er det ønskelig med en gulvoverflate med høy varmeledningsevne, slik som keramiske fliser eller våtromsbelegg.

6.1.2 Kaldras og trekk

Kaldras fra kalde flater oppstår fordi luften nært overflaten kjøles ned, og danner en nedadgående luftstrøm (nedkjølt luft er tyngre en omkringliggende luft). Tradisjonelt har vinduer om vinteren ofte vært en kilde til kaldras og ubehag med trekk og dårlig termisk komfort. Dette gjelder særlig i tilfeller med dårlig isolerte og/eller høye vindusfelt som gjerne går helt ned til gulvet, og som da resulterer i en kald luftstrøm utover gulvet. Den tradisjonelle løsningen for å løse dette problemet er å plassere panelovner, radiatorer eller konvektorer under vinduene som motvirker den nedadgående luftstrømmen med en oppadgående varmluftstrøm. Dette er generelt en lite elegant løsning, siden det blant annet gir et dyrere oppvarmingssystem og dårligere innredningsfleksibilitet. Det fører ofte også til energisløsing siden oppvarmingen som regel slås på for å hindre kaldras uten at boligen har et "globalt" oppvarmingsbehov (kun lokalt i nærheten av vinduet).



Figur 6.2
Grafen indikerer maks rutehøyde for ulike U-verdi på ruta, som funksjon av utetemperaturen.
(Utarbeidet av Marit Thyholt, NTNU/SINTEF- 2005)

Med superisolerte vinduer som brukes i lavenergiboliger og passivhus løses dette problemet ved at man får høye overflatetemperaturer på vindusrutene (se fig. 6.1). Figur 6.2 angir maks rutehøyde for ulike rutetyper (U-verdi på ruta), forutsatt at hastigheten i kaldrasstrømmen ikke skal overstige 0.15 m/s (vanlig komfortkrav⁴³). Rutetypene brukt i superisolerte vinduer eller passivhus-vinduer har U-verdi på enten 0.7 eller 0.5 W/m²K, og vi ser at disse kan ha glassflater med høyde opp mot og over 2.5 m uten at det blir kaldrasproblemer (i normalt norsk klima⁴⁴).

Dette gir også mulighet til å plassere oppvarmingslegemer (eks. radiatorer) uavhengig av vinduer og glassflater i boligen, noe som kan spare betydelige summer og bedre innredningsfleksibiliteten. Rent estetisk er det ofte også en fordel.

⁴² I passivhus i Tyskland og Østerrike er det ikke vanlig å ha gulvvarme på bad. Der brukes det ofte ulike former for trekker, for eksempel i vannebestandig edeltre/"hardwood", for å unngå klager på kalde gulv. Det er selvsagt mulig å bruke slike løsninger også i Norge.

⁴³ Dette tilsvarer ca. 15 % misfornøyde iht. ISO 7730 [28] som er et vanlig krav i innneklima-sammenheng. Men det bør ses i sammenheng med møblering, valg av gulvoverflate og nærhet til oppholdssoner i rommet.

⁴⁴ I meget kalde strøk av landet, for eksempel indre strøk i Midt- og Nord Norge, med temperaturer ned mot -30 og 0.40 °C vil man måtte redusere høyden på vinduene ytterligere.

Strålingsassymetri (også kalt strålingstrekk) er også et problem som er relatert til kaldras. Personer som er i nærheten av kalde flater som store vinduer, vil ha en strålingsutveksling med flaten (strålingstap). Dette kan oppfattes som trekk, strålingstrekk, mye på samme måte som trekk fra kaldras. For de fleste nye vinduer, hvor man ikke sitter helt inntil glassflaten, vil dette sjelden i seg selv være noe stort problem [28]. I leiligheter med trekkproblemer pga. kaldras og friskluftventiler og som i tillegg har kalde gulv, kan strålingsassymetri være med å addere til opplevelsen av dårlig termisk komfort, som igjen ofte fører til at man øker temperaturnivået i leiligheten for å kompensere for dette.

Lavenergiboliger og passivhus med minimerte luftlekkasjer og forvarmet tilførsel av luft gjennom det balanserte ventilasjonsanlegget, fører til minimal risiko for trekk, hvis ventilasjonsanlegget utføres på en god måte. Alternativet med avtrekksventilasjon (eller oppdriftsventilasjon) med tilførsel av friskluft gjennom små ventiler i overkant av vinduet, vil ofte kunne føre til trekkproblemer. Kombinasjonen med kaldras fra vindusflaten sammen med tilførsel av kald uteluft i overkant av vinduet er komfortmessig lite heldig, men er allikevel meget utbredt både i småhus og leilighetskomplekser.

6.1.3 Opplevd luftkvalitet

Som nevnt i avsnitt 6.1.1 kan romlufttemperaturen senkes fra 0.5 til 2.0 °C i en lavenergibolig eller passivhus, sammenlignet med en ordinær bolig.

Undersøkelser viser at opplevd luftkvalitet bedres betydelig når lufttemperaturen senkes [26]. Undersøkelser viser også at såkalte "syke bygg symptomer" er mer utbredt i bygg med høy innetemperatur [27]. Generelt sett vil kjøligere romluft føles friskere og renere, men selvsagt må dette balanseres mot termisk komfort. Men generelt er det meget fornuftig å ha så høy strålingstemperatur (overflate-temperatur) som mulig samtidig med så lav romlufttemperatur som mulig, for å oppnå best mulig luftkvalitet samtidig med god termisk komfort.

I passivhus og lavenergiboliger med et stabilt luftskifte fra det balanserte ventilasjonsanlegget oppleves vanligvis luftkvaliteten som bedre enn i bygg med avtrekksventilasjon og oppdriftsventilasjon [29]. Særlig er det med avtrekks- eller oppdriftsventilasjon vanskelig å tilføre tilstrekkelig luft til barnerom og soverom. Det er dessuten ofte vanskelig å trekke av tilstrekkelig luft fra våtrom, bad og toalett, noe som kan gi problemer med lukt og fukt. Vinduslufting kan selvsagt avhjelpe dette, men dette er meget brukeravhengig, og vil også føre til betydelig økning av oppvarmingsbehovet⁴⁵.

For at ventilasjonsanlegget skal opprettholde sin opprinnelige funksjon og tilføre ren luft til boligen, er det viktig med godt vedlikehold og rengjøring. Filter bør skiftes med jevne mellomrom (0.5-1.0 år) avhengig av hvor ren uteluften er (for eksempel nærhet til trafikk). Gjenvinner og aggregat bør også rengjøres en gang i året. Kanalanlegg bør inspiseres en gang i året, og rengjøres hver 5-10 år.

6.1.4 Sommerkomfort

Mange er av den oppfatning at godt isolerte eller superisolerte boliger automatisk vil få store problemer med overoppvarming. Med de rette foranstaltninger medfører ikke dette riktighet, heller tvert i mot. Erfaringer fra Tyskland viser at passivhus har betydelig svalere forhold inne enn tilsvarende ordinære boliger [29]. En av årsakene er at man isolerer varmen ute (og ikke inne), og at tyske bygg ofte er i mur, og derfor har mye termisk masse til å dempe temperatursvingninger.

⁴⁵Dette gjelder i oppvarmings sesongen. Utenfor oppvarmings sesongen vil man normalt vinduslufte mer, og man kan da også gjerne slå av det balanserte ventilasjonsanlegget. Det er imidlertid fornuftig å kjøre avtrekksviftene slik at man skaper et undertrykk i våtrom og kjøkken for fjerning av fukt og lukt.

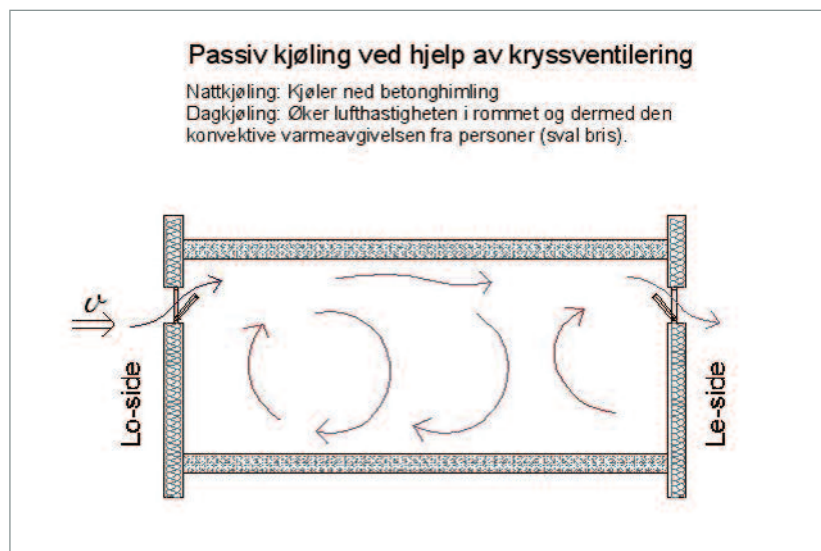
I småhus med moderat vindusareal mot syd, øst og vest vil det sjelden være problemer med overtemperaturer. De fleste småhus har også mulighet for kryssventilering (gjennomtrekk) og derfor mulighet til å lufte ut overskuddsvarme.

Balanserte ventilasjonsanlegg vil kunne føre til høy innblåsningstemperatur, og dermed overoppvarming, hvis de ikke har en form for regulering av varmegjenvinningen, enten bypass eller en turtallsregulering av rotor (roterende gjenvinner). Motstrøms- og kryssvarmevekslere har ofte såkalt sommerblokk som settes inn i sommersesongen når det ikke er behov for varmegjenvinning.

I småhus og særlig leiligheter med store glass- og vindusflater mot sør vil man kunne få tidvis store overtemperaturproblemer hvis man ikke tar hensyn til dette. Passive tiltak som kan løse dette er:

- Utvendig solavskjerming, eller mellomliggende solavskjerming i koblet rute (se kap. 4.4).
- Eksponert betong innvendig eller annen tung bygningsmasse som kan oppta og lagre overskuddsvarme om dagen, og avgi den igjen om natten, og dermed hindre/reducere overtemperaturen.
- Kryssventilering av boligen, enten om dagen eller om natten (nattkjøling), se figur 6.3. Nattkjøling utnytter da også den termiske massen i leiligheten ved at kald natteluft kjøler denne ned.

Fornuftig glassbruk sammen med disse tiltakene vil løse problemer med overoppvarming om sommeren.



Figur 6.3
Prinsipp for kryssventilering og nattkjøling med termisk masse.
(Figur: Grethe Mahlum, Arkidèco AS)

6.2 Ekstrakostnader

Når man ser på komponenter og løsninger hver for seg, vil det selvsagt være ekstrakostnader forbundet med bygging av lavenergiboliger og passivhus. Men ser man på hele konseptet under ett kan ekstrakostnader i forbindelse med for eksempel bedre bygningskropp føre til reduserte kostnader på oppvarmingsanlegget. Mer om dette i kapittel 6.3

De tradisjonelt store ekstrakostnadene forbundet med lavenergiboliger og passivhus er knyttet til superisolerte vinduer, ekstrasolerte konstruksjoner med bedre tetting og balansert ventilasjon. Systemer for behovsstyring og visualisering, samt energisystemer for ny fornybar energi kan også medføre ekstrakostnader. I tabell 6 er det angitt noen omtrentlige ekstrakostnader for ulike komponenter og systemer. Disse tabellene er basert på en rekke prosjekter både i

Sentral-Europa og i Norge. Man kan regne med at kostnadene for både energieffektive komponenter, løsninger, konstruksjoner og systemer vil gå ned i pris når de (forhåpentligvis) blir standard "hylleware". Erfaringer fra Tyskland og Østerrike de 10 siste årene viser klart en slik utvikling.

Som det fremgår av tabell 6.1 varierer ekstrakostnadene relativt mye, blant annet pga. forskjellige ambisjonsnivåer i de ulike prosjektene, hvor enkelt/rimelig det er å øke isolasjonstykkelsen i konstruksjonene, og fordi noen prosjekter er basert på innovative løsninger/komponenter som ikke er standard i dag.

I tillegg til besparelsen på oppvarmingssystem vist i tabellen, er det også flere andre muligheter for å redusere kostnader:

- En enklere og mer kompakt bygningskropp reduserer oppvarmingsbehovet, men er også enklere, rimeligere og mer rasjonell å bygge.
- Moderne arkitektur med få store vindusflater uten sprosser eller labanker, i stedet for flere små vinduer med sprosser som er vanlig i tradisjonell norsk arkitektur, er gunstig med hensyn til varmetap siden randsonetapet på vinduene reduseres. Dette gir samtidig rimeligere vinduer, siden et stort vindusfelt er betydelig rimeligere enn tre små vinduer med sprosser.
- I lavenergiboliger og passivhus kan energisentralen dimensjoneres kraftig ned (gjelder særlig leilighetskomplekser). Dette sparer investering i energisentral, og tar også mindre plass bygningsmessig.
- Inntaksledninger (el) og eventuell trafo-utbygging ved større utbygginger kan reduseres betydelig. Her kan det være mye å spare, da kostnader forbundet med utbygging av el-nettet nå blir belastet utbygger.

Erfaringer fra blant annet Østerrike [30] viser at man med god og integrert planlegging kan spare inn mye av ekstrakostnadene vist i tabell 6.1, og dermed få lavenergiboliger og passivhus med helt normale byggekostnader.

Komponent	Ekstrakostnader	Estimert ekstrakost pr. kvadratmeter gulvareal
Superisolerte vinduer & dører	250 – 700 kr pr. m ² vindusflate	65 – 150 kr/m ²
Ekstrasolerte konstruksjoner	Fra 20 – 180 kr pr. m ² konstruksjon (gulv, tak, vegg)	75 – 240 kr/m ²
Tetthetstiltak	3-10 kr pr. m ² konstruksjon (gulv, tak, vegg)	5 – 15 kr/m ²
Energieffektiv balansert ventilasjon ⁴⁶	2 000 – 50 000 pr. bolig	20 – 500 kr/m ²
Oppvarming	0 til -50 000 kr pr. bolig (spart).	-260 – 0 kr/m ² (besparelse)
Behovsstyring & visualisering (smarthusløsning)	0 til 25 000 pr. bolig.	0 – 300 kr/m ²
Fornybar energiforsyning	0 til 25 000 kr pr. bolig	0 – 300 r/m ²

Tabell 6.1
Erfaringstall på ekstrakostnader (og besparelser) for ulike komponenter, konstruksjoner og systemer brukt i lavenergibolig- og passivhusprosjekter.

6.3 Lønnsomhetsvurderinger

Det er alltid store usikkerheter når man skal beregne hvor lønnsomme tiltak er:

- Det vil bestandig være betydelig usikkerhet i bestemmelsen av ekstrakostnader, som diskutert i det foregående kapitlet.
- Det vil også være usikkerhet i den beregnede energibesparelsen. Blant annet må man definere hva man sammenligner med (referansen), et teoretisk beregnet energibruk for bolig bygget etter dagens forskriftskrav (minimumskrav), eller målt energiforbruk i nye boliger. Dette kan alene gi

⁴⁶ Den laveste verdien er forutsatt at man allerede bruker balansert ventilasjon som standard (av komfort- og innneklima-grunner). Ekstrakostnaden er da kun å oppgradere til et ventilasjonsanlegg med høyeffektiv varmegjenvinner og lav vifteeffekt.

opp til 50 kWh/m²år i forskjell, og kan være helt avgjørende for lønnsomheten.

- Energiprisen som man regner besparelsen ut fra er også veldig vanskelig å anslå. Ikke bare varierer den mye fra år til år, men det er også meget vanskelig å anslå hva den er om 10 eller 20 år.
- Kalkulasjonsrenten man bruker er også helt avgjørende for lønnsomhetsberegningen. Den er en funksjon av lånerente, inflasjon og eventuelt anslått energiprisinflasjon, eller kan i kommersiell sammenheng ses på som avkastningskrav på investert kapital.
- Levetiden til tiltakene er også av stor betydning for lønnsomheten. Noen installasjoner har relativt kort teknisk levetid (10-25 år), mens selve bygningskroppen kan ha en levetid på 60-100 år.

Beregning av lønnsomheten til tiltak eller hele konsepter er derfor forbundet med stor usikkerhet, og kan komme ut med mange ulike svar alt ut i fra hvilke forutsetninger man legger i beregningen.

Man må også skille på to lønnsomhetsbegreper:

- Komponent-lønnsomhet – dvs. at man krever at hvert enkelt tiltak i et konsept/tiltaksliste skal være lønnsomme. Dette er som regel den metoden som benyttes i tradisjonelle enøk-analyser.
- Alternativet er det som kalles konsept-lønnsomhet – der er det ikke nødvendig at hvert tiltak i seg selv er lønnsomt, men at samlingen av nøye analyserte tiltak, kalt energikonseptet, er lønnsomme. Selv om superisolerte yttervegger i et passivhusprosjekt i seg selv ikke er lønnsomt, er det en viktig brikke i konseptet som gjør at man kan redusere kostnader til oppvarmingsanlegg betydelig, og dermed gjøre konseptet i sin helhet lønnsomt.

Konsept-lønnsomhet er i denne sammenheng en mer riktig analysemåte enn ren komponent-lønnsomhet, selv om man selvsagt også vil vurdere kostnader for hver enkelt komponent og løsning i konseptet.

Det er også en rekke måter å gjøre lønnsomhetsberegninger på: nåverdimetoden, internrentemetoden, beregning av tilbakebetalingstid, enkel "payback"-metode, nåverdikvot-metoden, årskostnadsmetoden, med flere. Se for eksempel [31] eller [32] for en nærmere beskrivelse av disse metodene. Nedenfor er det beskrevet to alternative metoder: det vi kaller investeringsrom-metoden og det vi har kalt totale månedlige bokostnader.

Investeringsrom-metoden

Normalt regner man ut lønnsomheten ut fra investeringskostnaden til et tiltak eller konsept og den årlig sparte energikostnaden. Ofte er det ikke så lett å estimere ekstrakostnader, så en alternativ måte er å snu det på hodet og se hvor mye en gitt årlig besparelse kan forsvare i investering (investeringsrom).

Øvre grense i investeringsrommet, investeringsgrensen (I_{gr}), kan beregnes som:

$$I_{gr} = a \cdot B \cdot p \quad (6.1)$$

a er annuitetsfaktoren
B er årlig spart energi (kWh)
p er energiprisen (kr/kWh)

Annuitetsfaktoren (a) er gitt ved:

$$a = \frac{1 - (1 + r_{kalk})^{-n}}{r_{kalk}} \quad (6.2)$$

⁴⁷ Hvis for eksempel energiinflasjonen er på 3 % per år, og den generelle inflasjonen er på 2 %, vil den relative energiinflasjonen være på: $3 - 2 = 1$ %.

n er levetiden til tiltaket/konseptet

Kalkulasjonsrenten (r_{kalk}) kan beregnes som:

$$r_{kalk} = \frac{1}{1 + e} \left(\frac{r - i}{1 + i} - e \right) \quad (6.3)$$

i er generell inflasjon

e er relativ energiinflasjon⁴⁷ i forhold til generell inflasjon

r Antatt lånerente (i bank)

Det er i (6.3) ikke tatt med eventuell skattefradrag på lån, se [31] for detaljer om dette.

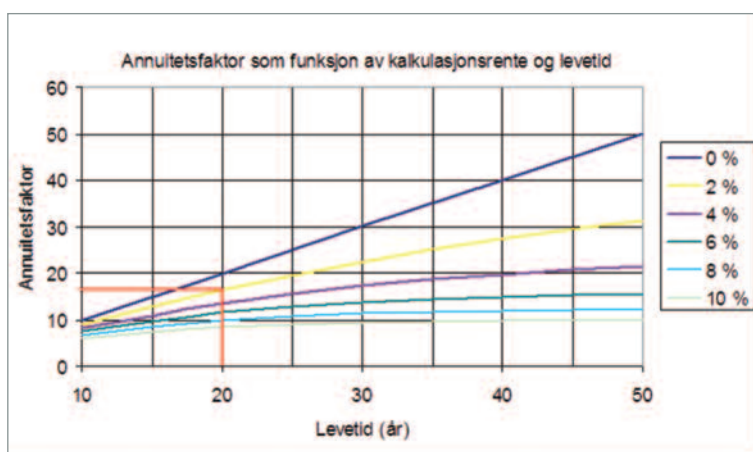
Metoden er illustrert i etterfølgende regneeksempel, og vist grafisk i figur 6.4 og 6.5.

Eksempel 6.1

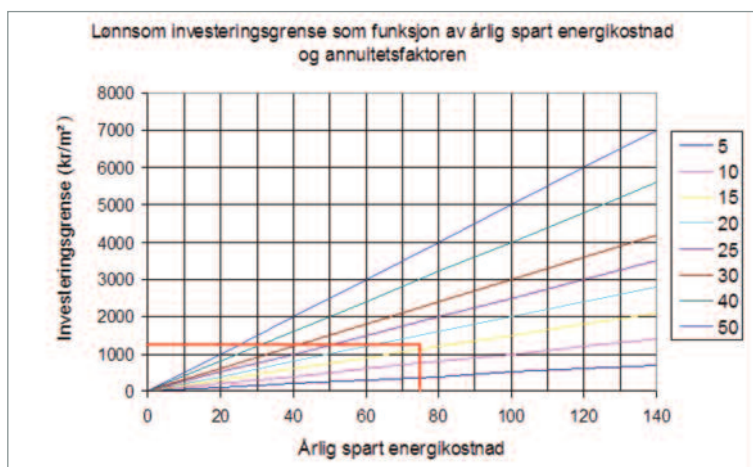
For et leilighetsbygg på 6000 m², har man med et gitt energikonsept beregnet en energibesparelse på 100 kWh/m²år (fra 180 kWh/m²år ned til 80 kWh/m²år). Hvor mye kan man investere for at dette konseptet er lønnsomt?

Andre data for prosjektet:

Levetid konsept: 20 år
Energipris: n = 75 øre/kWh
Lånerente: r = 0.05 (5 %)
Generell inflasjon: i = 2 % (2 %)
Relativ energiinflasjon: e = 1 %



Figur 6.4
Annuitetsfaktoren som funksjon av levetid og kalkulasjonsrente



Figur 6.5
Grense for lønnsom investering ut fra årlig spart energikostnad og annuitetsfaktoren.

Kalkulasjonsrenta blir:

$$r_{\text{kalk}} = \frac{1}{1 + 0.01} \left(\frac{0.05 - 0.02}{1 + 0.02} - 0.01 \right) = 0.019 = 1.92 \%$$

Annuitetsfaktoren for dette tilfellet blir:

$$a = \frac{1 - (1 + 0.019)^{-20}}{0.019} = 16.5$$

Investeringsgrensen blir da:

$$I_{\text{gr}} = 16.5 \cdot 100 \cdot 0.75 = 1236 \text{ kr/m}^2$$

Det kan da ekstrainvesteres opp til 1236 kr/m² eller totalt ca. 7.4 millioner kroner for å realisere dette energi-konseptet. Ser vi på ekstrakostnader i tabell 6.1, vil mange prosjekter kunne bli realisert innenfor denne ekstrainvesteringsrammen. Regneeksemplet er også grafisk vist i figur 6.4 og 6.5 med røde streker.

Totale månedlige bokostnader

Mange eiendomsmeglere og boligutviklere opererer i dag med månedlige bokostnader. Dette er i mange tilfeller brukt for å maskere høye boligpriser, men også fordi mange, særlig unge boligkjøpere, er avhengige av å vite hvor mye det totalt vil koste å bo i en gitt leilighet. Disse analysene av månedlige bokostnader tar veldig sjelden (les: aldri) hensyn til energikostnadene for leiligheten, selv om dette selvsagt også er en viktig kostnadspost ved siden av kapitalkostnadene. Det er imidlertid meget lett å utvide en bokostnadsanalyse til også å innbefatte energikostnader.

Det etterfølgende eksemplet viser hvordan en slik analyse kan gjøres.

Eksempel 6.2

Gitt en leilighet på 100 m² som har et beregnet energibehov på 170 kWh/m²år med ordinær utførelse. Pris for ordinær utførelse av leilighet er 21 000 kr/m².

Med et gitt energikonsept reduseres energibruken til 75 kWh/m²år.

Ekstrakostnader for konseptet er beregnet til 600 kr/m². Det er regnet med ei lånerente på 4 %, og at lånet er et annuitetslån (like avdrag hver måned og år) over 20 år. Energipris er 80 øre/kWh. De som skal kjøpe leiligheten har en egenkapital på 600 000 kr.

Månedlig energikostnad (snitt) med ordinær utførelse:

$$170 \cdot 100 \cdot 0.8 / 12 = 1\,133 \text{ kr}$$

Månedlig energikostnad (snitt) med energikonsept:

$$75 \cdot 100 \cdot 0.8 / 12 = 500 \text{ kr}$$

Kapitalkostnader (renter og avdrag) ordinær utførelse, regnet som annuitetslån⁴⁸ på 1 500 000 kr: 8 792 kr/måned.

Kapitalkostnader (renter og avdrag) med energikonsept:

$$9\,140 \text{ kr/måned.}$$

Totale bokostnader pr. måned med ordinær utførelse: 9 925 kr

Totale bokostnader pr. måned med energikonsept: 9 650 kr

⁴⁸Annuitetslån betyr at det betales samme årlig og månedlige beløp i hele lånets løpetid. Det betyr at det i starten av lånet betales mye renter men lite avdrag, men etter hvert som lånet blir nedbetalt vil rentekostnadene bli mindre og avdragene større.

Med de gitte beregningsforutsetninger gir altså energikonseptet lavere totale bokostnader enn den ordinære utførelsen.

Lønnsomhet som salgsargument

Tradisjonelt har lønnsomhet vært det viktigste argumentet for å selge inn energisparetiltak både i nye og eksisterende boliger. Både nasjonale og internasjonale erfaringer og studier antyder at dette ikke er det viktigste salgsargumentet når boligkjøpere gjør sine valg. Andre argumenter som brukes er bokomfort, energisikkerhet, god miljøprofil ("image") og fremtidig høyere salgsverdi på boligen. Følgende sitat, basert på analyse av 18 suksesshistorier angående markedsintroduksjon av energieffektive og bærekraftige boliger [33], belyser dette:

"The case studies show that financial benefits should not be used as a prime marketing tool. Furthermore, the use of financial incentives may mislead the seller as well as the customer to be completely cost focused. Experience from the case studies demonstrates that other benefits have to be focused on."



7.1 Lindås Park, Göteborg

Disse rekkehusene "Hus utan värmesystem" har fått veldig mye oppmerksomhet i media både i Sverige og Norge, og har også vært demonstrasjonsboliger i IEA-prosjektet "Solar Sustainable Housing" [20] og i EU-prosjektet CEP-HEUS [21]. Arkitekt Hans Eek fikk i 2003 Göteborgs Internationella Miljöpris for prosjektet.

Fakta

Antall boenheter:	20 rekkehus
Boligareal:	ca. 120 m ² pr. rekkehus.
Beliggenhet:	Lindås, ca 20 km syd for Göteborg.
Ferdigstilt:	2001.
Utbygger:	Egnahemsbolaget
Arkitekt:	EFEM arkitektkontor - arkitekt Hans Eek
Entreprenør:	PEAB



Figur 7.1
Syd fasade rekkehus.

Målsetning

Boliger uten konvensjonelt oppvarmingssystem, konstruert og oppført i en elegant og innovativ syntese av enkel, velprøvd og kostnadseffektiv teknikk. Rekkehusene er utformet for å gi behaglig innneklima sammen med minimal energibruk.

Bygningskropp

Rekkehusene har kompakt bygningsform med en dybde på hele 11 meter. Takvinduer over trapp gir dagslys i indre deler av huset, og kan også brukes til effektiv utlufting om sommeren. Klimaskjermen er meget godt isolert med 43 cm isolasjon i yttervegger, 48 cm isolasjon i tak og 25 cm i gulv. Det er også superisolerte vinduer og dører med U-verdi på hhv. 0.85 og 0.80 W/m²K, og en meget tett bygningskropp (målt til 0.4 oms/h ved 50 Pa).

Tekniske installasjoner

Boligene har balansert ventilasjon med motstrømsvarmeveksler med virkningsgrad på ca. 80 %. Det brukes også solfangere med et areal på 5 m² på tak som forvarmer ca. 40 % av tappevannet. Det er brukt energieffektive hvitevarer og energieffektiv belysning. Rekkehusene har ikke et konvensjonelt oppvarmingssystem, men baserer seg primært på "passive" varme-tilskudd: soltilskudd, tilskudd fra utstyr og belysning, samt varme fra personer. I de kaldeste periodene kan et lite varmeelement på 900 W i ventilasjonsanlegget slås på.

Energibruk

Simulert total energibruk var beregnet til 5400 kWh/år (45 kWh/m²år). Målt energibruk pr. rekkehus på 120 m² er 7-8000 kWh (58 kWh/m²år for

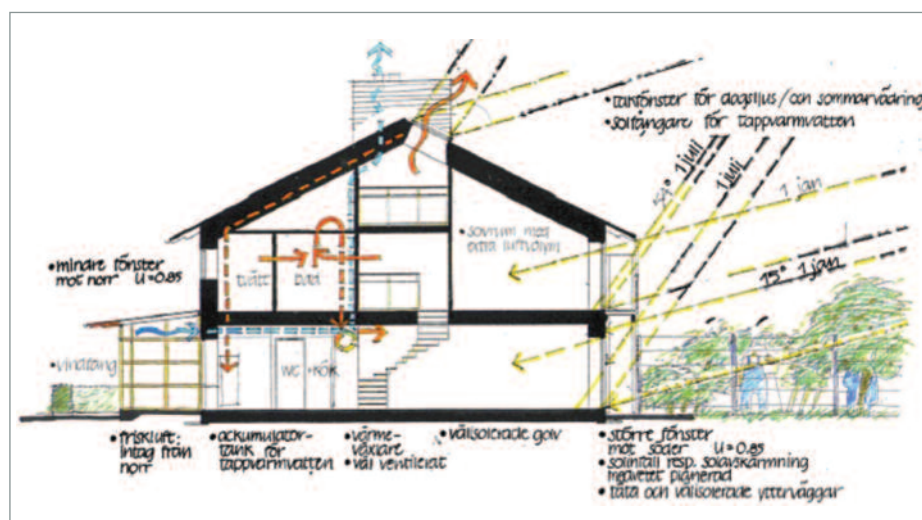


Figur 7.2
Reguleringsplan for Lindås Park.
Illustrasjon: EFEM Arkitektkontor.

midtleiligheter og 71 kWh/m²år for gavll-leiligheter). Grunnen til forskjellen i målt og simulert energibruk er at beboerne bruker mer energi til utstyr og tappevann enn forutsatt, og at solfangerssystemet dekker noe mindre av tappevannsbehovet enn forutsatt. Dette er allikevel ca. en tredjedel av et norsk referansebygg bygget etter dagens forskrifter. Oppvarmingsbehovet er på ekstremt lave 12 kWh/m²år [22], som også er betydelig under passivhuskravet på 15 kWh/m²år. Maksimalt effektbehov er målt til 7 W/m² som også er lavere enn passivhuskravet på 10 W/m².

Kostnader

Kostnader er som for vanlige rekkehus. Ekstra kostnader for de passive tiltakene i bedre tetthet og bedre isolering, finansieres gjennom reduserte kostnader for oppvarmingssystem og reduserte energikostnader.



Figur 7.3
Illustrasjon av energikonseptet.
Illustrasjon: Hans Grønlund, EFEM.

7.2 Lavenergibolig på Kongsberg

Boligen er en arkitekttegnet enebolig på Nordre Madsebakken i Kongsberg. Boligen ligger i et barnevennlig strøk, og tomten vender mot friområde (skogen). Det relativt nye byggefeltet Nordre Madsebakken ligger ca. 1.4 km fra Kongsberg sentrum. Boligen ligger i et område med hovedsakelig enebolig- og rekkehusbebyggelse, og har kort vei til skole og barnehage.

Huset har noe skjerming fra terreng og trær mot øst og syd, men har gode solforhold mot vest og nord-vest (ettermiddags- og kveldssol).

Fakta

Antall boenheter: Hovedbolig på ca. 223 m²,
utleieleilighet på ca. 55 m²,
og et hjemmekontor på ca. 20 m².
Boligareal: Totalt ca. 300 m² inkludert utleie-leilighet og kontor.
Beliggenhet: Kongsberg, ca 85 km vest for Oslo.
Ferdigstilt: Innflyttet sommeren 2004 (gjenstår ennå noe arbeid før boligen er helt ferdigstilt).
Byggherre: Hanne og Tor Helge Dokka
Arkitekt: Ellen Nasset, M.N.I.L.
Byggmester: Tømrermester Tor Helge Dokka (selvbygger)

Målsetning

Målsetningen for prosjektet har vært en miljøvennlig- og kostnadseffektiv bolig, med ca. halvert totalt energibehov. Det er i prosjektet forsøkt å bruke få og inneklimamessig gunstige materialer (gran, parkett, pusset leca, keramiske fliser).

Bygningskropp

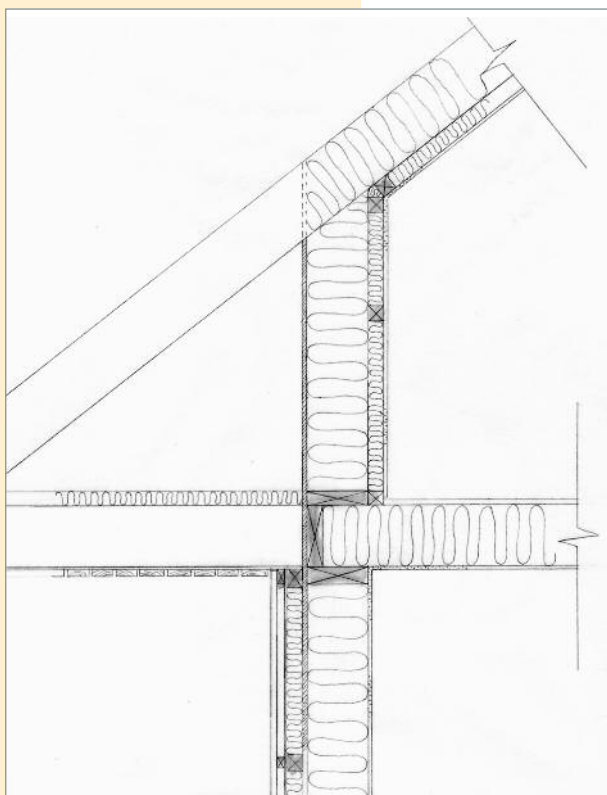
Vinduer med trelags glass, argongass-fylling, to lavemisjons-belegg og trekarm med lavt varmetap. Dette gir en U-verdi på ca. 0.95 W/m²K. To vinduer har også kryptongass-fylling, noe som senker U-verdien ytterligere ned til ca. 0.85 W/m²K. Ytterdører og balkongdører med en U-verdi på 0.85 W/m²K. Yttervegg med 8" bindingsverk (36 x 198 mm) og 50 mm utvendig isolasjon (krysslekting), til sammen 250 mm isolasjonstykkelse. Dette gir en U-verdi på 0.16 W/m²K.

Yttertak med i snitt 370 mm isolasjonstykkelse, med en U-verdi på 0.11 W/m²K.

Gulv mot grunn isolert med 250 mm ekspandert polystyren, som gir en U-verdi på 0.11 W/m²K (inkludert varmemotstand i grunnen). Nøye gjennomtenkte konstruksjonsløsninger i overgang gulv på grunn-yttervegg, yttervegg-etasje-skiller og yttervegg-tak, som gir neglisjerbare kuldebroer ($\psi \leq 0.02$ W/mK). Dette er oppnådd bl.a. ved å bruke prefabrikert ringmurselement og utvendig kryssisolerte vegger. Bruk av dobbel vindtetting, både på vegg og rundt dører og vinduer. Fokus på god lufttetting rundt A-takstoler og sperrer. Dette er anslått å gi en tetthet over 4 ganger bedre enn forskriftskravet ($n_{50} \leq 0.8$ oms/t)



Figur 7.4
Vest og nordfasade.



Figur 7.5
Detaljløsning, yttervegg-
knevegg-yttertak.



Figur 7.6
Tømmer fra tomte, som brukes til
oppvarming av huset. Skal i følge
beregninger holde til oppvarming
av huset i 10 år.

Tekniske installasjoner

Bygningsintegrert ventilasjon med roterende varmegjenvinner, med årsvirkningsgrad på ca. 82 %. Den roterende gjenvinneren har så høy virkningsgrad at det ikke er montert ettervarmebatteri. Ventilasjonssystemet bruker et konvensjonelt ventilasjonsaggregat, men har bygningsintegrerte tillufts- og avtrekksåpninger, som gir korte luftføringsveier med lavt trykktap og lavt støynivå. Alle kanalføringer gjøres innenfor klimaskjermen slik at man unngår perforering av diffusjonssperren.

Pga. de bygningsmessige og ventilasjonstekniske tiltakene er romoppvarmingsbehovet meget lite. Det er ikke installert noen panelovner i boligen (foreløpig), men det er ut fra komfort hensyn installert varmekabler i våtrom og inngangsparti. Ventilasjonssystemet distribuerer varmen til andre rom.

I tillegg til, eller som alternativ til, eloppvarming er det også peis med energieffektiv og rentbrennende peisinnatts i stue, og det skal installeres en liten moderne vedovn i sokkeletasjen (kontor). Peisinnattsen og vedovn gir også god energifleksibilitet og beredskap, siden den har nok effektkapasitet til å dekke hele byggets oppvarmingsbehov.

Det er i de fleste rom brukt energieffektiv belysning (lysarmatur med sparepærer), men det er i kjøkken og stue brukt downlights med dimming. Det er brukt lavenergi hvitevarer (energimerkede). Det bygningsintegrerte ventilasjonsanlegget med lavt trykktap gir lavt elbehov til viftedrift (SFP: 1.5-1.7 kW/m³/s).

Energibruk

Total energibruk er for hovedhuset på 223 m² beregnet til 85 kWh/m²år, eller 18.800 kWh/m²år. En normal bolig, bygget etter dagens forskriftskrav, ville brukt ca. 175 kWh/m²år eller 39.900 kWh/år. Oppvarmingsbehovet er beregnet til 18-20 kWh/m²år, som er ca. 1/4 del av en normal bolig. Formålsdelt (delt på energiposter) måling av energibruk vil bli igangsatt høst 2005.

Kostnader

Ekstrakostnader for energikonseptet er beregnet til ca. 50.000 kr, eller 2.2 % økte byggekostnader. Da er det tatt hensyn til ekstra materialkostnader og arbeidskostnader, men trukket fra sparte kostnader til panelovner og varmekurser(el). Totale byggekostnader ligger på ca. 8500 kr/m², medregnet egeninnsats vil byggekostnader ligge på ca. 9500-10.000 kr/m². Tomt kommer i tillegg. Forutsatt en elpris på 75 øre/kWh vil ekstrakostnader være tilbakebetalt i løpet av 3.5 år. Nåverdien av de fremtidige besparelsene over en 20 årsperiode er på ca. 100.000 kr (4 % effektiv rente). Investeringen må derfor sies å være meget lønnsom.

7.3 Husby Amfi, Stjørdal

Fakta

Antall boenheter: 56 leiligheter i to blokker
Boligareal: ca. 3980 m² (snitt på 71 m² per leilighet)
Beliggenhet: Øvre terrassevei (Husbykleiva) i Stjørdal, 35 km nord for Trondheim.
Ferdigstillelse: Oktober 2005
Utbygger: Husby Borettslag BL.
Arkitekt: Arkidéco AS - siv.ark. Grethe Mahlum
Entreprenør: PrimaHus AS/Frost Entreprenør AS
Spesialkonsulent energi og miljø: SINTEF avd. Arkitektur og byggteknikk.
Delfinansiering og samarbeidspartner: Husbanken regionkontor Trondheim

Målsetning

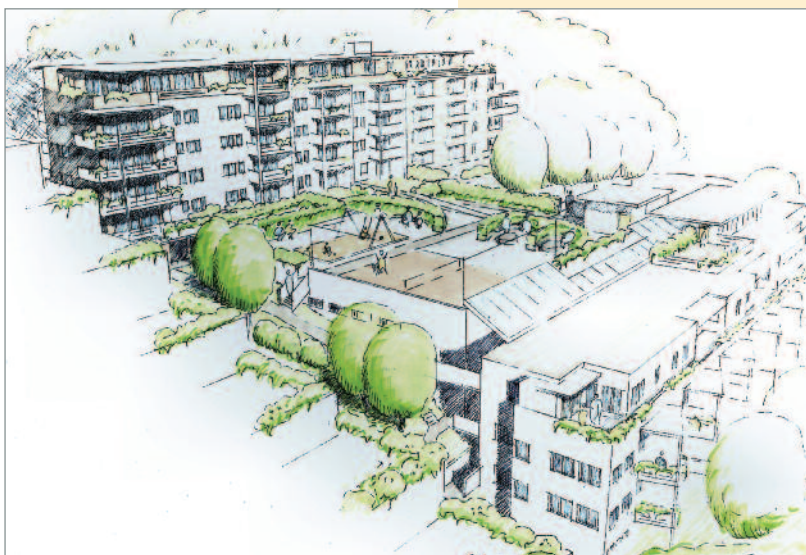
Lav energibruk, lite miljøbelastning, utnyttelse av solrik beliggenhet og godt innneklima. På grunn av meget solrik orientering er det også viktig med fokus på termisk komfort/passiv kjøling om sommeren.

Bygningskropp

Det er brukt meget godt isolert bygningskropp med 250 mm isolasjon i yttervegg (dobbelt bindingsverksvegg) med en U-verdi på 0.16 W/m²K, 250 mm ekspandert polystyren i gulv på grunn med en U-verdi på 0.11 W/m²K, 300 mm isolasjon i gulv mot parkeringskjeller som gir en U-verdi på 0.12 W/m²K og yttertaket er isolert med 400 mm isolasjon som gir en U-verdi på 0.12 W/m²K. Det er brukt 3-lags vinduer med argon-gass og 2 lav-emisjonsbelegg med en U-verdi på 1.05 W/m²K. For solutsatte vinduer er det brukt ei koblet rute (2+1) med integrerte persienner, som har en U-verdi på 0.95 W/m²K. Kuldebroer er forsøkt minimert med god planlegging av detaljer. Dobbel vindtetting og fokus på god håndverksmessig utførelse skal føre til at lufttettheten til bygget ikke overskrider 0.8 oms/t ved 50 Pa. For å unngå overoppvarming i leilighetene er det høytsittende luftevinduer i hver ende av leilighetene, som gir mulighet for gjennomlufting både dag og natt. Sammen med termisk masse i form av eksponert betong i himling skal dette gi behagelige termiske forhold om sommeren.



Figur 7.7
Foto og perspektiv-skisse av
Husby Amfi.
(Skisse: Arkideco AS).



Tekniske installasjoner

Hver leilighet er utstyrt med eget balansert ventilasjonsanlegg, med effektiv varmegjenvinning. Det er brukt aggregater med kryssvarmeveksler i de mindre leilighetene (mindre enn 90 m²), og roterende varmegjenvinnere i store leiligheter over ca. 90 m². Det er brukt elektrisk oppvarming for å dekke det lave oppvarmingsbehovet med varmekabler i badegulv og ellers små panelovner. For å dekke tappevannsbehovet er det installert et gråvannsvarmesystem med både varmegjenvinning og varmepumpe. Dette systemet dekker tappevannsbehovet for hele leilighetskomplekset, og har en beregnet systemvarmefaktor på 5.0 (1 del elektrisitet gir 5 deler varme).

Energibruk

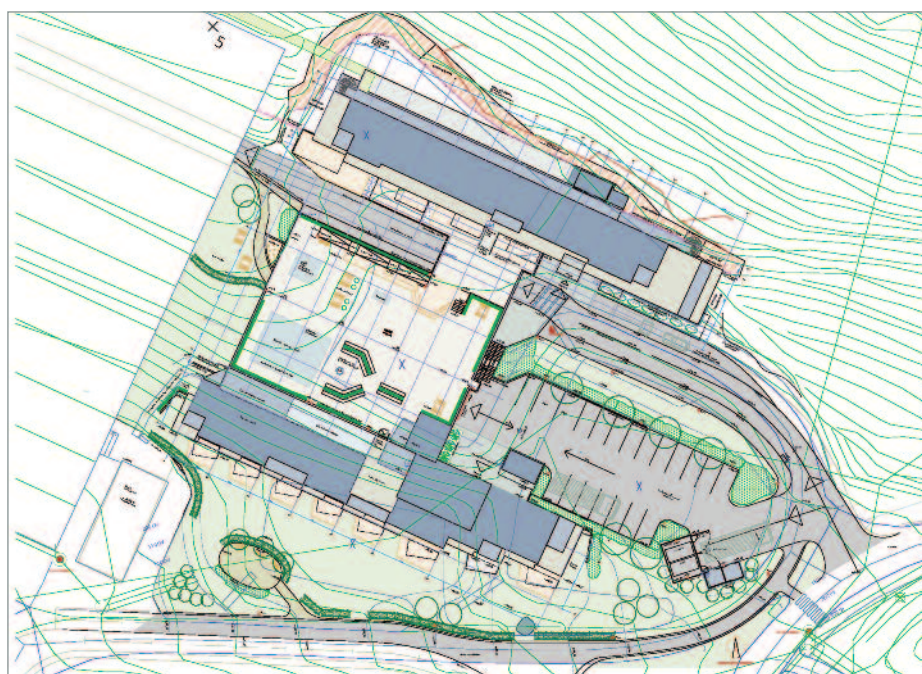
Total energibruk er beregnet til ca. 75 kWh/m²år. Oppvarmingsbehovet i snitt for leilighetene er beregnet til 18-20 kWh/m²år. Formålsdelt måling av energibruk planlagt satt i gang januar 2006.

Kostnader

Byggekostnader er beregnet til å være ca. 6 % høyere enn normale byggekostnader for lignende leiligheter. Merkostnad regnes å være tilbakebetalt i løpet av 12-17 år. Alle leiligheter er solgt.



Figur 7.8
Typisk planløsning 3 roms leilighet,
Husby Amfi. (Tegning: Arkideco AS).



Figur 7.9
Utomhusplan Husby Amfi.

7.4 "Hokksfeltet", etablererboliger Øvre Eiker

Øvre Eiker kommune og Eiker Eiendomsutvikling A/S har gjennom en arkitektkonkurranse ønsket å få bygget ca. 16 boligenheter for førstegangsetablerere i Hokksund, Øvre Eiker. Rammen for arkitektkonkurransen var utvikling av bærekraftige boliger med lavt energibehov og utstrakt bruk av massivtre. Konkurransen skulle foregå som en fastpriskonkurranse (totalentreprise) med en øvre ramme på 12 millioner kroner for hele prosjektet. Forslaget som er beskrevet nedenfor var et av fire konkurranseforslag⁴⁹.

Fakta

Boenheter:	16 boliger for førstegangsetablerere.
Hvor:	Kantum i Hokksund, Øvre Eiker kommune i Buskerud. 70 km vest for Oslo.
Ferdigstillelse:	Arkitektkonkurranse ferdig april 2005. Byggestart planlagt 2006.
Utbygger:	Øvre Eiker Kommune og Eiker Eiendomsutvikling AS.
Arkitekt:	Narud Stokke Wiig Arkitekter & Planleggere AS
Landskapsarkitekt:	Bjørbeek & Lindheim AS
Energi- og miljøkonsulent:	SINTEF avd. Arkitektur og byggteknikk
Entreprenør:	TB Entreprenør AS/Kjell Finsrud AS

Målsetning

Å bygge gode, nøkterne og miljøvennlige boliger som er attraktive for førstegangs-etablerere. Boligene skal ha en moderne og spennende arkitektur og ha gode felles-arealer som skaper grunnlag for et godt bomiljø. Forslaget er å lage de mest energieffektive og miljøvennlige boligene oppført i Norge så langt innenfor økonomisk realiserbare rammer.

Bygningskropp

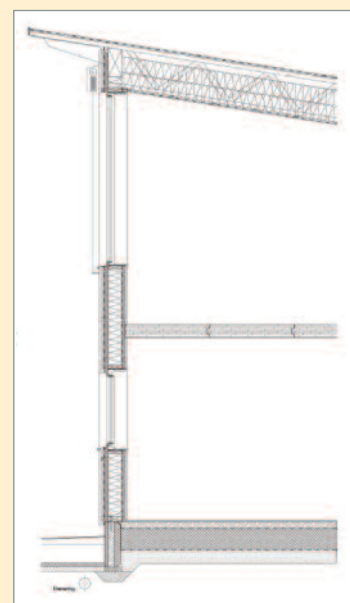
Forslaget har en superisolert bygningskropp med 300-350 mm isolasjon i yttervegger, 450 mm isolasjon i yttertak og 300 mm isolasjon i grunnen. Bygningskroppen bygges uten kuldebroer og med en ekstremt lufttett klimaskjerm (lekkasjetall mindre enn 0.6 oms/t ved 50 Pa). Det skal brukes nyutviklede passivhusvinduer med isolert karm og ramme, superspacer og superisolerende glass, som til sammen gir en U-verdi på 0.72 W/m²K.

Massivtre er foreslått brukt i etasjeskiller, inngangspartier og balkongdekker. Boligene har solrik orientering med mest vinduer mot syd.

Tekniske installasjoner

Hver bolig er utstyrt med eget balansert ventilasjonsanlegg med høyeffektiv roterende varmegjenvinner (virkningsgrad på ca. 82 %). En kombinert sol-bio-energisentral med solfangere som grunnlast og biobrenselkjel som spisslast (brukes når det ikke er tilstrekkelig sol tilgjengelig) dekker det termiske energibehovet til romoppvarming og tappevann. Hver leilighet har et forenklet og kostnadseffektivt vannbårent anlegg med vannbåren gulvvarme i bad og en liten radiator for å dekke resterende varmebehov. I tillegg skal det brukes energieffektive hvitevarer og belysning, og et enkelt styringssystem som setter leiligheten i sparemodus når man forlater leiligheten.

Figur 7.10
Perspektivskisse av etablererboligene.
(Skisse: NSW Arkitekter)



Figur 7.11
Konstruksjonssnitt
(Skisse: NSW Arkitekter).

⁴⁹ Det beskrevne prosjektet her vant ikke konkurransen. Det gjorde arkitektkontoret CODE med et mer kompakt, enklere og rimeligere forslag (www.code.no).

Energibruk

Oppvarmingsbehovet er simulert til 15 kWh/m²år. Totalt tilført energi er beregnet til 87 kWh/m²år, men av dette er 46 kWh/m²år biobrensel (pellets) og kun 41 kWh/m²år elektrisitet. Vektet tilført energi i henhold til [6] med vektingsfaktorer på 0.35 for biobrensel blir på meget lave 58 kWh/m²år. Dette er betydelig bedre enn klasse A i foreslått energimerkemetode, og nærmer seg A+-nivå som angitt i kap 2. Det er også regnet på energibruk over en livssyklus på 50 år, både til tilvirkning (kalt bundet energi) og til drift, se figur 7.13. Det framgår tydelig at for begge tilfellene er driftsenergi mye viktigere enn tilvirkningsenergi (bundet energi⁵⁰). Den store forskjellen er at driftsenergien i det foreslåtte passivhuset kun er 1/4 del av en normal bolig. Løsningene er derfor også meget miljøvennlige i et livsyklusperspektiv.

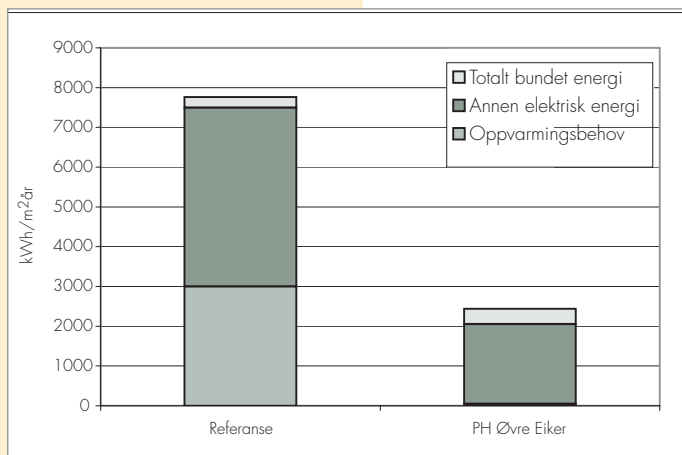
Figur 7.12

Illustrasjon av energikonsept blant annet sol-bio energiforsyningssentral (Skisse: NSW Arkitekter).



Kostnader

Prosjektet er kostnadsberegnet til 15.76 mill. kr inkl. mva (18.500 kr/m²), da inkludert utomhusarbeid⁵¹. Dette var en god del over fastprisen på 12 millioner kroner, og skyldes mye de arkitektoniske kvalitetene og utomhuskvalitetene som ble lagt inn i forslaget. Ekstrakostnader for passivhuskonseptet ble anslått til å være i størrelsesorden 6-8 %.



Figur 7.13

Livssyklusenergi (50 år) der forslaget beskrevet her er sammenlignet med en ordinær bolig. Se [23] for mer detaljer når det gjelder livssyklusberegningen.

Figur 7.14

Situasjonsplan for etablererboliger Øvre Eiker.



⁵⁰ Bundet energi er lik det som i engelsk litteratur kalles embodied energy.

⁵¹ Prisen inkluderer opparbeidelse av veier, garasjeanlegg, boder, hage, beplantning, gangveier osv.

Tomtekostnad er iht. konkurranseprogram ikke med i denne kostnaden.

7.5 Leilighetskompleks Ölsbündt, Østerrike

Ölsbündt er et systemhus i tre for fleretasjebygg og har passivhusstandard. Bygget er et skjelettbygg med standardiserte og prefabrikkerte treelementer i 2,4 m x 2,4 m moduler. Leilighetene har kun lettvegger innvendig for maksimal fleksibilitet. Underetasjen består av tekniske rom samt parkering til 17 biler. Bygget ble ferdigstilt på kun 4.5 mnd. Bygget vant i 2000 det østerrikske Impulsprogrammets "Haus der Zukunft"-pris for fremragende fremtidsrettet arkitektur.

Fakta

Boenheter: 13 leiligheter, 1 kontor
Beliggenhet: Dornbirn, Østerrike
Ferdigstillelse: Mai 1997
Utbygger: Anton Kaufmann, Reuthe + Gerold Ölz
Arkitekt: ArchitecturBüro DI Hermann Kaufmann
- Norbert Kaufmann

Målsetning

Målsetning: Lokal verdiskapning, effektiv byggeprosess, billige leiligheter og energi- og miljøvennlighet.

Bygningskropp

Bygningstiltak: Kompakt bygningsform uten utspring eller innhugg gir minimal overflate til varmetap.
Konstruksjoner med passivhusstandard: Yttervegger med 350 mm isolasjon, yttertak med ca. 500 mm isolasjon og gulv mot parkeringskjeller med ca. 350 mm isolasjon.
Relativt lukket fasade mot nord, og åpen fasade mot syd og vest.

Tekniske installasjoner

Tilluft forvarmes gjennom jordvarmekollektor før den tilføres det balanserte ventilasjonsanlegget. Det er separate ventilasjonsanlegg for hver leilighet, og virkningsgrad gjenvinner er ca. 80 %. Et takmontert solvarmeanlegg (se fig. 7.14) dekker 2/3 av tappevannsoppvarmingen.

Energibruk

Oppvarmingsbehovet er simulert til meget lave 7.3 kWh/m²år.
Totalt energibehov, eller målt energiforbruk er ikke tilgjengelig.

Kostnader

Kostnader: 10.3 mill NOK (1997) totalt og 11.000 NOK/m².
Kostnader er som for tilsvarende referansebygg uten spesielle tiltak i distriktet.



Figur 7.15
Syd fasade.



Figur 7.16
Vest fasade. Man skimter solfangerinstallasjonene på taket

- [1] IEA World Energy Outlook, 2002.
www.worldenergyoutlook.org/pubs/index.asp
- [2] NORSK VVS Nr. 1, 2005.
- [3] Bygningsnettverkets energistatistikk 2003, ENOVA. www.enova.no
- [4] Directive 2002/19/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings.
- [5] Thyholt, M., Dokka, T. H., Nye forskriftskrav til bygningers energibehov. STF A03524, SINTEF Bygg og miljø, Desember 2003.
- [6] Pettersen TD, Myhre L, Wigenstad T, Dokka TH, "Energimerking av boliger", Prosjektnr. O 20461, Juni 2005.
www.bygningsenergidirektivet.no
- [7] SCIAQ Pro 2.08 www.programbyggerne.no
- [8] Se: www.lavenergiboliger.no
- [9] Teknisk forskrift til plan og bygningsloven av 1997 med veiledning, Statens bygningstekniske etat.
- [10] Myhre L, Dokka TH, "Energieffektive løsninger i småhus", Byggforsk anvisning 40, Oktober 2004.
- [11] NS 3031 Varmeisolering – Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon. 1987.
- [12] Schild P.G., "Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning", Prosjektrapport 341 – 2003, BYGGFORSK
- [13] Stensaas L.I, "Ventilasjonsteknikk 1. Grunnlag og systemer, Universitetsforlaget, 1990.
- [14] NS EN ISO 10077-1 Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder – Beregning av varmegjennomgangskoeffisient – Del 1: Forenkelt metode. 2000.
- [15] Tor Helge Dokka, Tore Wigenstad, Lars Myhre, "Energimerking av nye boliger – Hoveprosjektrapport", SINTEF Rapport STF22 A04517, November 2004.
- [16] PEP: Promotion of European Passive Houses
http://europa.eu.int/comm/energy/intelligent/projects/save_en.
- [17] Guro Nereng, "Brukeraspekter i faktor 4-boliger og utvikling av lav-energiprodukt", Masteroppgave Institutt for Produktdesign, NTNU, 2004.
- [18] Fossdal S., " Undersøkelse av energibruken i nye boliger med vannbåren gulvvarme", Prosjekt O 18088. Byggforsk, 2005.

- [19] Leif Amdahl, Generalsekretær VVS-foreningen, "Er fjernvarme et hinder for effektiv energiforbruk" Foredrag Fjernvarmedagene 2005.
- [20] IEA Solar heating & Cooling programme Task 28 Sustainable solar Housing (<http://www.iea-shc.org/task28/>)
- [21] CEPHEUS: Cost Efficient Passive Houses as European Standards, THERMIE Programme of the European Commission. (www.cepheus.de/eng/index.html)
- [22] Voss K., Russ K., Reis J, "Design Insights for The Analysis of 50 Sustainable Solar Houses", Technical report Task 28 Sustainable Solar Housing.
- [23] "Hokksfeltet" Fastpriskonkurranse om bærekraftige boliger for førstegangsetablerer Øvre Eiker. Konkurransesforslag: Narud Stokke Wiig AS, Bjørbekk & Lindheim AS, SINTEF avd. Arkitektur og byggteknikk og TB Entreprenør AS og Kjell Finsrud AS.
- [24] Pilkington-Glass04©, www.pilkington.no
- [25] NS EN 832 Bygningers termiske egenskaper – Beregning av bygningers energibehov til oppvarming – Boliger. 1 utg. 1999. Standard Norge.
- [26] Fang L, Wyon DP, Clausen G, Fanger PO. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance, Indoor Air 14, 2004, (s7), pp. 74-81.
- [27] Dokka, Tor Helge, Vik, Tor Arvid, Hybrid ventilasjon: muligheter og barrierer, eksempler, kontrollstrategier, prosjekteringsverktøy, STF A01015, 2001.
- [28] ISO 7730 Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
- [29] Wolfgang Feist, Søren Peper, Manfred Görg, " Final Technical Report -CEPHEUS Project". July 2001.
- [30] "Fremtidens hus – Et program med resultater", Prof. Gerhard Fanning, Universitet Klagenfurt, Østerrike. Innlegg på konferansen: Lær av de beste lavenergiboligene i Europa, Lillehammer April 2004. (www.lavenergiboliger.no)
- [31] SINTEF m. flere, "Enøk i Bygninger", Universitetsforlaget 1996
- [32] P Blom, V Stenstad, T Dahlsveen, "Energøkonomisk prosjektering av bygninger", Håndbok 37 BYGGFORSK 1988.
- [33] Trond Haavik et al. "Business opportunities in sustainable housing" International Energy Agency, SHC Task 28, 2005.



Den internasjonale arbeidsgruppa samlet i et møte på Maihaugen, Lillehammer.

Denne håndboka er et resultat av et samarbeid mellom Husbanken, Enova og Sintef som startet i det norske prosjektet Kostnadseffektive lavenergiboliger og med deltagelse i det internasjonale prosjektet IEA SHC Task 28/ECBCS Annex 38 Sustainable Solar Housing. Gjennom disse prosjektene som pågikk i perioden 2000-2005 ble vi kjent med "superlavenergiboliger", også kalt passivhus, med ekstremt lavt målt energiforbruk. Erfaringene fra disse byggene, særlig i Tyskland, Østerrike og Sverige, ble brukt til å initiere en rekke forbildeprosjekter på lavenergiboliger i Norge.

Etter et målrettet samarbeid over flere år mellom Husbanken, Enova, SINTEF, Byggforsk, og ambisiøse bransjeaktører har interessen for slike lavenergiboliger og passivhus blitt relativt stor i Norge, og per i dag er ca. 3000 boliger ferdigstilt, under bygging, eller under planlegging. Et betydelig antall av disse er planlagte som passivhus, men hovedvekten er fortsatt på lavenergiboliger.

Håndboka er et forsøk på å gi de som skal planlegge og bygge lavenergiboliger og passivhus et verktøy for å ta de riktige store grepene som bygningsform og byggesystem, men også de riktige små detaljene som konstruksjonsløsninger og valg av komponenter. Målet er boliger med høy kvalitet, meget god bokomfort og lavt energibehov, som skaper varige verdier i hele boligens levetid. Vi håper at håndboka kan være med å bidra til realisering av mange lavenergiboliger og passivhus i årene som kommer.

Denne håndboka er utarbeidet med finansiell støtte fra Husbanken. Det er også brukt midler fra prosjektet Kostnadseffektive lavenergiboliger, som har vært finansiert av Norges Forskningsråd, Enova og Husbanken. Husbanken Regionkontor Midt-Norge, v. Are Rødsjø, ledet det norske prosjektet og deltagelsen i det internasjonale prosjektet. Det internasjonale prosjektet ble ledet av Robert Hastings, Sveits.

Tor Helge Dokka har vært hovedforfatter for boka, med Käthe Hermstad som medforfatter.

Inger Andresen, SINTEF byggforsk og Are Rødsjø, Husbanken, har stått for kvalitetssikring av innholdet i håndboka.

