

■ [www.energy.sintef.no](http://www.energy.sintef.no) ■

**SINTEF****SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
 Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
 Telefon: 73 59 72 00  
 Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:  
 NO 939 350 675 MVA

# TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Oppvarmingssystemer for lavenergiboliger**

SAKSBEARBEIDER(E)

Jørn Stene

OPPDRAKSGIVER(E)

Husbanken

TR NR. TR A6182	DATO 2006-01-10	OPPDRAKSGIVERS REF. Åslaug Hennissen	PROSJEKTNR. 16X569
ELEKTRONISK ARKIVKODE 050802102636		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.) Rune Aarlien <i>R. Aarlien</i>	GRADERING ÅPEN
ISBN NR. 82-594-2893-8	RAPPORTTYPE Prosjektrapport	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.) Inge R. Gran <i>Inge R. Gran</i>	OPPLAG      SIDER 1              113
AVDELING Energiprosesser	BESØKSADRESSE Kolbjørn Hejes vei 1 D	LOKAL TELEFAKS 73593950	

**RESULTAT (sammendrag)**

I Norge vurderes ofte helelektrisk oppvarming som det mest lønnsomme alternativet i lavenergiboliger. Ulempen med denne typen oppvarmingssystemer er imidlertid at eksergivirkningsgraden er lav, en har ingen energifleksibilitet (kun elektrisitet som energibærer), og hvis det helt eller delvis benyttes elektrisitet produsert i termiske kraftverk bidrar helelektrisk oppvarming til relativt høye CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh levert varme. Det er dessuten dokumentert at elektriske panelovner i boliger bidrar til en forverring av luftkvaliteten og dermed et dårligere atmosfærisk innemiljø. Formålet med dette prosjektet har vært å framskaffe, presentere og vurdere alternative oppvarmingsløsninger for lavenergiboliger i Norge.

- *Kapittel 2* gir en beskrivelse av lavenergiboliger og passivhus, og hvilke typiske effekt- og energibehov denne typen bygninger har for romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og beredning av varmt forbruksvann
- *Kapittel 3* presenterer kommersielt tilgjengelige oppvarmingssystemer som kan brukes i lavenergiboliger og eventuelt passivhus. Oppvarmingssystemene er inndelt i frittstående systemer samt sentrale systemer tilknyttet vannbårent varmedistribusjonssystem og/eller balansert ventilasjonsanlegg. Systemene er dessuten klassifisert etter hvilket varmebehov de kan dekke, det vil si romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og varmtvannsberedning.
- *Kapittel 4* gir en beskrivelse av vannbårne varmeanlegg (sentralvarmesystemer) for boligbygg med hovedvekt på varmedistribusjonssystemer for å dekke romoppvarmingsbehov. De varmeavgivende enhetene som er presentert er radiatorer, viftekonvektorer samt gulv-, tak- og veggvarmesystemer.
- *Kapittel 5* gir en overordnet presentasjon av aktuelle ventilasjonsprinsipper for boliger, det vil si naturlig ventilasjon, hybrid ventilasjon, avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon
- *Kapittel 6* gir en sammenlikning av aktuelle oppvarmingssystemer for lavenergiboliger og eventuelt passivhus med hensyn til kostnader/lønnsomhet, energieffektivitet, energifleksibilitet, andel fornybar energi, miljøvennlighet (innvirkning på lokalt/globalt miljø) og innvirkning på termisk og atmosfærisk innemiljø.

**Konklusjon** – Rapporten viser at det finnes mange energieffektive, miljøvennlige og energifleksible alternativer til helelektrisk oppvarming. Ettersom det i prosjektet ikke har vært rom for å kunne gjennomføre en dyptgående kostnads- og lønnsomhetsvurdering av alternativene ved norske rammebetingelser, anbefales det at dette gjøres i et separat prosjekt.

## STIKKORD

EGENVALGTE	Lavenergiboliger og passivhus	Teknisk beskrivelse
	Oppvarmingssystemer	Sammenlikning av alternativer

## INNHOLDSFORTEGNELSE

		Side
1	INNLEDNING .....	4
1.1	HUSBANKENS SATSING PÅ LAVENERGIBOLIGER .....	4
1.2	RAPPORTENS INNHOLD .....	5
2	OPPVARMINGSBEHOV .....	7
2.1	INNLEDNING .....	7
2.2	LAVENERGIBOLIGER .....	7
2.3	PASSIVHUS .....	9
2.4	SAMMENSTILLING – EFFEKT- OG ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING.....	10
3	OPPVARMINGSSYSTEMER – TEKNISK BESKRIVELSE.....	11
3.1	KLASSIFISERING OG VALG AV OPPVARMINGSSYSTEMER FOR BOLIGER.....	11
3.2	OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ ELEKTRISITET.....	13
3.2.1	Klassifisering .....	13
3.2.2	Romoppvarming .....	13
3.2.3	Oppvarming av ventilasjonsluft.....	17
3.2.4	Varmtvannsberedning.....	17
3.2.5	Romoppvarming og varmtvannsberedning.....	18
3.3	OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ GASS.....	20
3.3.1	Generelt om gass som energibærer.....	20
3.3.2	Romoppvarming .....	21
3.3.3	Romoppvarming og varmtvannsberedning.....	22
3.4	OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ BIOENERGI.....	25
3.4.1	Generelt om bioenergi .....	25
3.4.2	Romoppvarming .....	26
3.4.3	Romoppvarming og varmtvannsberedning.....	28
3.5	OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ SOLVARME .....	31
3.5.1	Generelt om solenergi.....	31
3.5.2	Oppbygging og systemtyper .....	32
3.5.3	Plane solfangere.....	33
3.5.4	Systemoppbygging – væskebaserte systemer.....	34
3.6	OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ VARMEPUMPE .....	37
3.6.1	Luft/luft-varmepumper – romoppvarming og klimakjøling.....	38
3.6.2	Luft/vann-varmepumper – romoppvarming og varmtvannsberedning.....	40
3.6.3	Ventilasjonsluft-varmepumper .....	42
3.6.4	Væske-vann og vann/vann-varmepumper .....	50
3.7	FJERNVARME- OG NÆRVARMESYSTEMER .....	53
3.7.1	Generelt om fjernvarme.....	53
3.7.2	Hovedprinsipper for fjernvarmesystemer.....	53

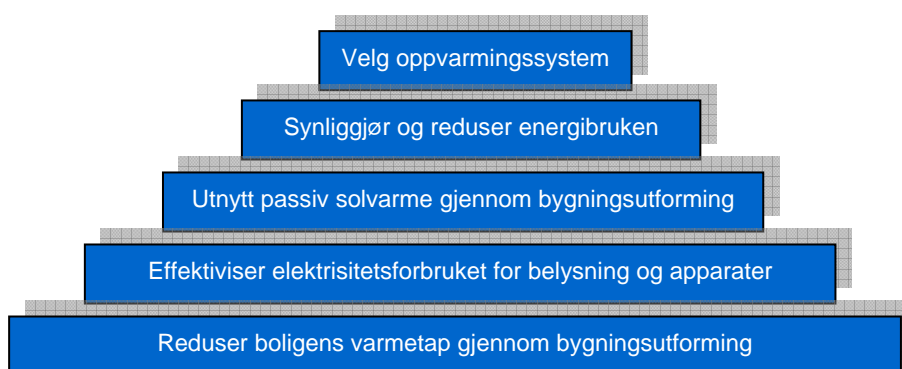
4	VARMEDISTRIBUSJONSSYSTEMER.....	57
4.1	INTRODUKSJON.....	57
4.2	BEREDNING AV VARMT FORBRUKSVANN.....	57
4.3	ROMOPPVARMING – VARMEAVGIVENDE ELEMENTER.....	59
4.3.1	Introduksjon.....	59
4.3.2	Radiatorer.....	60
4.3.3	Konvektorer.....	60
4.3.4	Gulvvarmesystemer.....	62
4.3.5	Takvarmesystemer.....	64
4.3.6	Veggvarmesystemer.....	66
5	VENTILASJONSSYSTEMER.....	67
5.1	INTRODUKSJON.....	67
5.2	SAMMENLIKNING AV VENTILASJONSSYSTEMER.....	67
5.2.1	Naturlig ventilasjon.....	68
5.2.2	Hybrid ventilasjon.....	68
5.2.3	Avtrekksventilasjon.....	68
5.2.4	Balansert ventilasjon.....	69
6	OPPVARMINGSSYSTEMER – OVERORDNET SAMMENLIKNING.....	72
6.1	EVALUERINGSKRITERIER FOR OPPVARMINGSSYSTEMER.....	72
6.1.1	Oppvarmingssystemer – kostnader og lønnsomhet.....	73
6.1.2	Oppvarmingssystemer – energieffektivitet, fornybar energi og energifleksibilitet.....	83
6.1.3	Oppvarmingssystemer – innvirkning på det ytre (globale) miljø.....	85
6.1.4	Oppvarmingssystemer – innvirkning på innemiljø.....	91
7	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID.....	98
8	REFERANSELISTE.....	99
9	<u>VEDLEGG A</u> – VARMEPUMPER.....	105
9.1	VARMEPUMPENS PRINSIPP.....	105
9.2	VARMEPUMPENS HOVEDKOMPONENTER OG VIRKEMÅTE.....	106
9.3	VARMEPUMPENS ENERGIEFFEKTIVITET.....	107
9.4	VARMEKILDER FOR VARMEPUMPER.....	108
9.4.1	Varmeuttak fra uteluft.....	108
9.4.2	Ventilasjonsluft – varmeuttak fra avtrekksluft i ventilasjonsanlegg.....	109
9.4.3	Grunnvarme – varmeuttak fra fjell/grunnvann.....	110
9.4.4	Jordvarme – varmeuttak fra jord eller myr.....	110
9.4.5	Varmeuttak fra sjøvann og ferskvann (innsjø, elv).....	111
10	<u>VEDLEGG B</u> – ISOLASJONSSTANDARD OG ÅRLIG VARMEBEHOV FOR LAVENERGIBOLIGER OG PASSIVHUS.....	112

## 1 INNLEDNING

### 1.1 HUSBANKENS SATSING PÅ LAVENERGIBOLIGER

Sammen med lokale utbyggere har [Husbanken](#), SINTEF Teknologi og Samfunn, Enova SF og Byggforsk satt i gang bygging av ca. 600 lavenergiboliger i Norge. Husene skal ha et totalt årlig varmebehov som er lavere enn 100 kWh/(m<sup>2</sup>år), det vil si mindre enn halvparten så mye som ordinære boliger bygget i henhold til dagens byggeforskrift av 1997.

En av Husbankens strategier er å fremme designmetoden "*passiv energidesign*" for å oppnå lavenergiboliger med kostnadseffektive, energieffektive, brukervennlige og robuste løsninger. Metoden har fem trinn, hvor en starter med å redusere varmetapet fra boligen og velger oppvarmingssystem til slutt. Figur 1.1 viser metodens framgangsmåte.



Figur 1.1 *Passiv energidesign av lavenergiboliger i 5 trinn (Husbanken, 2005).*

I mer detalj omfatter strategien følgende punkter:

- Redusere transmisjons- og infiltrasjonstap for bygningskroppen – benytte spesielt godt isolert og tett bygningskropp med minimale kuldebroer og luftlekkasjer samt vinduer og dører med lav U-verdi
- Utnytte passiv solvarme – ha solrik orientering av bygning/vinduer og benytte eksponerte betongdekker e.l. med høy termisk masse i gulv, tak og vegger. Det bør benyttes solavskjerming samt egnede passive og aktive og systemer for å hindre overtemperatur ved varmeoverskudd i boligen.
- Benytte ventilasjonsanlegg med høy grad av varmegjenvinning fra avtrekksluften og med kortest mulige kanaler (lavt trykktap)
- Benytte energibesparende belysning og elektrisk utstyr
- Installere miljøvennlige og energieffektive systemer for romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og beredning av varmt forbruksvann
- Benytte et overordnet styringssystem (SD-anlegg, smarthus-styring) som styrer lys, utstyr, ventilasjonssystem og oppvarmingssystemer optimalt med hensyn til energibruk og innemiljø

Husbanken har lagt ut informasjon om lavenergiboliger på <http://www.lavenergiboliger.no>.



Ved bygging av lavenergiboliger bør det satses på såkalt *integrert design*. Det vil si at en må finne fram til best mulige totalløsninger for bygning og oppvarmingssystemer ut i fra lokale forhold, slik at en oppnår en optimal løsning for både brukeren og samfunnet med hensyn på kostnader, energibruk, energifleksibilitet, ytre miljøbelastning og innemiljø.

## 1.2 RAPPORTENS INNHOLD

**Kapittel 2** gir en beskrivelse av lavenergiboliger og boliger med [\*passivhus-standard\*](#), og hvilke typiske effekt- og energibehov denne typen bygninger har for romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og beredning av varmt forbruksvann.

**Kapittel 3** presenterer kommersielt tilgjengelige oppvarmingssystemer som kan benyttes i lavenergiboliger og eventuelt passivhus. Systemene er inndelt i to hovedtyper:

- *Frittstående oppvarmingssystemer* som hver for seg dekker hele eller deler av behovet for romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft eller beredning av varmt forbruksvann
- *Sentrale oppvarmingssystemer* som kan dekke alle boligens varmebehov, og som dekker romvarmebehovet via et vannbårent varmedistribusjonssystem eller ved oppvarming av ventilasjonsluft

### Frittstående systemer – kun romoppvarming

- Elektrisk panelovn
- Elektrisk, oljefylt radiator
- Elektrisk vifteovn
- Elektrisk varmemefolie eller varmekabel
- Gasskamin (gulvplassering)
- Gassovn (veggplassering)
- Gasspeis
- Vedovn uten vannmantel
- Solfanger (aktivt solvarmesystem)
- Pelletskamin uten vannmantel
- Luft/luft-varmepumpe
- Kombinasjoner av ovennevnte frittstående systemer

### Frittstående systemer – kun oppvarming av ventilasjonsluft

- Elektrisk varmebatteri
- Ventilasjonsluft/luft-varmepumpe

### Frittstående systemer – kun varmtvannsberedning

- Elektrisk(e) varmekolbe(r) i enkeltmantlet varmtvannstank
- Gassbrenner i enkeltmantlet varmtvannstank
- Solfanger (aktivt solvarmesystem)
- Ventilasjonsluft/vann-varmepumpe
- Luft/vann-varmepumpe
- Væske/vann-varmepumpe

### Sentrale systemer – varmedistribusjon via vann/luft – kan dekke alle oppvarmingsbehovene i boligen

- El.kassett
- Elementkjel
- Elektrodekjel
- Gassfyr kjel
- Vedovn med vannmantel
- Pelletskamin med vannmantel
- Vedkjel
- Pelletskjel
- Solfanger (aktivt solvarmesystem)
- Ventilasjonsluft/vann-varmepumpe
- Ventilasjonsluft/vann-luft-varmepumpe
- Vann/vann-varmepumpe
- Væske/luft/vann-varmepumpe
- Væske/vann-varmepumpe
- Varmeveksler(e) tilknyttet fjernvarme-/nærvarmesystem
- Kombinasjon av sentralt system supplert med frittstående system(er)

**Kapittel 4** gir en beskrivelse av vannbårne varmelegg (sentralvarmesystemer) for boligbygg med hovedvekt på varmedistribusjonssystemer for å dekke romoppvarmingsbehov. De varmeavgivende enhetene som er presentert er radiatorer, viftekonvektorer samt gulv-, tak- og veggvarmesystemer.

**Kapittel 5** gir en overordnet presentasjon av aktuelle ventilasjonsprinsipper for boliger, det vil si naturlig ventilasjon, hybrid ventilasjon, avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon.

**Kapittel 6** gir en sammenlikning av oppvarmingssystemer for lavenergiboliger og eventuelt passivhus med hensyn til kostnader/lønnsomhet, energieffektivitet, energifleksibilitet, andel fornybar energi, miljøvennlighet (innvirkning på lokalt/globalt miljø) og innvirkning på termisk og atmosfærisk innemiljø.

I rapporten er det ikke sett på:

- Detaljerte beskrivelser og vurderinger av komplette oppvarmingssystemer for ulike boligtyper, det vil si eneboliger, flermannsboliger, rekkehus, boligblokker/blokkleiligheter og bofellesskap
- Oljefyrte kjeler, oljekaminer og parafinovner. Stortinget fattet i juni 2001 et vedtak om utfasing av oljefyring, det vil si flytende petroleumsprodukter til oppvarmingsformål
- Solcelleanlegg for strømproduksjon samt systemer for lokal kraft-varmeproduksjon, for eksempel brenselceller og Sterling-motorer basert på gass eller hydrogen som brensel
- Bygningsutforming samt bygningsintegreerte oppvarmingssystemer, dvs. oppvarmingssystemer som inngår som en del av bygningskroppen. Eksempel på dette er passiv utnyttelse av solvarme.
- Systemer og strategier for solavskjerming og passiv klimakjøling, for eksempel kryssventilering, samt passiv varmelagring i bygningskroppen (betongdekker i himling, gulv og vegger) eller aktive eksterne termiske lagre i fjell eller vann

## 2 OPPVARMINGSBEHOV

Dette kapittelet gir en beskrivelse av lavenergiboliger og passivhus med hensyn til typiske effekt- og energibehov for romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og beredning av varmt forbruksvann.

### 2.1 INNLEDNING

Det totale årlige varmebehovet [kWh/år] i boliger deles inn i:

- *Romoppvarming* – varmebehov for å opprettholde ønsket innelufttemperatur i boligen (typisk 20–24°C). Behovet bestemmes av transmisjons-, infiltrasjons- og eksfiltrasjonstapene gjennom vegger, tak, gulv, vinduer og dører samt nyttiggjort solinnstråling og interne varmetilskudd fra belysning, utstyr, apparater og personer.
- *Oppvarming av ventilasjonsluft* – varmebehov for å varme opp tilført friskluft for boligen til ønsket temperatur (typisk 19–20°C). I boliger med balansert ventilasjon og varmegjenvinning vil behovet for ettervarming av ventilasjonsluften være avhengig av varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad samt eventuelt behov for forvarming av uteluften ved lave temperaturer (ref. [Kapittel 5](#)).
- *Oppvarming av varmt forbruksvann* – varmebehov for oppvarming av vann til typisk 60–80°C for sanitære formål og vasking i boligen. Varmebehov for oppvarming av vann i vaskemaskin og oppvaskmaskin inngår normalt ikke da det brukes kaldt nettvann som varmes opp i maskinene.

Tabell 2.1 viser hvor mange boligenheter det var i Norge av hver kategori i januar 2005, hvor mange boligenheter det ble bygget eller igangsatt i 2004 og prosentvis fordeling mellom disse (SSB, 2005).

Tabell 2.1 Boligenheter i Norge i 2004 og 2005 (SSB, 2005).

Boligkategori	Tot. antall enheter 2005	Bygget/igangsatt 2004 – antall	Bygget/igangsatt 2004 – %
Eneboliger	1.104.641 (78,9%)	7.884	27%
Flermannsboliger	134.496 (9,6%)	2.283	8%
Rekkehus, småhus	128.956 (9,2%)	4.135	14%
Blokkleiligheter	28.547 (2,0%)	13.861	47%
Bofellesskap	4.087 (0,3%)	1.236	4%

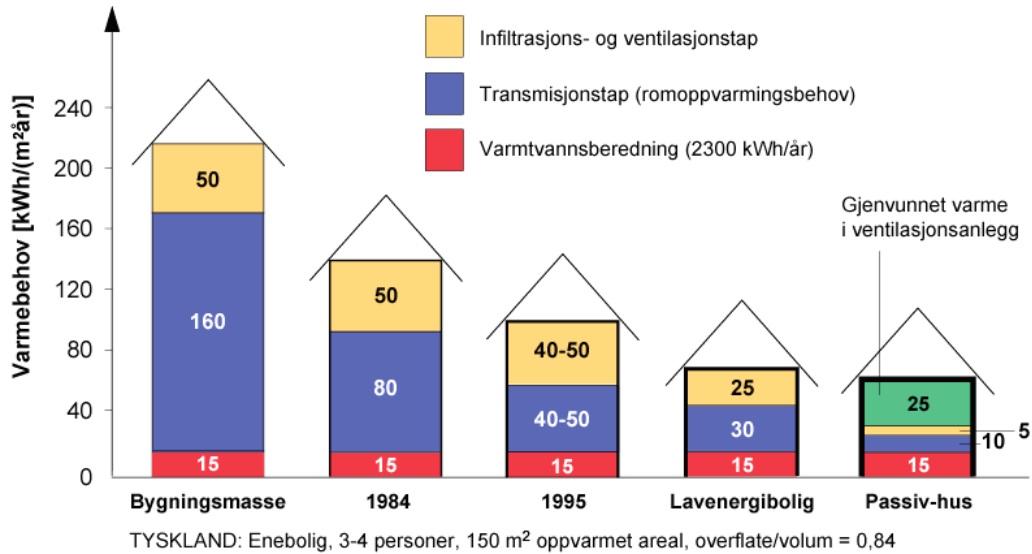
### 2.2 LAVENERGIBOLIGER

Lavenergiboliger er godt isolerte og tette boliger med et energieffektivt ventilasjonssystem, og det er en generell oppfatning at *totalt årlig energibehov skal være lavere enn 100 kWh/(m<sup>2</sup>år)* for at en bolig skal kunne klassifiseres som en lavenergibolig. Figur 2.1 viser et eksempel på hvordan det spesifikke varmebehovet [kWh/(m<sup>2</sup>år)]<sup>1</sup> i tyske eneboliger har endret seg i takt med skjerpede byggeforskrifter (Breembroek og Dieleman, 2001). I dette tilfellet har lavenergiboligen et totalt årlig varmebehov på 70 kWh/(m<sup>2</sup>år).

Figur 2.1 viser at transmisjonstapet (romvarmebehovet) med årene har blitt kraftig redusert, og at varmtvannsbehovet utgjør en stadig økende andel av det totale årlige varmebehovet for boligene. Energibehovet til oppvarming av ventilasjonsluft for en lavenergibolig (eks. varmegjenvinner) er dessuten i samme størrelsesorden som romoppvarmingsbehovet.

<sup>1</sup> Forholdet mellom boligens årlige varmebehov [kWh] og boligens oppvarmede areal [m<sup>2</sup>]



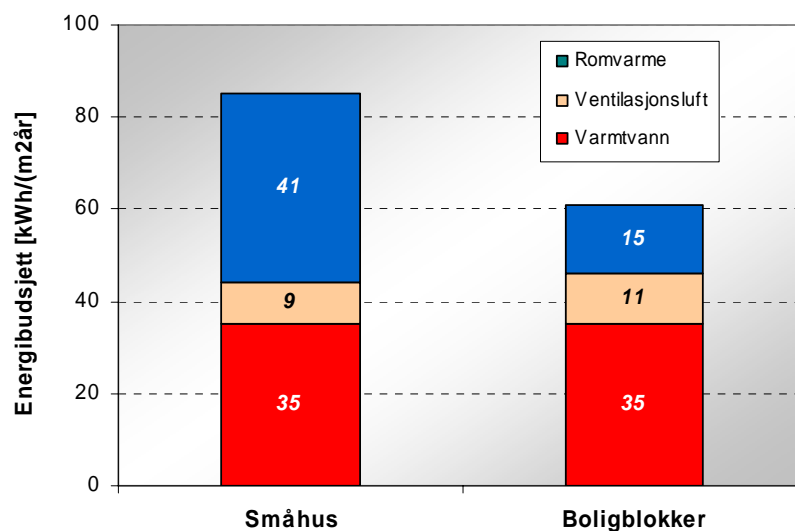


Figur 2.1 Eksempel på utvikling i spesifikt varmebehov i tyske eneboliger med 150 m<sup>2</sup> oppvarmet areal og 3–4 beboere (Breembroek og Dieleman, 2001).

I 2003 ble det utarbeidet et forslag til nye forskriftskrav til bygningers energibehov (Thyholt og Dokka, 2003). Dokumentet er for tiden ute til høring, og vil muligens tre i kraft i 2006. I dette forslaget er det blant annet forutsatt følgende krav i småhus og boligblokker:

- U-verdier i vegger, tak og gulv som i byggeforskriftene av 1997
- U-verdi for vinduer 1,4 W/(m<sup>2</sup>K)
- Bygningskroppens tetthet – tilsvarende i størrelsesordenen 0,1 *luftskifter* per time (0,1 h<sup>-1</sup>)
- Ventilasjonsluftmengde – minimum luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup> – tilsvarende ca. 1,2 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h)
- Balansert ventilasjon med varmegjenvinning med minimum 60% temperaturvirkningsgrad

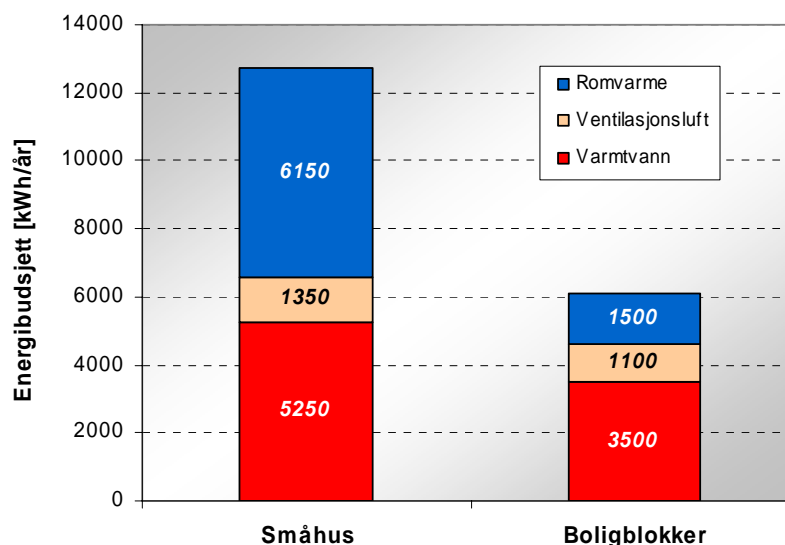
Figur 2.2 viser de foreslåtte spesifikke energiramme [kWh/(m<sup>2</sup>år)] for småhus og boligblokker.



Figur 2.2 Spesifikke energiramme [kWh/(m<sup>2</sup>år)] i henhold til utkast til nye norske forskriftskrav til bygningers energibehov, 2006 (Thyholt og Dokka, 2003).

Spesifikt romoppvarmingsbehov for lavenergiboliger i Tyskland, Sveits og Østerrike er i samme størrelsesorden som de foreslåtte norske energiramme (Breembroek og Dieleman, 2001).

Figur 2.3 viser, med utgangspunkt i de spesifikke energirammene fra Figur 2.2, absolutte energirammer [kWh/år] for en enebolig og blokkleilighet med henholdsvis 150 og 100 m<sup>2</sup> oppvarmet areal.



Figur 2.3 Energirammer for enebolig og blokkleilighet med hhv. 150 og 100 m<sup>2</sup> oppvarmet areal i hht. utkast til nye, norske forskriftskrav til bygningers energibehov (Thyholt og Dokka, 2003).

Forbruket av varmt tappevann blir relativt høyt i eneboligen (5.250 kWh/år). Normalt regnes et årlig energibehov på ca. 4.000 kWh/år til beredning av varmt forbruksvann i norske boliger, men dette påvirkes naturlig nok av antall brukere og bruksmønster (Breembroek og Dieleman, 2001).

Mens varmtvannsbehovet i eksisterende bygningsmasse typisk utgjør 10–15% av totalt årlig varmebehov i boligen, vil varmtvannsbehovet i lavenergiboliger være i samme størrelsesorden som romoppvarmingsbehovet. Dette har stor innvirkning på valg og utforming av oppvarmings- og ventilasjonssystemene, ettersom det blir mindre fokus på romoppvarming og varmedistribusjon, og økt fokus på varmtvannsberedning og varmegjenvinning i ventilasjonssystemet.

I [Kapittel 2.4](#) er det gitt en oppsummering av effekt- og energibehov til oppvarming av lavenergiboliger.

## 2.3 PASSIVHUS

Boliger med passivhus-standard har enda tettere og bedre isolert bygningskropp enn lavenergiboliger, og skal i henhold til definisjonen for et sentraleuropeisk klima ha et romvarmebehov på maksimum 15 kWh/(m<sup>2</sup>år) (Breembroek og Dieleman, 2001). I tillegg kommer energibehov til oppvarming av ventilasjonsluft og beredning av varmt tappevann på typisk 50 kWh/(m<sup>2</sup>år). Det betyr at en bolig med 150 m<sup>2</sup> oppvarmet areal vil ha et totalt årlig varmebehov i underkant av 10.000 kWh/år.

I boliger av passivhus-standard er behovet for romoppvarming så lavt at det ikke er lønnsomt å investere i konvensjonelle oppvarmingssystemer. Romvarmebehovet kan da alternativt dekkes med enkle punktoppvarmingskilder, enkle vannbårne oppvarmingssystemer eller ved distribusjon av overtemperert luft via ventilasjonssystemet. I denne rapporten er det først og fremst sett oppvarmingssystemer for lavenergiboliger, men noen av de presenterte systemene er også aktuelle for passivhus.

I  [neste kapittel](#) er det gitt en oppsummering av effekt- og energibehov til oppvarming av boliger med passivhus-standard.

## 2.4 SAMMENSTILLING – EFFEKT- OG ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING

Tabell 2.2 gir en oversikt over typiske effekt- og energibehov for romoppvarming, ettervarming av ventilasjonsluft og varmtvannsberedning i boliger bygd i henhold til de norske byggeforskriftene av 1997, lavenergiboliger og passivhus. Dataunderlaget er hentet fra [Vedlegg B, Lavenergiboliger og passivhus – skjematisk oversikt over kriterier og egenskaper](#) samt Andresen (2005).

Tabell 2.2 Oversikt over generelle krav til utforming av bygningskropp og ventilasjonsanlegg samt effekt- og energibehov for romoppvarming, ettervarming av ventilasjonsluft og varmtvannsberedning for ulike typer boliger (Vedlegg B og Andresen, 2005).

Generelle krav	Normal bolig <sup>1)</sup>	Lavenergibolig	Passivhus
Bygningskropp – isoleringsgrad	Som forskrifter	Strengt krav	Svært strengt krav
Bygningskropp – tetthet	Som forskrifter	4 ganger bedre enn kravet	8 ganger bedre enn kravet
Ventilasjon – varmegjenvinning	Avtrekkssystem u/varmegjenvinning	Balansert ventilasjon med 70–80% varmegjenvinning	Balansert ventilasjon med 80–90% varmegjenvinning
Effektbehov	Normal bolig <sup>1)</sup>	Lavenergibolig	Passivhus
Effektbehov – romoppvarming <sup>2)</sup>	35–40 W/m <sup>2</sup>	20 W/m <sup>2</sup>	10 W/m <sup>2</sup>
Ved 150 m <sup>2</sup> oppvarmet areal	5,3–6,0 kW	3,0 kW	1,5 kW
Effektbehov – ventilasjonsluft <sup>3)</sup>	*	ca. 5 W/m <sup>2</sup>	ca. 3 W/m <sup>2</sup>
Ved 150 m <sup>2</sup> oppvarmet areal	*	ca. 0,7 kW <sup>4)</sup>	ca. 0,5 kW <sup>5)</sup>
Midlere varmtvannseffekt <sup>6)</sup>	ca. 0,5 kW	ca. 0,5 kW	ca. 0,5 kW
Totalt dim. effektbehov ved 150 m <sup>2</sup> oppvarmet areal	ca. 5,8–6,5 kW	ca. 4,2 kW	ca. 2,5 kW
Årlig varmebehov	Normal bolig <sup>1)</sup>	Lavenergibolig	Passivhus
A – Romoppvarming	Typisk 80 kWh/m <sup>2</sup>	Typisk under 30 kWh/m <sup>2</sup>	Krav maks. 15 kWh/m <sup>2</sup>
B – Varmtvann <sup>6) 7)</sup>	Typisk 25–35 kWh/m <sup>2</sup>	Typisk 25–35 kWh/m <sup>2</sup>	Typisk 25–30 kWh/m <sup>2</sup>
Varmtvann/romoppvarming <sup>8)</sup>	0,30–0,45	0,85–1,15	1,65–2,0
Totalt årlig energibehov	Typisk 170 kWh/m <sup>2</sup>	Krav maks. 100 kWh/m <sup>2</sup>	Typisk 65 kWh/m <sup>2</sup>

1) Bolig utført i henhold til de norske byggeforskriftene av 1997

2) Oslo-klima, dimensjonerende utetemperatur (DUT) -20°C

3) Ettervarming av ventilasjonsluft etter varmegjenvinner til 19°C

4) Oslo-klima, 70% temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinneren, luftskifte 0,5 h<sup>-1</sup>, avtrekksluft ved 20°C, tilluft ved 19°C, forvarming av uteluft med kulvert ikke medregnet

5) Som for 4) men med 80% temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinneren ved DUT

6) Varmtvannsberedning tilsvarende 4.000–5.000 kWh/år (Breembroek og Dieleman, 2001)

7) Ved 150 m<sup>2</sup> oppvarmet areal

8) Forholdet mellom årlig varmtvannsbehov [kWh/år] og årlig romoppvarmingsbehov [kWh/år], dvs. A dividert på B [-]

### 3 OPPVARMINGSSYSTEMER – TEKNISK BESKRIVELSE

Dette kapitlet gir en teknisk beskrivelse av kommersielt tilgjengelige oppvarmingssystemer basert på elektrisitet, gass (propan og naturgass), bioenergi (ved, briketter, trepellets), aktiv solvarme, ulike typer varmepumper samt fjernvarme/nærvarme som kan benyttes i lavenergiboliger og eventuelt passivhus. Vannbårne varmedistribusjonssystemer er beskrevet i [Kapittel 4](#), ventilasjonssystemer er presentert i [Kapittel 5](#) mens en overordnet sammenlikning av enkeltssystemer og utvalgte komplette oppvarmingssystemer er gitt i [Kapittel 6](#).

#### 3.1 KLASSIFISERING OG VALG AV OPPVARMINGSSYSTEMER FOR BOLIGER

Oppvarmingssystemer for boliger kan klassifiseres som følger:

- A) *Frittstående oppvarmingssystemer* – dekker hele eller deler av behovet for: (1) Romoppvarming, (2) Oppvarming av ventilasjonsluft eller (3) Beredning av varmt forbruksvann
- B) *Sentrale oppvarmingssystemer* – dekker hele eller deler av boligens varmebehov. Romvarmebehovet dekkes via et vannbårent varmedistribusjonssystem eller ved oppvarming av ventilasjonsluft.

##### A1 – Frittstående systemer – kun romoppvarming

- Elektrisk panelovn
- Elektrisk, oljefyllt radiator
- Elektrisk vifteovn
- Elektrisk varmemefolie eller varmekabel
- Gasskamin (gulvplassering)
- Gassovn (veggplassering)
- Gasspeis
- Vedovn uten vannmantel
- Solfanger (aktivt solvarmesystem)
- Pelletskamin uten vannmantel
- Luft/luft-varmepumpe

##### A2 – Frittstående systemer – kun oppvarming av ventilasjonsluft

- Elektrisk varmebatteri
- Ventilasjonsluft/luft-varmepumpe

##### A3 – Frittstående systemer – kun varmtvannsberedning

- Elektrisk(e) varmekolbe(r) i enkeltmantlet varmtvannstank
- Gassbrenner i enkeltmantlet varmtvannstank
- Solfanger (aktivt solvarmesystem)
- Ventilasjonsluft/vann-varmepumpe
- Luft/vann-varmepumpe
- Væske/vann-varmepumpe

## B – Sentrale systemer – varmedistribusjon via vann/luft – kan dekke alle oppvarmingsbehovene i boligen

- El.kassett
- Elementkjel
- Elektrodekjel
- Gassfyr kjel
- Vedovn med vannmantel
- Pelletskamin med vannmantel
- Vedkjel
- Pelletskjel
- Solfanger (aktivt solvarmesystem)
- Ventilasjonsluft/vann-varmepumpe
- Ventilasjonsluft/vann-luft-varmepumpe
- Vann/vann-varmepumpe
- Væske/luft/vann-varmepumpe
- Væske/vann-varmepumpe
- Varmevekslere i fjernvarme-/nærvarmenett

For sentrale oppvarmingssystemer distribueres varmen fra varmesentralen via et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)) for romoppvarming, beredning av varmt forbruksvann i en enkeltmantlet eller dobbeltmantlet varmtvannstank og eventuelt ettervarming av ventilasjonsluft hvis boligen har balansert ventilasjon (ref. [Kapittel 5](#)). Romoppvarmingsbehovet kan alternativt dekkes ved oppvarming (overtemperering) av tilluften i ventilasjonsanlegget.

*Frittstående oppvarmingssystemer* kan brukes i all typer lavenergiboliger, det vil si eneboliger, flermannsboliger, rekkehus og boligblokker. Ettersom hvert av de frittstående systemene kun kan dekke én type varmebehov, er det nødvendig med en kombinasjon av flere frittstående systemer, for eksempel elektriske panelovner, gassovn/-kamin, pelletskamin, eller luft/luft-varmepumpe for romoppvarming, enkeltmantlet tank med elektriske varmekolber for varmtvannsberedning samt eventuelt elektrisk ettervarmer (varmebatteri) for ettervarming av tilluft i balansert ventilasjonsanlegg.

*Sentrale systemer* kan benyttes i eneboliger samt i flermannsboliger, rekkehus og boligblokker hvor én varmesentral dekker varmebehovet for alle boenhetene. Eksempler på varmesentraler for sentrale oppvarmingssystemer er solfangere og gasskjel (spisslast), pelletskjel og el.kassett (spisslast), væske/vann-varmepumpe og el.kassett (spisslast) samt varmevekslere tilkoblet fjernvarme-/nærvarmenett. Et sentralt system kan også kombineres med frittstående oppvarmingssystemer, for eksempel pelletskamin med vannmantel og elektriske panelovner. I boliger med balansert ventilasjon vil såkalte kompaktaggregater med varmegjenvinner, avtrekksluft-varmepumpe, solfanger og integrert varmtvannstank være en mulig løsning.

I dette kapittelet er det gitt en teknisk beskrivelse av de ulike enkeltsystemene som er listet under A1–A3 og B, mens [Kapittel 6.1.1](#) presenterer kostnads- og lønnsomhetsberegninger for utvalgte komplette oppvarmingssystemer som til sammen dekker hele boligens varmebehov.

## 3.2 OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ ELEKTRISITET

### 3.2.1 Klassifisering

Elektriske oppvarmingssystemer for boliger kan klassifiseres som følger:

- Romoppvarming
  - Elektriske panelovner (lukket, gjennomstrømning – varmepanel, varmelist)
  - Elektriske, oljefylte radiatorer
  - Elektriske vifteovner/gulvovner
  - Elektriske gulv- og takvarmesystemer
- Oppvarming av ventilasjonsluft
  - Elektriske ettervarmere (varmebatterier)
- Varmtvannsberedning
  - Enkeltmantlede varmtvannstanker med elektrisk(e) varmekolbe(r)
- Romoppvarming og varmtvannsberedning – vannbåren varmedistribusjon
  - Dobbeltmantlede varmtvannstanker med elektrisk(e) varmekolbe(r)
  - El.kassetter
  - Elektrokjeler

### 3.2.2 Romoppvarming

Elektriske varmeovner for romoppvarming i boliger leveres som lukkede panelovner, gjennomstrømningsovner, oljefylte radiatorer for gulv eller veggplassering og frittstående vifteovner/gulvovner.

#### 3.2.2.1 Elektriske panelovner

*Lukkede panelovner* er tette og kompakte ovner helt uten luftgjennomstrømning, og leveres som varme-pannel og varmelist (smal ovn). Omtrent 50% av varmen avgis som stråling, resten ved konveksjon ved at luft varmes opp og strømmer oppover den varme flaten. Maksimal avgitt effekt for lukkede panelovner ligger mellom 300 og 2000 W. Denne typen ovner har større overflateareal enn gjennomstrømningsovner med samme varmeeffekt, og vil derfor ha en noe lavere overflatetemperatur. Ingen av leverandørene på det norske markedet oppgir imidlertid maksimal overflatetemperatur for ovnene. Ovnene leveres med ulike former for elektroniske termostater, alt fra enkle innebygde enheter til avansert sentral regulering med egen romtermostat og avanserte styringssystemer med styresignaler via strømmettet, trådløs radiostyring og GSM-styring (for hytter). Programmerbare termostater muliggjør dag- og nattsinking av romtemperaturen.

Tradisjonelt har denne typen panelovner vært plassert under vinduene for å hindre kald trekk (kaldras), men i lavenergiboliger hvor vinduene har lav U-verdi kan ovnene plasseres fritt uten at dette påvirker termisk komfort i boligen. Figur 3.1 viser eksempler på konvensjonelle lukkede panelovner samt en panel-ovn i gjennomsiktig utførelse (glassovn).

Det finnes også en spesialversjon av lukkede panelovner, hvor varmeelementet består av et rekkekoblet modulsystem montert som en vanlig gulvlist. Avgitt varmeeffekt fra systemet er typisk 150 W per meter varmelist. Figur 3.2 viser et eksempel på moduler for gulvlistsystem samt et ferdig montert varmeanlegg.

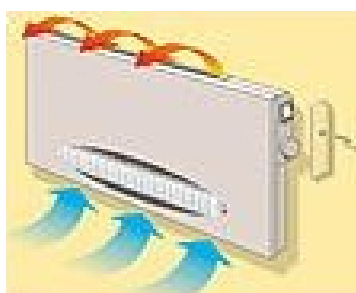


Figur 3.1 Eksempler på lukkede panelovner (varmepanel og varmelist) samt gjennomsiktig glassovn.



Figur 3.2 Eksempel på varmelistsystem utformet som en gulvlist.

I *gjennomstrømningsovner* strømmer luft inn i bunnen av ovnen, varmes opp av varmeelementene og strømmer ut gjennom åpninger (rister) øverst på ovnen. I forhold til lukkede panelovner vil en større andel av varmen avgis ved konveksjon, og en får større lufthastighet i rommet. Figur 3.3 viser prinsippet for luftstrømningen gjennom en gjennomstrømningsovn.



Figur 3.3 Prinsippet for en elektrisk gjennomstrømningsovn.

Gjennomstrømningsovner utføres som varmepanel eller varmelist (smal ovn) og maksimal avgitt effekt ligger mellom 250 og 2000 W. Leverandører på det norske markedet oppgir at maksimal overflatetemperatur for denne typen ovner varierer mellom 70 til 90°C, men det finnes også ovner beregnet for barnehager med maksimalt 60°C overflatetemperatur. Risttemperaturen vil typisk ligge 10 til 20°C over maksimal overflatetemperatur, mens utgående lufttemperatur typisk varierer fra 70 til 120°C. Som lukkede panelovner kan gjennomstrømningsovnene leveres med ulike typer elektroniske termostater som muliggjør dag- og nattsenkning av romtemperaturen. Bortsett fra at det kreves en minste monteringsavstand til vegg, gulv, vindusbrett osv., kan ovnene plasseres fritt da det ikke er behov for kaldrassikring under vinduene i lavenergiboliger. Figur 3.4 viser eksempler på ulike typer elektriske gjennomstrømningsovner.



Figur 3.4 Eksempler på elektriske gjennomstrømmingsovner (varmepanel og varmelist).

### 3.2.2.2 Elektriske, oljefylte radiatorer

Elektriske oljefylte radiatorer leveres som frittstående enheter med ben eller for veggmontasje, og maksimal effekt ligger mellom 400 og 2000 W. Den oljefylte konstruksjonen bidrar til jevn overflatetemperatur, og produsenter for det norske markedet oppgir at maksimal overflatetemperatur er 80°C. Ovnene leveres med trinnvis effektregulering og elektronisk termostat. Figur 3.5 viser eksempler på oljefylte radiatorer for gulvplassering og veggmontasje.



Figur 3.5 Eksempel på elektriske, oljefylte radiatorer for gulvplassering og veggmontasje.

### 3.2.2.3 Elektriske vifteovner

Elektriske vifteovner, som også benevnes varmevifter og frittstående gulvovner med vifte, har innebygd vifte og er beregnet for gulvplassering. Luft strømmer inn gjennom rister i toppen/bunnen/siden av ovnen, varmes opp av varmelementene og blåses ut i rommet med relativt stor hastighet. Ovnene leveres i effektområdet 1000 til 2000 W, og har trinnvis effektregulering og innebygd elektronisk termostat. Ingen leverandører på det norske markedet oppgir maksimal overflatetemperatur eller maksimalt utgående lufttemperatur for sine ovner. Figur 3.6 viser eksempler på elektriske vifteovner.



Figur 3.6 Eksempel på elektriske vifteovner.



### 3.2.2.4 Elektrisk gulv- og takvarmesystem

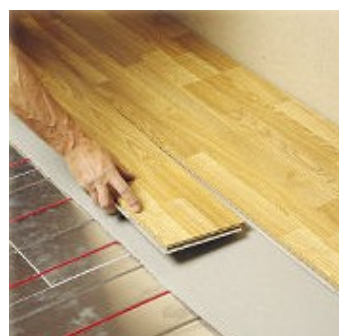
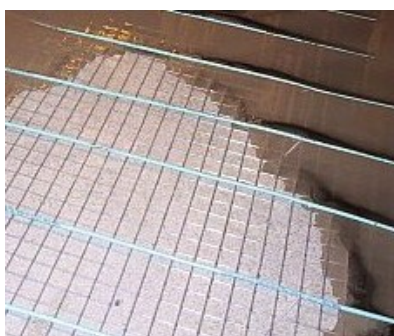
Elektriske gulvvarmesystemer leveres som varmemefolie/varmematter og varmekabler. Elektriske varmemefolier benyttes i tørre rom, mens elektriske varmekabler også kan installeres ute og i rom med fuktbelastning.

*Elektrisk varmemefolie* er et lavtbyggende gulvvarmesystem som består av en tynn (0,2 mm) strømførende mønstret folie forsterket med for eksempel akryl og polyester. Avgitt varmeeffekt fra folien ligger typisk mellom 40 til 150 W/m<sup>2</sup>. Varmefolie kan brukes både i tregulv og støpte gulv. I tregulv er det krav til bruk av brannsikkert materiale under folien, for eksempel 6 mm gipsplate. Som toppdekke kan det benyttes flis, parkett, laminatgulv og gulvbelegg. Elektrisk varmemefolie kan også legges i tak (takvarme). Anleggene styres av/på av en romtermostat. Produsenter av elektrisk varmemefolie gir 10 års garanti på produktet, og hevder at folien vil vare byggets levetid. Figur 3.7 viser eksempel på montering av varmemefolie i gulv.



Figur 3.7 Eksempel på montering av varmemefolie i gulv.

*Elektriske varmekabler* finnes som 1- eller 2-leder kabel, og kan legges både i tregulv og støpte gulv. Avgitt varmeeffekt varierer typisk fra 8 til 20 W/m, og avgitt varmeeffekt per m<sup>2</sup> er dermed bestemt av leggeavstanden. Det finnes også varmekabelmatter med gitt avgitt effekt per m<sup>2</sup> samt spesielt lavtbyggende gulv der varmekablene legges i aluminiumsprofiler med utfreste spor. Som toppdekke for gulvene kan det benyttes for eksempel flis, parkett, laminatgulv og gulvbelegg. Kravene til brannsikkerhet er forøvrig som for varmemefolie. Gulvvarmesystemer med elektriske varmekabler reguleres av/på av en romtermostat, eventuelt av en gulvtermostat i badrom og i spesielle aluminiumsprofiler under parkett i oppholdsrom.



Figur 3.8 Eksempler på elektriske varmekabler lagt i påstøp og i aluminiumsprofiler under parkett.

Elektrobransjen opplyser at 2-leder varmekabel er å anbefale ettersom den gir mindre elektromagnetisk stråling enn 1-leder varmekabel. 2-leder varmekabler regnes som omtrent strålingsfrie ved bruk av tradisjonell betongoverdekking (2–5 cm overdekking). Ved bruk av lavtbyggende varmekabelgulv vil den elektromagnetiske strålingen bli målbar på grunn av redusert overdekking (0,5–1 cm), men vil uansett være minst ved bruk av 2-leder varmekabel.

### 3.2.3 Oppvarming av ventilasjonsluft

#### 3.2.3.1 Elektrisk ettervarmer

En elektrisk ettervarmer (varmebatteri) brukes til å ettervarme luften etter varmegjenvinneren i balanserte ventilasjonsanlegg for å oppnå ønsket innblåsningstemperatur (typisk 19–20°C). For større bygg benyttes et elektrisk ettervarmebatteri. Elektriske ettervarmere har termostatstyrt trinnregulering av ytelsen. Figur 3.9 viser et eksempel på ventilasjonsaggregat for boliger med varmegjenvinner og termostatstyrt elektrisk varmeelement for ettervarming av ventilasjonsluften.



Figur 3.9 Eksempel på ventilasjonsaggregat for boliger med varmegjenvinner og elektrisk ettervarmer.

### 3.2.4 Varmtvannsberedning

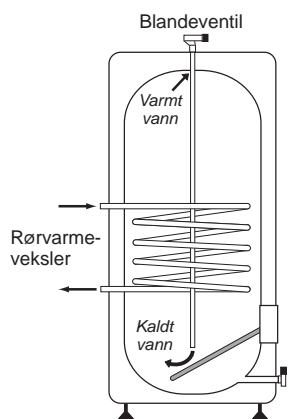
#### 3.2.4.1 Enkeltmantlet varmtvannstank med elektrisk(e) varmekolbe(r)

Enkeltmantlede varmtvannsberedere for boligformål benyttes kun til beredning av varmt forbruksvann. Tankene fåes i størrelser fra 40 til 300 liters vannvolum, og installert effekt for den *elektriske varmekolben* er typisk 1 til 3 kW. Det lages også såkalte ekspressberedere med én varmekolbe plassert øverst og én plassert nederst i tanken for større kapasitet og raskere oppvarming. Typisk installert effekt varierer fra 2+2 til 5+5 kW. For installasjoner i større bygninger, for eksempel boligblokker, benyttes én eller flere seriekoblede varmtvannstanker hvor hver enkelt tank har et vannvolum i størrelsesorden 250 til 1000 liter. Installert effekt for varmekolbene er opp mot 15 kW per tank, eventuelt 15+15 kW for ekspressberedere. Standard varmtvannstemperatur i tanker med elektriske varmeelementer er 75°C. Figur 3.10 viser en skisse av en enkeltmantlet varmtvannsbereder samt eksempler på kommersielle beredere.



Figur 3.10 Skisse av enkeltmantlet varmtvannsbereder samt eksempler på kommersielle beredere.

Det produseres også enkeltmantlede varmtvannsberedere med innebygd rørvarmeveksler (rørkveil). Rørvarmeveksleren, som plasseres inne i tanken, kobles til et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)) med for eksempel en el.kassett, gasskjel eller pelletskjel i varmesentralen. En *elektrisk varmekolbe* brukes til ettervarming av varmtvannet eller hvis varmesentralen er ute av drift. Figur 3.11 viser et prinsipielt eksempel på en enkeltmantlet varmtvannstank med innvendig rørvarmeveksler.



Figur 3.11 Prinsipielt eksempel på enkeltmantlet varmtvannstank med innvendig rørvarmeveksler og elektrisk varmekolbe for ettervarming og reservelast.

## 3.2.5 Romoppvarming og varmtvannsberedning

### 3.2.5.1 Dobbelmantlet varmtvannstank med elektriske varmekolber

En dobbeltmantlet varmtvannstank består av en indre primærtank for varmtvannsberedning, som er sveist sammen med en ytre sekundærtank som tilkobles et vannbårent varmedistribusjonssystem for romoppvarming (ref. [Kapittel 4](#)). I tillegg til muffen for tilkobling til varmedistribusjonssystemet, ekspansjonskar og sikkerhetsventiler, har den ytre tanken *elektriske varmekolber* for oppvarming av vannet. Vannet i den ytre tanken forvarmer også vannet i den indre varmtvannstanken ved at det overføres varme gjennom bunnen/sidene av tanken. Ettervarming av varmtvann gjøres med en elektrisk varmekolbe montert i toppen av varmtvannstanken. Volumet av den indre/ytre tanken kan for eksempel være 200/120 eller 300/120 liter. Figur 3.12 viser en prinsipiell skisse av en dobbeltmantlet varmtvannstank med elektriske varmekolber samt eksempler på kommersielle beredere til boligformål.



Figur 3.12 Prinsipiell skisse av dobbeltmantlet varmtvannsbereder med elektriske varmekolber i indre/ytre tank samt eksempler på kommersielle beredere.

### 3.2.5.2 Elektrokjel

Elektrokjeler kan deles inn i fire hovedtyper: el.kassett, elementkjel, elektrodekjel og induksjonskjel (trafokjel). Ettersom induksjonskjeler opererer med effekter over ca. 700 kW (Grønli et al., 1999), er det kun de tre førstnevnte typene som er aktuelle for romoppvarming og varmtvannsberedning i boligblokker og større boligkomplekser med felles vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)).

*El.kassetter og elementkjeler* varmer opp vannet ved at det ledes elektrisitet gjennom motstandselementer neddykket i vann. De bygger dermed på samme prinsipp som elektriske varmekolber i varmtvannsberedere, men på grunn av vesentlig lavere vannvolum i forhold til avgitt effekt fungerer de som gjennomstrømningsapparater. Begge kjeltypene har trinnvis regulering med inn-/utkobling av elementer. El.-kassetter fås med ytelse fra ca. 1 til 15 kW, mens elementkjeler ligger i effektområdet fra 2 til 6.000 kW (Grønli et al., 1999). Figur 3.13 viser eksempler på el.kassetter og en elementkjel.



Figur 3.13 Eksempler på el.kassetter (til venstre og midten) og elementkjel (til høyre).

En *elektrodekjel* består av elektroder som dykkes ned i vann tilsatt kjemikalier (salt). Saltet øker vannets ledningsevne og medvirker til at elektrisitet ledes mellom elektrodene når det settes på spenning, slik at en får varmeutvikling. Avgitt varmeeffekt for kjelen kalibreres ved å justere saltkonsentrasjonen for aktuell driftstemperatur som normalt ikke overstiger 60–65°C. Kjelsystemet bygges som en indirekte krets der det oppvarmede vannet avgir varme til et vannbårent varmedistribusjonssystem via en platevarmeveksler. Det finnes også systemer der kjelkrets og varmtvannstank er bygget som en integrert enhet. Mindre elektrodekjeler for boligformål har på/av-regulering, og finnes i effektområdet fra 5 til 15 kW. Figur 3.14 viser et elektrodekjelsystem bestående av en intern varmeproduserende krets med elektrodekjel (A), pumpe (B), ekspansjonskar (C) og varmeveksler (D) for tilkobling til vannbårent varmedistribusjonssystem.



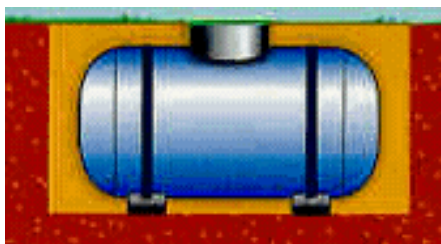
Figur 3.14 Eksempel på elektrodekjelsystem for oppvarming av boliger med vannbårent varmesystem.

### 3.3 OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ GASS

#### 3.3.1 Generelt om gass som energibærer

Gassfyrte systemer for romoppvarming i boliger omfatter gasskaminer, gassovner og gasspeiser, mens gasskjeler og gassbrennere kan brukes til kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning. Aktuelle gassformige brenslere i Norge er naturgass og propan.

- *Naturgass* – består av ca. 90% metan, og øvre brennverdi (UHV) og nedre brennverdi (LHV) er henholdsvis 15,4 og 13,9 kWh/kg. Dette tilsvarer 10,3 og 9,4 kWh/Sm<sup>3</sup> (Novakovic et al., 1998). Naturgass transporteres til brukerne via et nedgravd gassrørnett med maksimalt 4 bars driftstrykk. Fra hovedledningen legges stikkledninger inn til de enkelte boligene med avstengningsventil, trykkreduksjonsventil og gassmåler. Det er så langt bygd ut eller er under utbygging gassrørnett i Hauge-sund og Stavanger, men det kan også bli aktuelt med gassrørnett i andre norske byer.
- *Propan* – leveres på mindre mobile trykkbeholdere med inntil 11 kg kapasitet. Ved 20°C er lagringsstrykket ca. 8,8 bar, mens øvre og nedre brennverdi er henholdsvis 14,0 og 12,9 kWh/kg (Statoil, 2005). I boliger kan en uten spesiell tillatelse oppbevare 2 x 11 kg propan over bakkenivå og helst utendørs (DSB, 2005)<sup>2</sup>, noe som tilsvarer en øvre brennverdi på ca. 150 kWh. Ved større behov må en benytte en trykktank (16 bar) i epoxy-behandlet stål eventuelt med betongbelegg som graves ned i bakken i henhold til gjeldende forskrifter. Figur 3.15 viser en prinsipiell tegning av en nedgravd trykktank for propan (Shell, 2005).



Figur 3.15 Prinsipiell tegning av nedgravd trykktank for propan (Shell, 2005).

Noen gassleverandører markedsfører et system for propangass hvor leverandøren sørger for installasjon og vedlikehold av gasstanken, og hvor boligeieren enten betaler et depositum eller leier utstyret på årsbasis. I tillegg betales en årlig vedlikeholdskostnad. Hvis det senere blir lagt gassrørnett i området kan utstyret i boligen tilkobles dette, og det er ikke noe krav om fortsatt kjøp av propan (Shell, 2005).

På grunn av det relativt lave varmebehovet i lavenergiboliger er det aktuelt at flere boligeiere kan gå sammen og leie en felles gasstank for å senke kostnadene. Det er da behov for et eget distribusjonsnett samt et lite fordampningsanlegg som omdanner propan fra væskefase til gassfase. Dette er nødvendig ettersom fordampningen i tanken på grunn av varmetransport fra omgivelsene ikke gir tilstrekkelig gassdannelse til å dekke større gassforbruk. For å fordampe 1 kg propan trengs ca. 0,13 kWh (Statoil, 2005).

Ved fastinstallasjoner basert på forbrenning av propan eller naturgass er det forøvrig en rekke lover og forskrifter som må etterfølges, deriblant Forskrift om kjelanlegg (DSB, 2005), Forskrift og veiledning om behandling av brannfarlig vare (DSB, 2005), Veiledning om fyringsanlegg for flytende og gassforming brensel (DSB, 2005), Veiledning om LPG-anlegg (DSB, 2005), Vilkår for nedgravd propantank LPG (DSB, 2005), Forskrift og veiledning om trykkpåkjent utstyr (DSB, 2005), Forskrift om elektriske bygningsinstallasjoner (DSB, 2005) og Plan- og bygningsloven av 1997 (SBE, 2003). Det henvises ellers til (Prenøk, 2005) for en mer detaljert beskrivelse av blant annet regelverket for gassfyrte anlegg.

<sup>2</sup> Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB)

Gassfyrte oppvarmingssystemer for boliger kan klassifiseres som følger:

- Romoppvarming
  - Gasskaminer
  - Gassovner for veggmontasje
  - Gasspeiser
- Romoppvarming og varmtvannsberedning – vannbåren varmedistribusjon
  - Gassfyrte brennere/kjeler

### 3.3.2 Romoppvarming

#### 3.3.2.1 Gasskaminer

Gasskaminer er frittstående, flyttbare ovner (punktvarmekilde) som tradisjonelt er brukt i forbindelse med hytter og fritidsboliger, men som også kan benyttes som permanent romoppvarmingssystem i lavenergi-boliger. Kaminene bruker propan som brensel, og lagringsbeholderen med inntil 11 kg propan er plassert i selve kabinettet. Kaminene fås med maksimal varmeeffekt mellom 4 og 6 kW, og det er trinnvis regulering av ytelsen. Ovnene har katalytisk brenner som gir relativt lav forbrenningstemperatur, og forbrenningsproduktene, det vil si karbondioksid (CO<sub>2</sub>), vanndamp og eventuelt mikropartikler, slippes direkte ut i rommet. Ovnene er utstyrt med automatikk som stenger gasstilførselen hvis flammen slukker eller hvis CO<sub>2</sub>-nivået overstiger en gitt maksimumsverdi, typisk 15.000 ppm. Forbrenningsvirkningsgraden er tilnærmet 100%. Figur 3.16 viser et eksempel på utforming av en gasskamin.



Figur 3.16 Eksempel på gasskamin.

#### 3.3.2.2 Gassovner for veggmontasje

Gassovner er beregnet for veggmontasje, og tilkobles propantank eller gassrørnett. Ovnene fås i effektområdet fra ca. 2 til 6 kW, har trinnvis termostatstyring av ytelsen og kan programmeres med dag- og ukeprogram. Direkte ventilerte ovner med åpen flamme i et brennkammer monteres på yttervegg, og et dobbeltvegget rør for lufttilførsel og fjerning av avgasser føres rett gjennom veggen. Virkningsgraden for disse ovnene er typisk 95% (Karlsvik, 2005). Det finnes også ovner med katalytisk brenner (jfr. Gasskaminer), og som derfor ikke trenger avgassrør. Disse ovnene kan dermed plasseres på innervegg, og forbrenningsproduktene (CO<sub>2</sub>, vanndamp og eventuelt partikler) slippes direkte ut i rommet. Noen gassovner leveres også med vifte for distribusjon av varmluft. Gassovner er forøvrig utstyrt med automatikk som stenger gasstilførselen hvis flammen slukker. Figur 3.17 viser eksempler på gassovner for veggmontasje samt en prinsippskisse som viser en veggmontert gassovn med frisklufttilførsel og avgassrør.



Figur 3.17 Eksempler på veggmonterte gassovner samt prinsippskisse som viser virkemåten av en direkte ventilert gassovn montert på yttervegg (Balke og Flataker, 2002).

### 3.3.2.3 Gasspeiser

Gasspeiser tilkobles propantank eller gassrørnett, og leveres med en maksimal varmeeffekt fra ca. 5 til 10 kW. Gasspeisene har høyere virkningsgrad enn vedfyrte peiser, men lavere virkningsgrad enn gasskjeler ettersom forbrenningen ikke foregår kontrollert i et brennkammer og det heller ikke skjer en nedkjøling av røkgassen (ref. [Kapittel 3.3.3.1](#)). For direkteventilerte peiser fjernes røkgassene med avgassrør gjennom vegg eller tak, mens peiser med katalytisk brenner ikke trenger avgassrør og kan plasseres fritt i rommet (jfr. [Kapittel 3.3.2.1](#), *Gasskaminer*). Gasspeiser leveres med glassdør, termostatstyrt flamme-/viftestyring samt tidsur for programmering av dag-/ukeprogram. Peisene er utstyrt med automatikk som stenger gass-tilførselen hvis flammen slukker. Figur 3.18 viser et eksempel på en gasspeis.



Figur 3.18 Eksempel på gasspeis.

## 3.3.3 Romoppvarming og varmtvannsberedning

### 3.3.3.1 Gassfyrte kjeler

Gassfyrte kjeler er i prinsippet det samme som oljefyrte kjeler, men oljebrenneren er erstattet med en gassbrenner. Kjelene kobles til et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)), og dekker dermed boligens behov for romoppvarming og varmtvannsberedning.

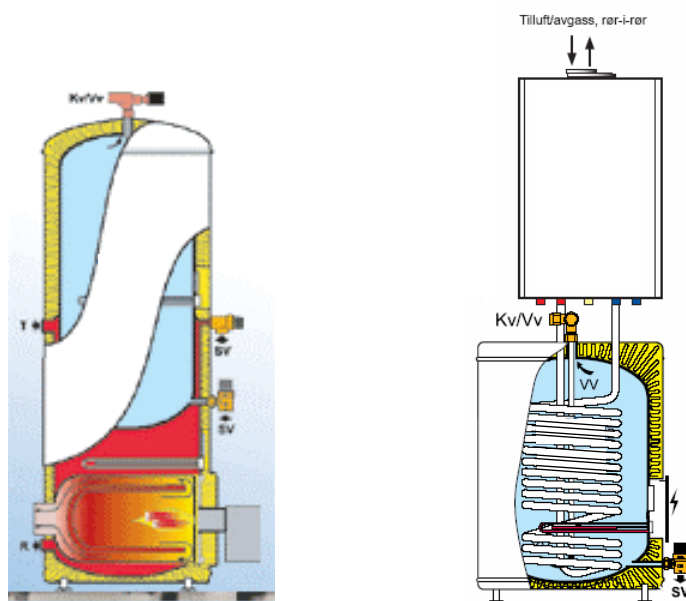
Gasskjeler for boliger er såkalte *røkrørskjeler*, og kjelene er normalt av *kondenserende type*. Det betyr at en i tillegg til varme fra selve forbrenningsprosessen også henter ut nyttig varme ved nedkjøling av røkgassen og utkondensering av vanddamp. En kondenserende gasskjel vil derfor oppnå noe høyere virkningsgrad enn en gasskjel hvor en ikke utnytter kondensasjonsvarmen i røkgassen. Fordi røkgassen kun inneholder meget små mengder svovel og nitrose oksider ( $\text{NO}_x$ ) vil det ikke oppstå problemer med korrosjon i røkrøret (avgassrøret) ved nedkjøling av røkgassen.

Ettersom det ikke stilles krav til minimumstemperatur på røykgassen for anlegg med kondenserende gasskjel, vil skorsteinsløsningen bli enklere enn for et oljefyrt kjelsystem. Skorsteinen kan utformes som et enkelt horisontalt dobbeltvegget rør som står både for lufttilførsel til gassbrenneren og utslipp av avgasser til uteluften. Ettersom det dannes kondens i avgassrøret, må røret være utstyrt med nødvendig drenering.

Gasskjeler leveres med *modulerende brennere* som gir gode reguleringssegenskaper og små tap. Tapene i en gasskjel består hovedsaklig av røkgasstep (2–10% av øvre brennverdi) og strålingstep (1–3%), og det er minimale tap knyttet til ufullstendig forbrenning og stillstand (Balke og Flataker, 2002). Typisk virkningsgrad for moderne kondenserende gasskjeler ligger i området 102–106% av nedre brennverdi (Gilli et al. 1999), noe som tilsvarer 94–98% av øvre brennverdi (UHV). Årsvirkningsgraden vil imidlertid kunne bli betydelig lavere. I Tyskland er det gjennomført feltmålinger på flere hundre kondenserende gasskjeler i boliger. *Midlere virkningsgrad (årsvirkningsgraden)* for kjelene i forsøksfeltene varierte fra 86 til 89% av øvre brennverdi, noe som tilsvarer 93–97% av nedre brennverdi (LHV) (Wolff et al., 2004).

Gassfyrte kjeler kan levere varme ved forholdsvis høye temperaturer, og kan derfor benyttes både til produksjon av varmt forbruksvann (>60°C) og romoppvarming med radiatorsystemer. For å oppnå høy effektivitet for kondenserende gasskjeler er det imidlertid viktig at røykgassen avkjøles mest mulig, det vil si at returtemperaturen i varmedistribusjonssystemet må være lavest mulig. I vannbårne anlegg med gassfyrte kjeler er det derfor gunstigst å benytte lavtemperatur gulv-/tak-/veggvarmesystemer eller viftekonvektorer til distribusjon av romvarme (ref. [Kapittel 4](#)).

Utformingen av gassfyrte kjelsentraler er avhengig av blant annet nødvendig ytelse for anlegget, det vil si størrelsen på boligbygget samt utformingen av varmedistribusjonssystemet (ref. [Kapittel 4](#)). Den enkleste varianten består av en gassbrenner som er integrert i en dobbeltmantlet varmtvannstank, og hvor den ytre tanken er tilkoblet varmedistribusjonssystemet. Gasskjelen kan også avgi varme til varmtvannsberedning via en rørvarmeveksler i en enkeltmantlet tank. Varmtvannstanken bør ha en elektrisk varmekolbe som brukes som reserve hvis gasskjel/-brenner er ute av drift samt ved sommerdrift når det ikke er noe romvarmebehov i boligen. Figur 3.19 viser eksempler integrert gassbrenner/-kjel og varmtvannstank.



Figur 3.19 Eksempler på integrert gassbrenner/-kjel og varmtvannstank (Oso Hotwater AS).

Figur 3.20 viser eksempler på mindre kondenserende gasskjeler, mens figur 3.21 viser en gasskjel for oppvarming av større bygninger, for eksempel boligblokker.





*Figur 3.20 Eksempler på mindre kondenserende gasskjeler.*



*Figur 3.21 Eksempel på gasskjel/-brenner for større bygninger.*

Gassfyrte kjelanlegg har enklere skorsteinsløsning enn oljefyrte anlegg, mens eventuell gasstank og fordamper samt røropplegg, reguleringsutstyr og sikkerhetsutstyr er mer komplisert enn lagrings- og forsyningsystemet for olje. Gass- og oljefyrte kjelanlegg for boligformål kommer imidlertid relativt likt ut med hensyn til investeringskostnader (Shell, 2005). Gassfyrte kjelanlegg trenger forøvrig mindre vedlikehold og har lengre levetid enn oljefyrte anlegg.

En gasskjel kan kombineres med et solfangersystem som typisk dekker 25–35% av boligens årlige varmebehov. Denne typen systemløsning er nærmere beskrevet i [Kapittel 3.5](#).

### 3.4 OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ BIOENERGI

#### 3.4.1 Generelt om bioenergi

Bioenergi (biobrensler) omfatter alle slags trebrensler slik som bark, flis, kvist, tynningsvirke, hel ved og foredledede utgaver av dette (briketter og trepellets) samt avfallsprodukter fra landbruket (husdyrgjødsel, halm). Aktuelle biobrensler for varmesystemer i boliger er hel ved, briketter og trepellets.

- *Ved* omfatter trevirke fra løvtrær (bjørk, or, eik osv.) og bartrær (gran, furu osv.). I henhold til Norsk Standard NS 4414, *Ved til brensel i husholdninger*, skal fuktinnholdet være under 20%. Brennverdien er ca. 4,3 kWh/kg ved 20% fuktighet.
- *Briketter* er tørket sagflis, kutterspon og annet treavfall som under høyt trykk er presset til stavformede kubber med en diameter i området 50–75 mm. Lengden på brikettene varierer fra noen få cm opp til rundt 30 cm, avhengig av råstoffets beskaffenhet og produksjonsprosessen. Typisk fuktinnhold er 5–20%. Briketter kan benyttes både i vedovner og større fyringsanlegg med vedkjeler.
- *Trepellets* er finmalt og tørket treavfall fra trebearbeidende industri, rent treavfall (rivningsvirke m.m.) og energitømmer som under høyt trykk er presset til små sylindriske enheter med en standard diameter på 6, 8 eller 12 mm. Fuktinnholdet er typisk 6–10%. På grunn av det lave fuktinnholdet tåler trepellets lagring godt, og de små dimensjonene gjør at trepellets får tilnærmet samme håndteringsegenskaper som fyringsolje, og kan fraktes med tankbiler tilpasset for eksempel dyrefor. Brennverdien for trepellets er ca. 4,8 kWh per kg pellets, og energiinnholdet per volumenhet (energitettheten) er i størrelsesorden 30 og 40% av henholdsvis fyringsolje og propan når en ikke tar hensyn til forbrenningsvirkningsgraden (Grønli et al., 1999). Det finnes i dag omlag 180 norske leverandører av trepellets, og det leveres både i sekk og i bulk (Nobio, 2005). I Norge er det fortsatt relativt stor kvalitetsforskjell på trepellets blant annet på grunn av liten omsetning.



Figur 3.22 Eksempel på briketter (venstre) og trepellets (Grønli et al., 1999).

Biobrenselfyrte oppvarmingssystemer for boliger kan klassifiseres som følger:

- Romoppvarming
  - Vedovner uten vannmantel
  - Pelletskaminer uten vannmantel
- Romoppvarming og varmtvannsberedning – vannbåren varmedistribusjon
  - Vedovner med vannmantel
  - Pelletskaminer med vannmantel
  - Vedkjeler
  - Pelletskjeler

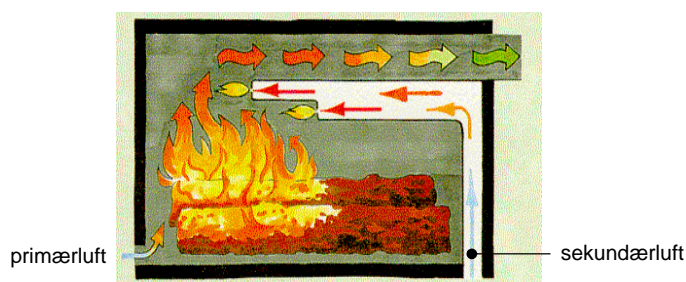
Vedovner og pelletskaminer med vannmantel, vedkjeler og pelletskjeler kan kombineres med andre varme-produserende enheter, for eksempel solvarmeanlegg. Denne typen løsning er nærmere beskrevet i [Kapittel 3.5, Oppvarmingssystemer basert på solvarme](#).

I motsetning til for eksempel elektriske oppvarmingssystemer, gassfyrte systemer og varmepumper, krever biobrenselfyrte anlegg noe egeninnsats fra boligeieren(e)/vaktmesteren, da det blant annet er behov for jevnlig etterfylling av brensel (ved, pellets) og eventuelt fjerning av aske fra ovnen/kjelen.

### 3.4.2 Romoppvarming

#### 3.4.2.1 Vedovner

I 1998 ble det innført påbud om at alle lukkede ildsteder som selges i Norge skal tilfredsstillere strenge krav til svevestøvutslipp (Haakonsen og Kvingedal, 2001). Dagens vedovner er derfor av såkalt *rentbrennende type*. Ovnene er utstyrt med såkalt dobbelt hvelv hvor veden brenner ved høy temperatur i et primærbrennkammer. I sekundærbrennkammeret over vedinnlegget tilføres de uforbrente avgassene forvarmet sekundærluft slik at en oppnår fullstendig forbrenning og dermed små utslipp av blant annet svevestøv og uforbrente gasser. Figur 3.23 viser prinsippet for en rentbrennende ovn med dobbelt hvelv for utbrenning av røykgassen (Grønli et al., 1999), mens figur 3.24 viser et eksempel på en moderne vedovn.



Figur 3.23 Illustrasjon av prinsippet for rentbrennende ovn med dobbelt hvelv (Grønli et al., 1999).



Figur 3.24 Eksempel på moderne rentbrennende vedovn.

Rentbrennende vedovner fås med varmeytelse fra ca. 3 kW og oppover. Vedovner med *konvensjonell utforming* avgir det meste av varmen som termisk strålevarme på grunn av den relativt høye overflate-temperaturen. Det finnes også såkalte *konveksjonsovner* med doble vegger hvor luften sirkulerer og blir varmet opp i mellomrommet mellom veggene. For denne typen ovner vil den ytre kappen være relativt kald. Noen støpejernsovner leveres også med såkalt *vannmantel* med mulighet for tilknytning til vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)). Slike løsninger kan også kombineres med en solfanger. Dette er nærmere beskrevet i [Kapittel 3.5](#).

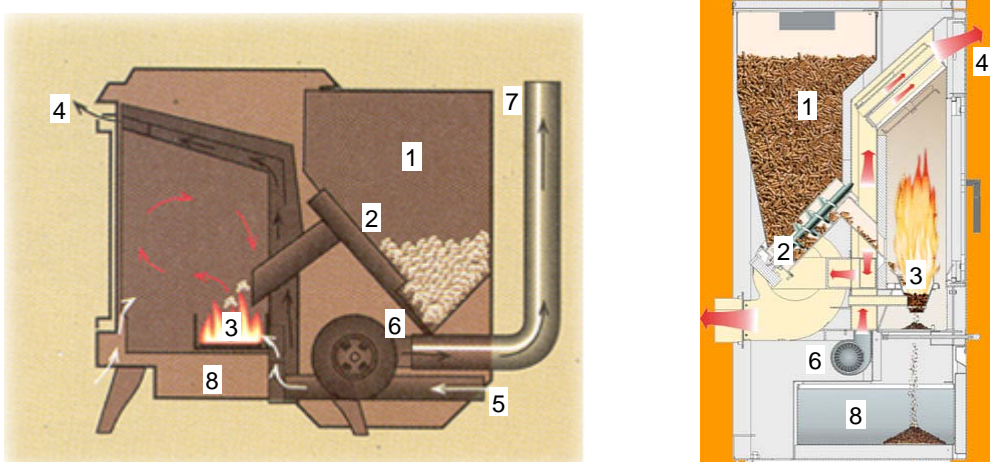
En god vedovn kan oppnå en virkningsgrad omkring 80%, selv når den går på lav last (Karlsvik, 2005). For å oppnå effektiv forbrenning er det viktig å fyre med riktig lufttilførsel (trekk). Hvis trekken er for liten blir ikke forbrenningstemperaturen høy nok til å oppnå en effektiv forbrenning. Er trekken for kraftig får ikke de brennbare gassene som frigjøres fra veden tilstrekkelig oppholdstid til å brenne ut.

### 3.4.2.2 Pelletskaminer uten vannmantel

En pelletskamin er konstruert som et komplett forbrenningsanlegg med integrert lagertank for pellets, automatisk innmating og styrt forbrenning. I tillegg kommer tilkobling til skorstein (røkrør) av godkjent type. Pellets blir matet inn i brennkammeret med en skrue e.l. til brennkammeret fra et 30–50 liters pellets-lager, som på de fleste kaminene er plassert bak på ovnen. Lagervolumet tilsvarer en brennverdi på 85–140 kWh hvis en antar en forbrenningsvirkningsgrad på 90%. Brenselinnmating og lufttilførsel via en innebygd turtallsregulert vifte reguleres automatisk ut fra ønsket romtemperatur (termostatstyrt), og et elektrisk glødeelement brukes til tenning. Utvendige dimensjoner og utforming for pelletskaminer kan sammenliknes med tradisjonelle vedovner, men de gir bedre betjeningskomfort og bedre forbrenning. I stedet for å mate inn ved manuelt hver gang ovnen er utbrent, fyller en opp lagertanken regelmessig avhengig av varmebehovet i boligen. Automatisk regulering av forbrenningsluften gir en mer optimal forbrenning enn manuell regulering av trekk som benyttes i tradisjonelle vedovner.

Pelletskaminer finnes i to hovedtyper, med eller uten vannmantel. *Kaminer uten vannmantel* kan kun benyttes til romoppvarming, mens *kaminer med vannmantel* (ref. [Kapittel 3.4.3.2](#)) benyttes både til romoppvarming og varmtvannsberedning. Pelletskaminer uten vannmantel har doble vegger hvor luften sirkulerer og blir varmet opp i mellomrommet mellom veggene. Det fører til at det meste av varmen fra kaminen overføres som konveksjonsvarme til luften som strømmer gjennom ovnen, og ikke som termisk strålingsvarme ettersom overflatetemperaturen på ovnen er relativt lav. For konvensjonelle ovner, hvor varmeoverføringen skjer ved stråling, er overflatetemperaturen langt høyere.

Figur 3.25 viser prinsipielle eksempler på oppbygging av en pelletskamin uten vannmantel (Lycksele Energi, 2005): 1) Pelletslager, 2) Mateskrue, 3) Brennkammer, 4) Oppvarmet luft, 5) Luftinntak, 6) Turtallsregulert vifte, 7) Skorstein, 8) Askeskuffe, mens Figur 3.26 viser eksempler på pelletskaminer.



Figur 3.25 Prinsipiell oppbygging av en pelletskamin (Lycksele Energi; Calimax 2005).

Pelletskaminer fåes med 1,5–10 kW avgitt varmeeffekt, og ytelsen reguleres trinnløst eller i trinn ved hjelp av en romtermostat. De kan i tillegg utstyres med tidsur for nattsenkning og ukeprogram. Målt virkningsgrad for de mest solgte kaminene ligger i området 85–92% avhengig av belastning og type ovn, mens målt støynivå er typisk 45–50 dBA (Råd&Røn, 2004). Gjennomsnittlig støynivå for de testede kaminene ligger dermed ca. 5 dBA lavere enn målt støynivå for inne-enheten i luft/luft-varmepumper (jfr. [Kapittel 3.6.1](#)).



Figur 3.26 Eksempler på pelletskaminer uten vannmantel.

### 3.4.3 Romoppvarming og varmtvannsberedning

#### 3.4.3.1 Vedkjeler

Vedkjeler tilkobles et vannbårent varmedistribusjonssystem med akkumuleringstank (ref. [Kapittel 4](#)), og dekker boligens årlige behov for romoppvarming og varmtvannsberedning. En vedkjel må plasseres i eget fyrrom og tilkobles skorstein. Vedkjeler er enklere å regulere enn vanlige vedovner ettersom kjelene er utstyrt med en turtallsregulert vifte som styrer tilførselen av forbrenningsluft. Denne typen kjeler kan ikke utstyres med eksternt brenselager, og brenselinnmating må derfor på samme måte som for vedovner skje manuelt. Dette gjør at vedkjeler har dårligere brukervennlighet enn olje-, gass- og pelletsfyrte kjelanlegg.

Vedkjeler leveres i effektområdet 15–50 kW, og forbrenningsvirkningsgraden er typisk 70–80%. Figur 3.27 viser eksempler på digitalt styrte vedkjeler med såkalt underforbrenning og styrt tilførsel av forbrenningsluften.



Figur 3.27 Eksempel på moderne vedkjeler med underforbrenning og vifteregulering.

#### 3.4.3.2 Pelletskaminer med vannmantel

Som et alternativ til konvensjonelle pelletskjeler som må plasseres i eget fyrrom, kan en benytte en pellets-kamin med vannmantel og integrert vannvarmeveksler. Kaminen har et indre vannvolum, som kobles til et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)) med felles akkumulatortank for romoppvarming og varmtvannsberedning. Kaminene leveres ofte komplett med sirkulasjonspumpe, shuntgruppe som øker returvannstemperaturen samt ekspansjonssystem med sikkerhetsventil. Omlag 80% av varmen fra ovnen avgis til det vannbårne systemet, mens 20% avgis til luften i rommet der kaminen er plassert.

Pelletskaminer med vannmantel benytter en ekstern temperturføler i akkumulatortanken som kommuniserer med kaminens styringssystem. Kaminen leverer varme så lenge det er behov for vannoppvarming, og slås deretter av. Det vil si at kaminen ikke leverer direktevarme på oppstillingsstedet når vanntemperaturen i akkumulatortanken har nådd ønsket nivå. Figur 3.28 viser en snittegning av en pelletskamin for tilkobling til vannbårent varmedistribusjonssystem samt et eksempel på utforming av ovn.



Figur 3.28 Snittegning av pelletskamin med vannmantel for tilkobling til vannbårent varmedistribusjonssystem samt eksempel på moderne pelletskamin.

Målt forbrenningsvirkningsgrad for de mest solgte pelletskaminene ligger i området 85–92%, mens målt støynivå varierer fra 45–50 dBA (Råd&Røn, 2004). Det henvises til [Kapittel 3.4.2.2, Pelletskaminer uten vannmantel](#) for ytterligere informasjon om pelletskaminer til oppvarming i boliger.

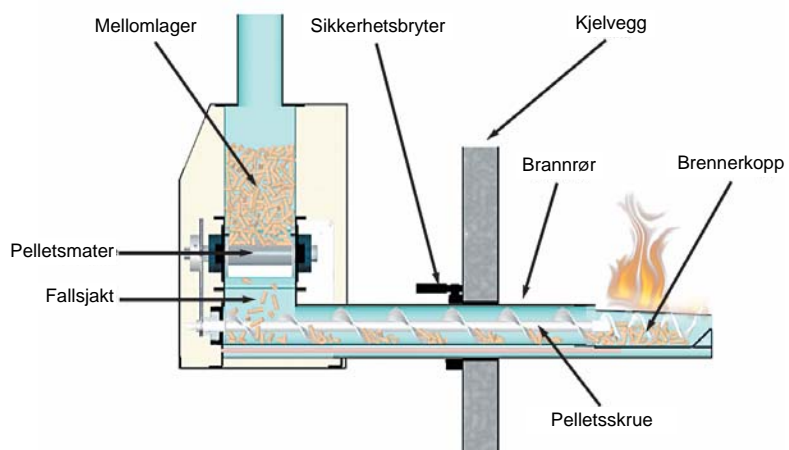
### 3.4.3.3 Pelletskjeler

Pelletsfyrte kjeler er i prinsippet det samme som olje- og gassfyrte kjeler, men olje-/gassbrenneren er erstattet med en pelletsbrenner. Kjelene plasseres i eget fyrrom og tilkobles skorstein. Ettersom anleggene er tilkoblet et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)) kan de dekke hele boligens behov for romoppvarming og varmtvannsberedning. Anleggene har helautomatisk styring av brenselstilgang og luftmengde slik at ønsket vanntemperatur ut av kjelen opprettholdes under alle driftsforhold.

Ettersom energitettheten for trepellets er ca. tre ganger lavere enn for olje, kreves det forholdsvis stort lagringsvolum. For en lavenergibolig med et totalt årlig varmebehov på 10.000 kWh kreves det ca. 2,9 kubikkmeter (m<sup>3</sup>) trepellets. Pelletslageret kan enten plasseres innendørs og etterfylles et par ganger i fyringssesongen, eller plasseres utendørs og romme et helt års forbruk. Tilførselen av pellets til brennekammeret skjer med skrue- eller luftmating. Figur 3.29 viser et eksempel på utforming av tilførselssystem for pellets samt en pelletskjel med pelletssilo og mateskrue med såkalt fallsjakt.

Mindre pelletskjeler i effektklassen 10–15 kW skiller seg designmessig relativt mye fra konvensjonelle olje- og vedkjeler. Figur 3.30 viser eksempler på pelletskjeler samt en pelletsbrenner.

Pelletskjeler leveres i effektområdet 10–80 kW, og ytelsen reguleres i trinn eller trinnløst. En del kjeler har automatisk rengjøring av brenner, avsoting av konveksjonsflater samt fjerning/utraking av aske. Målt virkningsgrad ved maksimal og halv ytelse for de mest solgte pelletskjelene ligger henholdsvis i området 89–95% og 81–92%. Dette gir en beregnet årsvirkningsgrad for kjelene på 81–89%, og er tilnærmet det samme som for pelletskaminer (Råd&Rön, 2005).



Figur 3.29 Eksempel på tilførselssystem for pellets samt en pelletsjel med pelletssilo og mateskrue.



Figur 3.30 Eksempler på pelletsjeler i effektområdet 12–15 kW samt pelletsbrenner (høyre).

### 3.5 OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ SOLVARME

#### 3.5.1 Generelt om solenergi

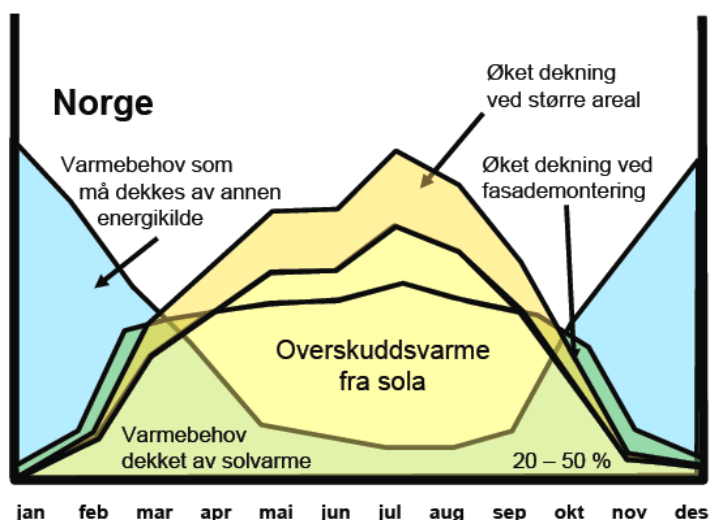
Det er prinsipielt tre ulike måter å utnytte solenergi til oppvarming av lavenergiboliger og passivhus:

- *Passiv solvarme* – omfatter varme som tilføres boligen ved solinnstråling gjennom vindusflatene. Utnyttelse av passiv solvarme er i stor grad knyttet til plassering og utforming av boligen, og solrik orientering av vinduer samt bruk av soleksponerte termiske masser som betongdekker og skillevegger vil medvirke til en betydelig reduksjon i boligens årlige romvarmebehov. Det er i den sammenheng viktig med god solavskjerming samt tilstrekkelige luften-/kjølemuligheter for å unngå overtemperatur i boligen og utilfredsstillende termisk komfort i deler av året.
- *Aktiv solvarme* – et aktivt solvarmeanlegg består av en solfanger, et varmelager og et varmedistribusjonssystem basert på væske eller luft. Solstrålingen blir absorbert i solfangeren hvor væske eller luft varmes opp og transporteres via varmelageret og varmedistribusjonssystemet til brukerstedet.
- *Solceller* – omdanner sollys til elektrisk energi, som blant annet kan benyttes i elektriske oppvarmingssystemer (panelovner, varmekolber i varmtvannsberedere osv.) og varmpumper

I dette kapittelet er det kun sett på *aktive solvarmesystemer* ettersom denne rapporten presenterer aktive oppvarmingssystemer for lavenergiboliger og passivhus.

Solfangere kan integreres i bygningens tak eller fasade, eller være en frittstående enhet. Et aktivt solvarmesystem med solfangere vil i Sør- og Øst-Norge typisk kunne dekke 25–35% av det årlige varmebehovet i en bolig (Oslo-klima), og en solfanger vil typisk kunne levere ca. 300–500 kWh per m<sup>2</sup> per år. Det betyr at for en lavenergibolig med et årlig energibehov til romoppvarming og varmtvannsberedning på 10.000 kWh, er det nødvendig med ca. 6–10 m<sup>2</sup> solfangerflate (Solarnor, 2005).

Figur 3.31 illustrerer hvordan dekningsgraden for solfangeranlegg i Norge (Oslo-klima) typisk varierer med solfangerareal og type montering (Ullnæss, 2003). Om vinteren dekker solfangeranlegget en relativt liten andel av nødvendig varmebehov på grunn av moderat solinnstråling, mens anlegget sommerstid har stor overkapasitet. Om sommeren vil anlegget kunne dekke store deler av varmtvannsbehovet i en lavenergibolig. Vår og høst er det bedre balanse mellom tilgjengelig solvarme og varmebehov. Fasademontering av solfangeren gir forøvrig større årlig varmeproduksjon enn takmontering ettersom en i større grad kan utnytte energien fra den lave vintersolen.



Figur 3.31 Illustrasjon av dekningsgraden for et aktivt solvarmesystem for drift i Norge (Ullnæss, 2003).

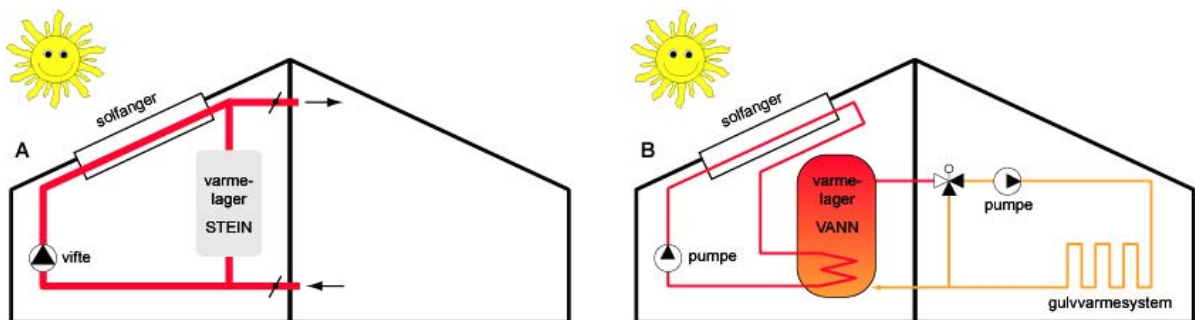


### 3.5.2 Oppbygging og systemtyper

Aktive solfangersystemer består av tre hoveddeler; solfanger, distribusjonssystem og varmelager.

- **Solfanger** – absorberer og omformer kortbølget solstråling til varme for oppvarming av strømmende luft eller en sirkulerende væske, for eksempel vann eller en vann/frostvæske-blanding. Det er utviklet mange typer solfangere, f.eks. vakuummør-solfangere, parabol-solfangere, traufornede solfangere og plane solfangere. Det er plane solfangere som er den vanligste, og som er mest aktuell for bruk i lavenergiboliger (Grønli et al., 1999). Plane solfangere er nærmere beskrevet i [Kapittel 3.5.3](#).
- **Distribusjonssystem** – distribuerer oppvarmet luft eller væske via varmelageret til forbruksstedene ved hjelp av henholdsvis et kanalnett med vifte eller et rørnett med pumpe. *Luftbaserte systemer* kan integreres med ventilasjonssystemet for forvarming av ventilasjonsluft, eller brukes til romoppvarming via kanalsystemer i gulv eller vegger. *Væskebaserte systemer* benyttes til oppvarming av forbruksvann og/eller til romoppvarming via et vannbårent varmedistribusjonssystem med radiatorer, viftekonvektorer eller gulv-/tak-/veggvarmesystem (ref. [Kapittel 4](#)).
- **Varmelager** – akkumulerer varmeenergi på times-/døgn-/ukesbasis, slik at solvarmesystemet kan levere varme selv når det ikke er solinnstråling, for eksempel om natten og når det er overskyet. I varmelagre for *luftbaserte systemer* er det mest vanlig å benytte et stort antall steiner av noenlunde samme størrelse som varmelagringsmedium. Ulempen med steinlagre er at de blir fem ganger så store som vannlagre. Bygningskonstruksjonen kan også benyttes som varmelager ved å la den oppvarmede luften ledes gjennom kanaler i betonggulv. I *væskebaserte systemer* benyttes en lagertank i rustfritt stål, aluminium, betong eller plast, og tankene utformes for *størst mulig temperatursjiktning*, det vil si størst mulig temperaturforskjell mellom vannet i toppen og bunnen av tanken.

Figur 3.32 viser prinsipiell oppbygging av et luftbasert (A) og et væskebasert (B) solvarmesystem med plane solfangere. For enkelhets skyld er solfangersystemet vist som eneste varmekilde.



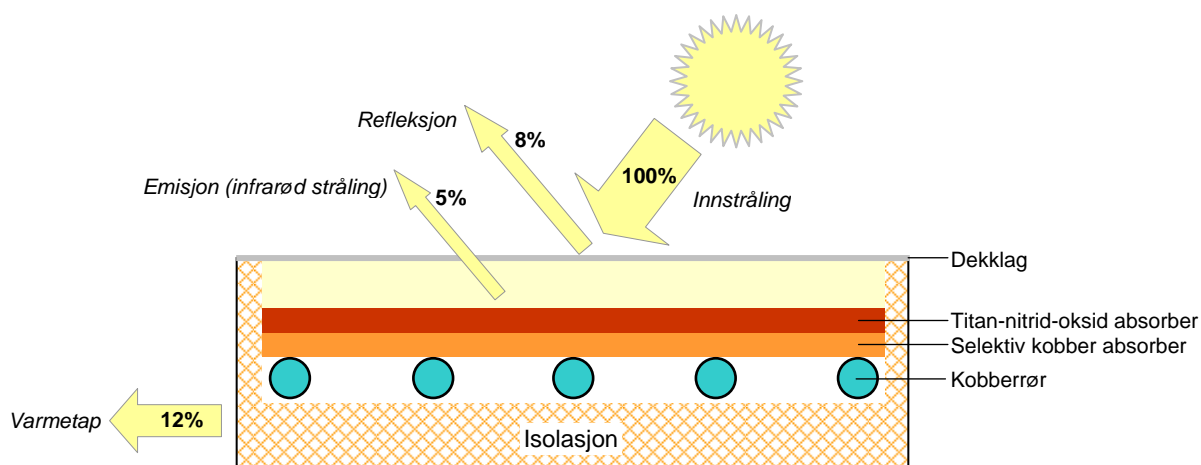
Figur 3.32 Prinsippet for luftbaserte (A) og væskebaserte (B) solvarmesystemer.

Ettersom et aktivt solvarmesystem kun kan dekke en begrenset andel av årlig varmebehov i en norsk bolig, er det behov for en *tilleggsvarmekilde*. Det er i den sammenheng først og fremst væskebaserte solvarmesystemer som det er aktuelt å bruke i lavenergiboliger. Det skyldes at tilleggsvarmekilden enkelt kan tilkobles systemet samt at anleggene kan levere varme til både romoppvarming og varmtvannsberedning. Aktuelle tilleggsvarmesystemer er elektrisk varmekolbe/el.kassett, pelletskamin med vannmantel, pelletskjel, gasskjel eller varmepumpe. I [Kapittel 3.5.4](#) er det vist eksempler på systemløsninger med aktive solvarmeanlegg i kombinasjon med pelletskjel og gasskjel, mens det i [Kapittel 3.6.3.3](#) er vist eksempler på såkalte kompaktaggregater for kombinert frisklufttilførsel (balansert ventilasjon), romoppvarming og varmtvannsberedning. Hovedkomponentene i denne typen integrerte systemer er en høyeffektiv luft/luft-varmeveksler (varmegjenvinner), tillufts-/avtrekksvifter, avtrekksluft-varmepumpe, solfanger, varmtvannstank og elektriske varmekolber for spisslastdekning.

### 3.5.3 Plane solfangere

Plane solfangere består av tre hoveddeler; absorbatoren, dekklag, og isolasjon. *Absorbatoren*, som omformer den kortbølgede solinnstrålingen til varme, er ofte en tynn metallplate som er farget sort eller har en selektiv overflate. En selektiv flate absorberer typisk 98% av det synlige lyset på samme måte som en sortmalt flate, men den emitterer mye mindre infrarød stråling. Dermed reduseres varmetapet og en oppnår en mer effektiv solfanger. Et gjennomskinnelig *dekklag* av glass eller plast blir ofte benyttet for å øke solfangerens effektivitet. Dekkplaten har en isolerende effekt ettersom den slipper gjennom den kortbølgede solstrålingen, den hindrer den langbølgede varmestrålingen fra å slippe ut samtidig som den beskytter absorbatoren fra å bli nedkjølt av vind. Varmetapet kan reduseres ytterligere ved å bruke et dekklag med lavemitterende belegg eller transparente isolasjonsmaterialer. Tiltak som reduserer varmetapet fra solfangeren fører imidlertid til en reduksjon av transmisjonsegenskapene til dekklaget, og det blir derfor et avveinings spørsmål hva som er den optimale kombinasjonen i hvert enkelt tilfelle (Grønli et al., 1999).

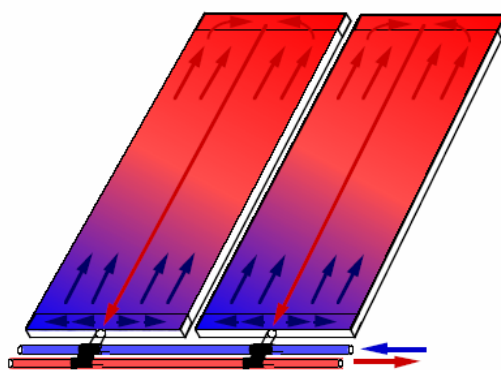
*Virkningsgraden for en plan solfanger ( $\eta$ )* er definert som forholdet mellom utnyttbar varmeproduksjon fra solfangeren og den mengde solstråling som treffer solfangeren. Virkningsgraden er først og fremst bestemt av innstrålt effekt, solfangerens refleksjonstap (optisk tap), emisjonstap og varmetap. Figur 3.33 viser prinsippet for en høyeffektiv plan solfanger hvor vann sirkulerer i kobberør. I eksempelet er solfangerens virkningsgrad eller varmeutbytte 75% (Stiebel Eltron, 2005).



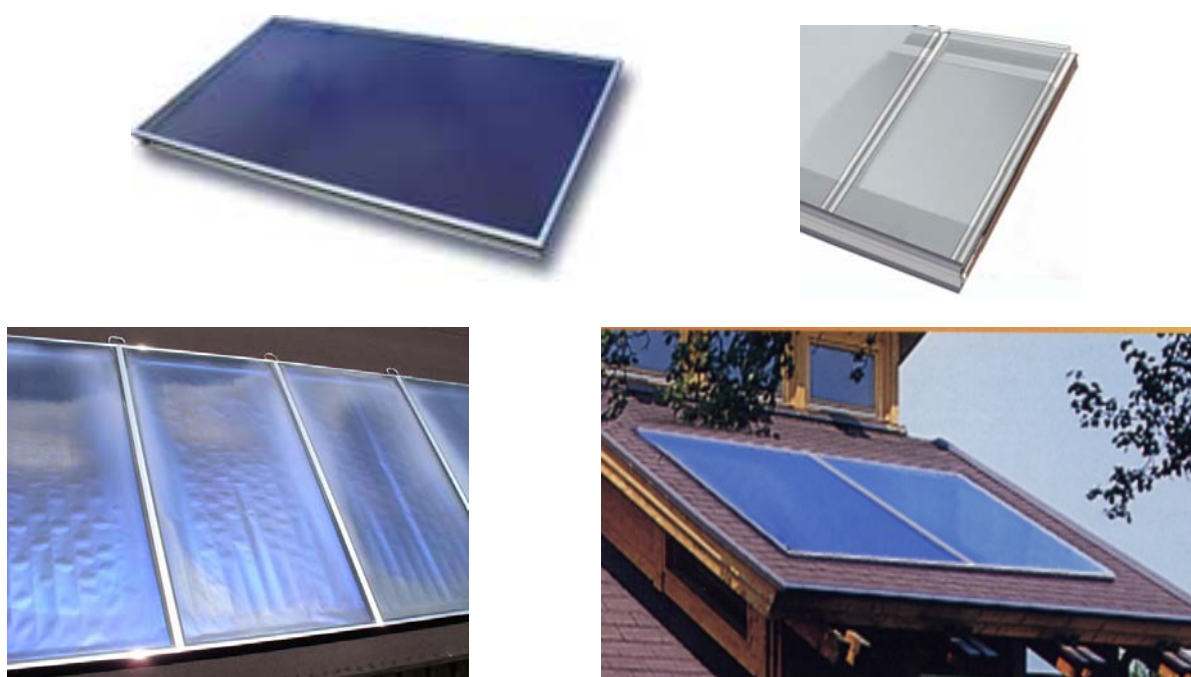
Figur 3.33 Prinsipiell skisse av en høyeffektiv plan solfanger med 75% virkningsgrad (varmeutbytte). Temperaturforskjellen mellom vannet i kobberørene og uteluften er 20°C, og innstrålt effekt er 700 W (Stiebel Eltron, 2005).

Virkningsgraden for plane solfangere avtar relativt lineært med økende temperaturforskjell mellom varme-transportmediet og uteluften, og maksimal virkningsgrad oppnås når de to mediene har samme temperatur. Eksempel – Ved en innstålt effekt på 700 W/m<sup>2</sup> vil virkningsgraden for en høyeffektiv solfanger typisk reduseres fra ca. 80 til 50% ved 55°C temperaturdifferanse. Hvis innstrålt effekt reduseres til 300 W/m<sup>2</sup> vil virkningsgraden reduseres til 50% allerede ved 25°C temperaturdifferanse (Stiebel Eltron, 2005). Dette viser klart at denne typen solfangere bør levere varme til *lavtemperatur varmedistribusjonssystemer*, som for eksempel gulv-/tak-/veggvarme, for å minimalisere varmetapet og oppnå høyest mulig virkningsgrad.

Figur 3.34 viser et prinsipielt eksempel på virkemåten for en plan solfanger (Solarnor, 2005). Kaldt vann tilføres i bunnen av solfangeren fra en fordelingsstokk, strømmer under absorberflaten og varmes opp før det returneres i en egen kanal i senter av solfangeren og ned til samlestokken. Andre konfigurasjoner på vannsiden er også mulig. Solfangerene er forøvrig parallellkoblet slik at de arbeider med lavest mulig absorbertemperatur. Figur 3.35 viser eksempler på plane solfangere fra ulike produsenter.



Figur 3.34 Prinsipielt eksempel på utforming av solfangersystem for vannoppvarming (Solarnor, 2005)

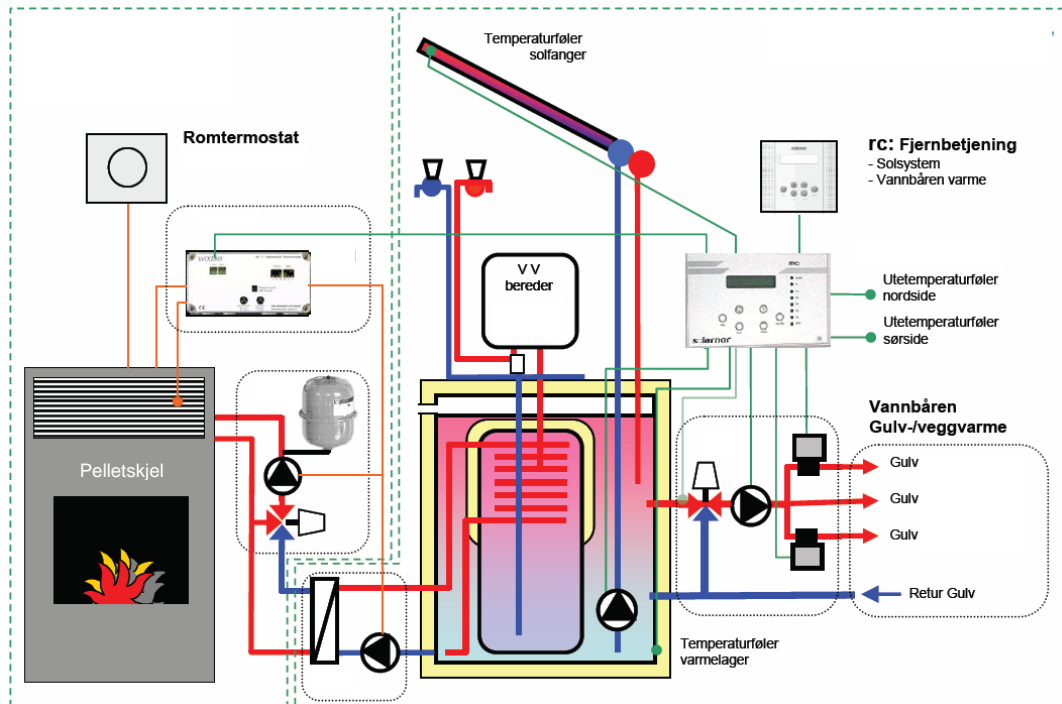


Figur 3.35 Eksempler på plane solfangere for bruk i boliger.

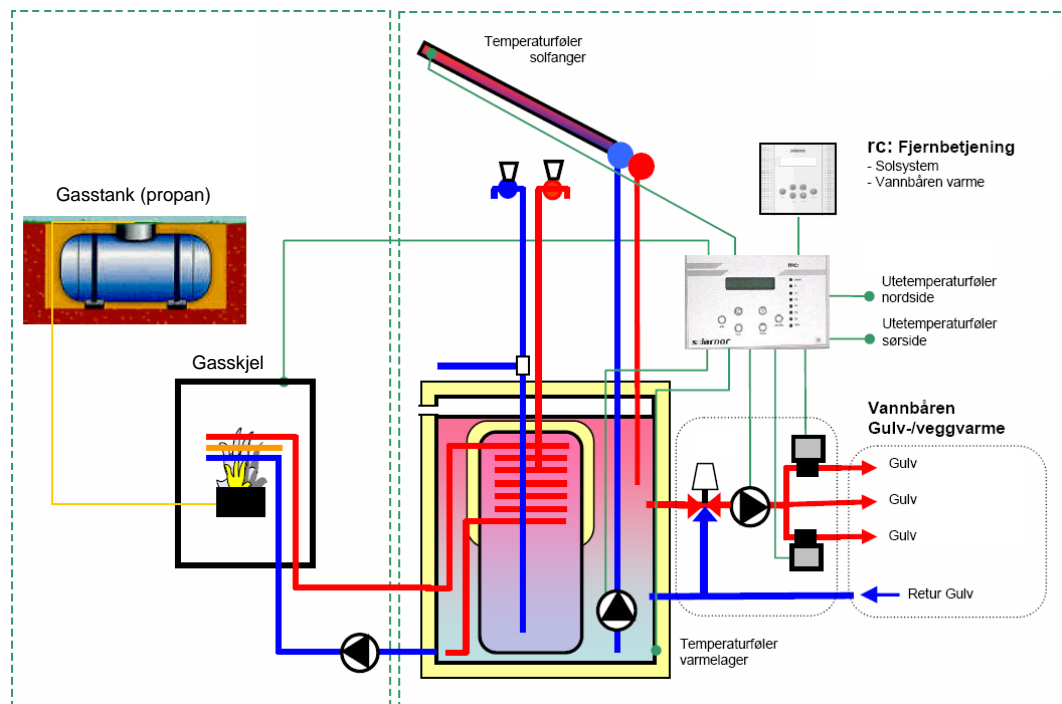
### 3.5.4 Systemoppbygging – væskebaserte systemer

Væskebaserte solfangersystemer kan brukes til oppvarming av forbruksvann og/eller romoppvarming via et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)). På nordlige breddegrader kombineres solfangersystemer alltid med en *tilleggsvarmekilde* som dekker 65–75% av det årlige varmebehovet.

Figur 3.36 viser et prinsipielt eksempel på et kombinert oppvarmingssystem bestående av en solfanger og en pelletskjel, hvor oppvarmingsenhetene er koblet til et felles varmelager (akkumulatortank). Det ytre vannvolumet i akkumulatortanken er tilkoblet et vannbårent varmedistribusjonssystem (gulvvarme), mens den indre tanken utgjør selve varmtvannsbeholderen. Figur 3.37 viser et prinsipielt eksempel på et kombinasjonssystem hvor pelletskjelen er erstattet med en gasskjel. Det er også mulig å benytte en pelletskamin eller vedovn med vannmantel som tilleggsvarme. De viste systemene er utstyrt med et regulerings-system som blant annet regulerer vannsirkulasjonen i solfangeren og tilført effekt fra pelletskjelen for optimal lading av akkumulatortanken. Turvannstemperaturen i gulvvarmesystemet er forøvrig ute-temperatur-kompensert, dvs. at vanntemperaturen reduseres gradvis ved økende utelufttemperatur.



Figur 3.36 Prinsipielt eksempel på kombinert oppvarmingssystem med pelletskjel og solfanger tilkoblet vannbårent varmedistribusjonssystem (Solarnor, 2005).



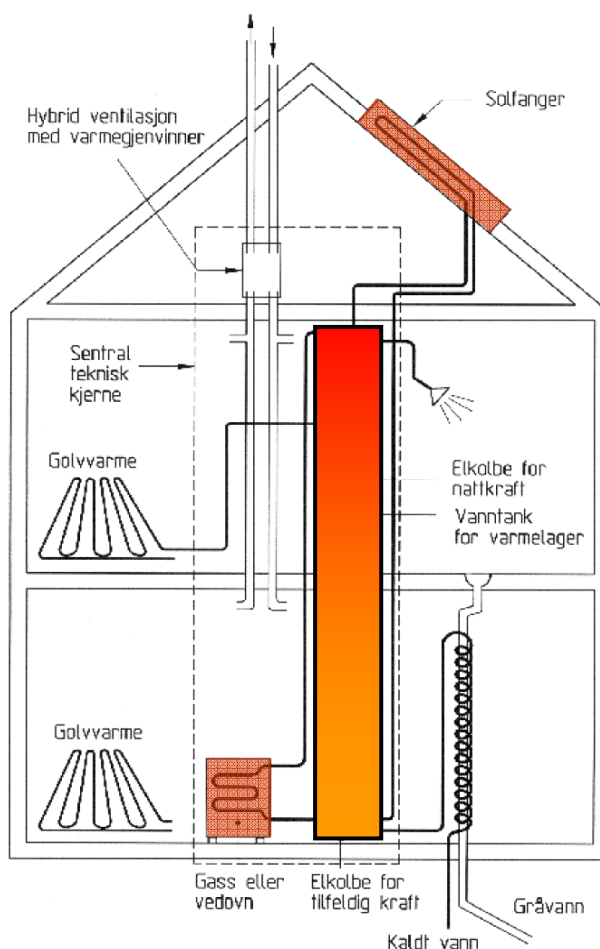
Figur 3.37 Prinsipielt eksempel på kombinert oppvarmingssystem med gasskjel og solfanger tilkoblet vannbårent varmedistribusjonssystem (Solarnor, 2005).

Figur 3.38 viser eksempel på hovedkomponentene i et solvarmesystem med akkumulatortank, solfanger og rentbrennende vedovn med vannmantel som tilleggsvarmekilde.



Figur 3.38 Eksempel på spesialutformet akkumulatortank for tilkobling til solfangersystem og pelletskamin, vedovn med vannmantel eller pelletskjel.

Figur 3.39 viser prinsipiell utforming av et solvarmebasert oppvarmingssystem for en lavenergibolig. Den store akkumulatortanken, som er plassert sentralt i boligen, er tilkoblet et vannbårent gulvvarmesystem. Øverst i tanken er det plassert en varmeveksler for oppvarming av tappevann. Varmen leveres fra en solfanger samt en gass- eller vedovn, eventuelt en elektrisk varmekolbe (Gundersen, 1999).



Figur 3.39 Prinsipielt eksempel på oppvarmingssystem for lavenergibolig med solfanger, tilleggsvarmekilder, akkumuleringstank og vannbårent varmedistribusjonssystem (Gundersen, 1999).

### 3.6 OPPVARMINGSSYSTEMER BASERT PÅ VARMEPUMPE

Varmepumpesystemer for ulike typer boligbygg kan klassifiseres som vist i Tabell 3.1:

Tabell 3.1 Klassifisering av varmepumpesystemer for boligbygg.

Type varmepumpe	Varmekilde, varmebehov og varmedistribusjon
Luft/luft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Uteluft</li> <li>• Varmebehov – Romoppvarming med én eller flere inne-enheter (luftkjølt kondensator, vifte og filter) samt klimakjøling</li> </ul>
Luft/vann	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Uteluft</li> <li>• Varmebehov – Varmtvannsberedning samt romoppvarming med vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. <a href="#">Kapittel 4</a>)</li> </ul>
Ventilasjonsluft/luft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Ventilasjonsluft (avtrekksluft)</li> <li>• Oppvarming av tilluft i balansert ventilasjonsanlegg</li> </ul>
Ventilasjonsluft/vann	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Ventilasjonsluft (avtrekksluft)</li> <li>• Varmebehov – Varmtvannsberedning og romoppvarming med vannbårent varmedistribusjonssystem</li> </ul>
Ventilasjonsluft/vann-luft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Ventilasjonsluft (avtrekksluft) + eventuelt uteluft</li> <li>• Varmebehov – Varmtvannsberedning, ettervarming av ventilasjonsluft (eventuelt overtemperering av tilluft for romoppvarming) og romoppvarming med vannbårent varmedistribusjonssystem</li> </ul>
Vann/vann	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Oppumpet grunnvann (direkte anlegg)</li> <li>• Varmebehov – Varmtvannsberedning samt romoppvarming med vannbårent varmedistribusjonssystem</li> </ul>
Væske/luft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Jord, grunnvarme (fjell), sjøvann (indirekte anlegg)</li> <li>• Varmebehov – Varmtvannsberedning og romoppvarming med én eller flere inne-enheter (luftkjølt kondensator, vifte og filter) samt eventuelt klimakjøling ved tilkobling av viftekondensator til kollektorsystemet</li> </ul>
Væske/vann	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmekilde – Jord, grunnvarme (fjell), sjøvann (indirekte anlegg)</li> <li>• Varmebehov – Varmtvannsberedning og romoppvarming med vannbårent varmedistribusjonssystem samt eventuelt klimakjøling ved tilkobling av viftekondensatorer til kollektorsystemet</li> </ul>

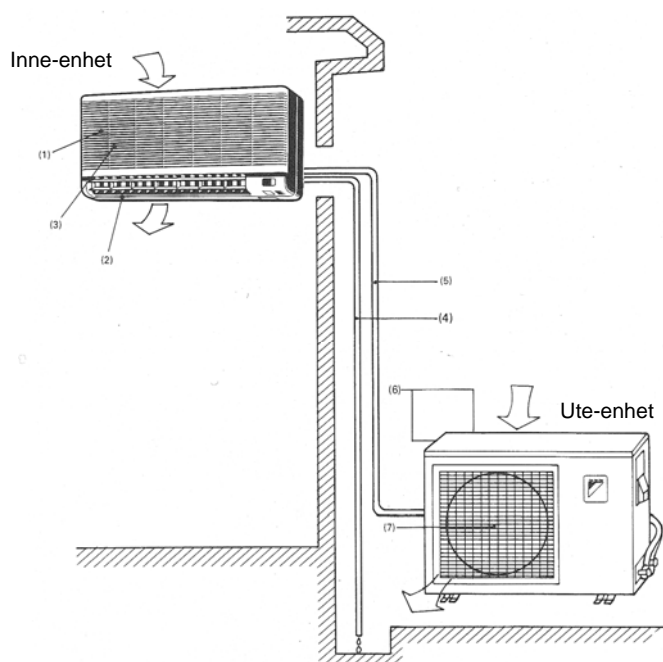
I dette kapittelet er de ulike varmepumpetyperne presentert i henhold til type varmekilde samt hvilke varmebehov de kan dekke, det vil si romoppvarming, ettervarming av ventilasjonsluft og varmtvannsberedning. Det er også skilt mellom varmluftsoppvarming fra viftekondensatorer og varmeleveranse fra vannbårene varmedistribusjonssystemer (ref. [Kapittel 4](#)).

For en generell beskrivelse av varmepumpens prinsip/funksjon, energieffektivitet og aktuelle varmekilder henvises til [Vedlegg A, Varmepumper](#).

### 3.6.1 Luft/luft-varmepumper – romoppvarming og klimakjøling

#### 3.6.1.1 Utforming og funksjon

Luft/luft-varmepumper benytter uteluften som varmekilde, og resirkulerer og varmer opp luften i boligen med én eller flere inne-enheter. Anleggene kan ikke benyttes til oppvarming av ventilasjonsluft eller varmtvannsberedning. Varmepumpene leveres vanligvis som ”split-anlegg”, det vil si at *ute-enheten* (fordamper, vifte og kompressor) er adskilt fra *inne-enheten* (kondensator, vifte og filter), og monteres sammen med hurtigkoblinger når anlegget installeres i boligen. Når det er behov for kjøling kan varmepumpeaggregatet reverseres og drives som et klimakjøleanlegg. Inne-enheten kjøler da luften i huset, mens overskuddsvarmen avgis til uteluften via ute-enheten. Figur 3.40 viser en prinsipiell skisse av en luft/luft-varmepumpe (split-anlegg) med ute- og inne-enhet (Jakobsen og Stene, 2003).



Figur 3.40 Luft/luft-varmepumpe (split-anlegg) (Jakobsen og Stene, 2003).

Luft/luft-varmepumper leveres enten med vegg-, gulv- eller takmonterte inne-enheter for varme-/kjøle-distribusjon i boligen. Gulvmonterte inne-enheter har normalt større varmevekslerflate, som medvirker til høyere effektfaktor (COP) for anleggene. Mange produsenter tilbyr også ”multi-split” systemer, som betyr at to eller flere inne-enheter benyttes for distribusjon av varm og kald luft. Figur 3.41 viser eksempler på ulike monteringer av ute-enheter, mens Figur 3.42 viser eksempler på inne-enheter for vegg- og gulvmontasje.



Figur 3.41 Eksempler på monteringer av ute-enheter for luft/luft-varmepumper.



Figur 3.42 Eksempler på inne-enheter for luft/luft-varmepumper for hhv. vegg- og gulvmontasje.

Enkelte produsenter har begynt å tenke annerledes når det gjelder utforming av veggmonterte inne-enheter, noe Figur 3.43 viser et eksempel på.



Figur 3.43 Alternativ utforming av veggmonterte inne-enheter for luft/luft-varmepumper.

Boligens utforming og plassering av inne-enheten(e) har stor innvirkning på oppnåelig energisparing for en luft/luft-varmepumpe. Generelt sett egner denne typen anlegg seg for installasjon i boliger med relativt *åpen planløsning*, hvor en kan oppnå god fordeling av varmluften. Det er i den sammenheng viktig å unngå en plassering som fører til resirkulasjon av varmluft i et mindre område. Varmepumpens inne-enhet er utstyrt med vifter som har trinnvis eller trinnløs regulering. For å unngå problemer med eventuell viftestøy bør ikke inne-enheten(e) plasseres for nærme oppholdssonene i boligen.

Når overflatetemperaturen er lavere enn  $0^{\circ}\text{C}$  vil det dannes rim på utevarmeveksleren (fordamperen). Rimdannelsen er avhengig av blant annet lufttemperaturen, relativ luftfuktighet og anleggets varmeytelse. Luft/luft-varmepumper er derfor utstyrt med et eget *avrinningsssystem*, og dette fører til økt energibruk for anlegget, dvs. lavere effektfaktor (COP). Nyere undersøkelser viser at avrinnning reduserer gjennomsnittlig effektfaktor for anleggene med typisk 10–20% (klima- og driftsavhengig) (Jakobsen og Stene, 2003).

Effektfaktoren for luft/luft-varmepumper er i stor grad påvirket av kompressorens turtall (varmeytelse), og anleggene går mest effektivt når turtallet ligger mellom 30–60% av full-last (Jakobsen og Stene, 2003). Luft/luft-varmepumper har normalt vært dimensjonert for å dekke kun 50–60% av effektbehovet til romoppvarming, mens ulike tilsatsvarmekilder har dekket det resterende varmebehovet på kalde dager. I lavenergiboliger hvor romvarmebehovet er relativt lavt bør en av hensyn til energieffektivitet og investeringskostnader benytte luft/luft-varmepumper som kan dekke hele romvarmebehovet.

De mest moderne og energieffektive anleggene bruker R-410A som arbeidsmedium. De viktigste teknologiske nyvinningene for luft/luft-varmepumper de senere årene omfatter først og fremst overgang til turtallsregulerte DC motorer (inverterstyring – trinnløs styring av varmeytelsen), utvikling av mer energieffektive kompressorer, mer avansert varmevekslerdesign samt bedre automatikk for styring og regulering av anleggene. Dette har bidratt til mer energieffektive, driftssikre og betjeningsvennlige anlegg.



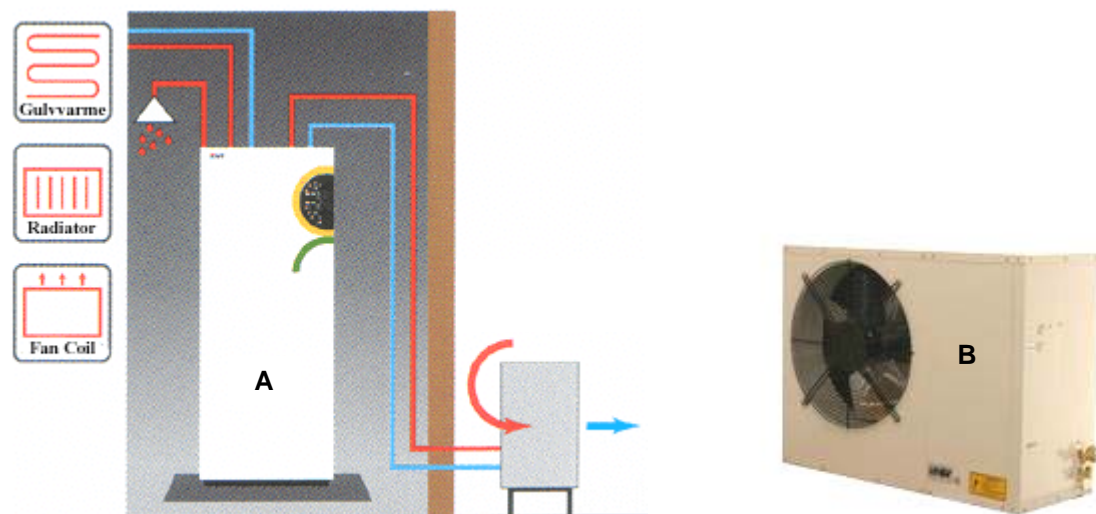
Oversikten nedenfor viser relevante tekniske data for de mest vanlige luft/luft-varmepumper som selges på det Nordiske markedet: De fleste data er hentet fra Råd&Rön (2004/2005) og Forbrukerrapporten (2004).

- Varmeytelse: 2,5–5 kW ved nominelle forhold, dvs. ved +7°C uteluft-temperatur og 20°C inneluft-temperatur. Varmeytelsen for luft/luft-varmepumper avtar med synkende uteluft-temperatur, typisk 15–35% ved +2°C, 30–40% ved -7°C og 45–55% ved -15°C.
- Støy med maks. ytelse: 58–63 dBA (ute-enhet) og 49–58 dBA (inne-enhet)
- Effektfaktor (COP): Målt COP for R410-varmepumper er typisk 2,7–3,7 ved maks. varmeytelse (100%) og 3,8–4,6 ved halv varmeytelse (50%). Disse data er oppgitt ved +7°C uteluft-temperatur. Gjennomsnittlig effektfaktor (COP) for luft/luft-varmepumper over en driftssesong inkl. energi til avrimning vil i norsk klima typisk ligge mellom 2,0–2,5.
- Stopptemperatur: Laveste anbefalte uteluft-temperatur for sikker drift av R410A luft/luft-varmepumper varierer fra -20 til -25°C.
- Luft- og overflatetemperaturer: Målt maksimal utgående lufttemperatur fra inne-enheter ved fulllast (100%) er i størrelsesorden 30–35°C, mens temperaturen på de varmeste overflatene på inne-enheter ikke overstiger 50–55°C (Jakobsen, 2005).

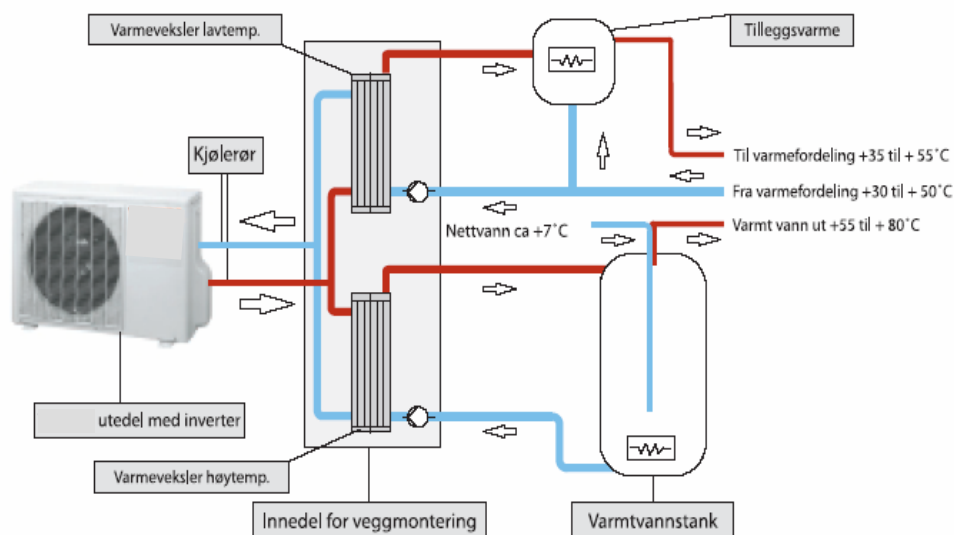
### 3.6.2 Luft/vann-varmepumper – romoppvarming og varmtvannsberedning

Luft/vann-varmepumper benytter uteluften som varmekilde, og brukes til kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning. Denne typen anlegg har prinsipielt samme egenskaper som luft/luft-varmepumper bortsett fra at romvarmen leveres via et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)). Varmeytelsen reguleres ved på/av-drift av kompressoren, og varme akkumuleres i vannvolumet i varmedistribusjonssystemet og varmtvannstanken. Varmepumpene greier normalt å varme varmtvann opp til 45–55°C. Ettervarming til ønsket temperatur gjøres med et elektrisk varmeelement i varmtvannstanken.

Figur 3.44 viser en prinsippsskisse av en konvensjonell luft/vann-varmepumpe samt et eksempel på utforming av utedelen (fordamper-enhet). Figur 3.45 viser prinsipiell utforming av en nyutviklet luft/vann-varmepumpe for kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning. Anlegget kan levere varmtvann opp mot 70–80°C, det vil si det ikke er behov for ettervarming med en elektrisk varmekolbe.



Figur 3.44 Prinsipielt eksempel på utforming av luft/vann-varmepumpe for romoppvarming og varmtvannsberedning (A) samt typisk utforming av ute-enheten (B).

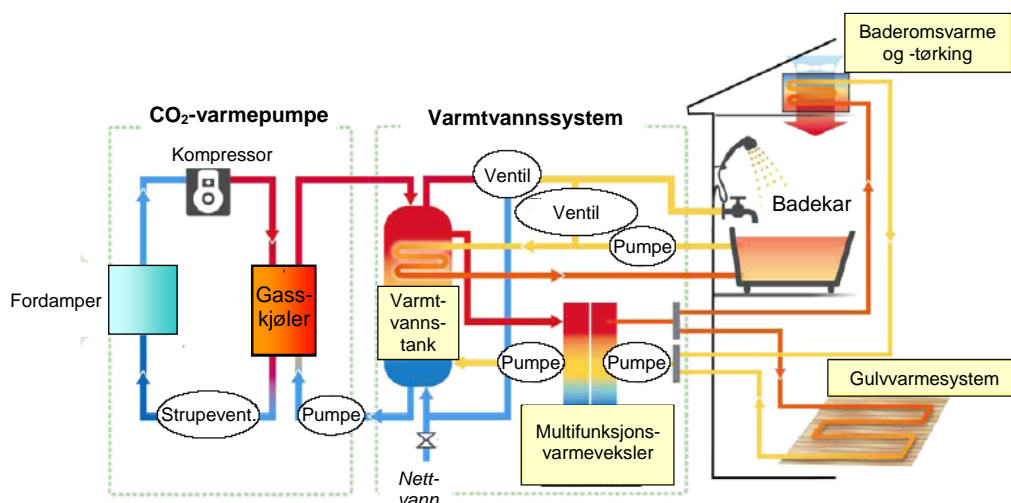


Figur 3.45 Eksempel på luft/vann-varmepumpe for kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning. Varmepumpen kan levere varmtvann opp mot ca. 80°C uten bruk av tilleggsvarme.

Luft/vann-varmepumper leveres med R407C, R410A eller propan som arbeidsmedium, og fås med nominell varmeytelse fra ca. 4 til 40 kW (ved +7°C uteluft-temperatur). Reduksjon i varmeytelse ved synkende uteluft-temperatur, behov for avrimning av ute-enheten, stopptemperatur samt støy fra ute-enheten er som for luft/luft-varmepumper (ref. [Kapittel 3.6.1](#)).

Sveitsiske feltundersøkelser av flere hundre luft/vann-varmepumpesystemer installert i nye og eksisterende boliger i perioden 1998–2003 viste at *gjennomsnittlig målt årsvarmefaktor* (midlere COP over året) for systemene varierte mellom 2,4–2,8. I samme undersøkelse lå gjennomsnittlig årsvarmefaktor for væske/vann-varmepumper i området 3,4–3,8. Dette var i gjennomsnitt 30% høyere enn luft/vann-varmepumpene fra samme undersøkelse (Hubacher, 2004). Ettersom væske/vann-varmepumper dekker en større del av det årlige varmebehovet vil *absolutt energisparing* typisk ligge 30–40% høyere.

I Japan produseres det luft/vann-varmepumper for kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning som bruker karbondioksid (CO<sub>2</sub>) som arbeidsmedium (Shecco, 2005). Figur 3.46 viser et eksempel på prinsipiell oppbygging av en CO<sub>2</sub>-kombivarmepumpe (Hihara, 2004). Anleggene, som har 4–6 kW nominell varmeytelse, egner seg godt i lavenergiboliger hvor det årlige varmtvannsbehovet er i samme størrelsesorden som romoppvarmingsbehovet. Målt årsvarmefaktor for systemene i Tokyo-klima er 3,2–3,4. Flere leverandører planlegger introduksjon av modeller tilpasset Europeiske forhold i 2006/2007.



Figur 3.46 Prinsipiell utforming av kombi-varmepumpe med CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium (Hihara, 2004).

I 2006 vil det komme på markedet luft/vann-varmepumper for kun varmtvannsberedning som bruker karbondioksid (CO<sub>2</sub>) som arbeidsmedium. Anleggene vil ha en nominell varmeytelse fra ca. 20 kW, og avhengig av uteluft-temperaturen og temperaturen på varmtvannet vil denne typen anlegg typisk oppnå en effektfaktor (COP) mellom 3,5–4,5. Dette er i størrelsesorden 15–20% høyere enn varmepumper som bruker konvensjonelle arbeidsmedier (Stene, 1998/2004). Mindre uteluftbaserte CO<sub>2</sub>-varmepumper for varmtvannsberedning i enkeltboliger forventes introdusert på det Europeiske markedet fra 2006/2007.

### 3.6.3 Ventilasjonsluft-varmepumper

Ventilasjonsluft-varmepumper utnytter avtrekksluften fra boligen (20–24°C) som varmekilde. En skiller i den sammenheng mellom varmepumper som er tilkoblet anlegg med avtrekksventilasjon og anlegg med balansert ventilasjon (ref. [Kapittel 5](#)).

#### 3.6.3.1 Avtrekksventilasjon – varmtvannsberedning og romoppvarming

I boliger med avtrekksventilasjon suger en vifte forurenset og fuktig luft ut gjennom egne avtrekkskanaler på kjøkken, bad, toalett og våtrom. Det benyttes vanligvis eget avtrekk fra komfyr. Frisk luft strømmer inn gjennom spalteventiler over vinduene eller gjennom større veggventiler som er spesielt utformet for å redusere trekk. Så lenge uteluft-temperaturen er lavere enn inneluft-temperaturen vil luften som strømmer inn i boligen varmes opp til innetemperatur av romoppvarmingssystemet.

For varmepumper som benyttes til varmegjenvinning fra anlegg med avtrekksventilasjon, monteres varmepumpens fordampere i avtrekkskanalen og den avkjøler luften før den blåses ut av boligen. Avtrekksviftens kapasitet og varmepumpens varmeytelse må tilpasses boligens størrelse og dermed anbefalt avtrekksluftmengde. Varmepumpen kan kjøle ned avtrekksluften til ca. 2–3°C før en får påriming på fordampersiden. For boliger med bruksareal mellom 100 og 200 m<sup>2</sup> vil avtrekksluftmengden variere mellom ca. 120–240 m<sup>3</sup>/h ved et anbefalt minimum luftskifte på 0,5 per time. Det tilsvarer en maksimal varmeytelse for varmepumpen i størrelsesorden 1.2–2.4 kW hvis en antar 21°C inneluft-temperatur, nedkjøling av avtrekksluften til 2°C og en midlere effektfaktor (COP) for varmepumpen på 3,0.

Avtrekksluft-varmepumpene er normalt ikke utstyrt med avrinningsystem, og dersom varmeytelsen er for stor i forhold til luftmengden, vil en få påriming på fordampersiden fordi fuktigheten i luften fryser ut på den kalde fordampersiden. Fordampersiden kan avrimes av den varme avtrekksluften ved at varmepumpen stoppes, men dette vil gi redusert varmegjenvinning. Hvis en avtrekksvarmepumpe er overdimensjonert bør en ikke øke ventilasjonsluftmengden selv om det vil øke varmepumpens varmeytelse og energisparing. Dette skyldes at en vil få en økning i det totale oppvarmingsbehovet ettersom den ekstra luftmengden som suges inn i boligen må varmes opp til romtemperatur av romoppvarmingssystemet.

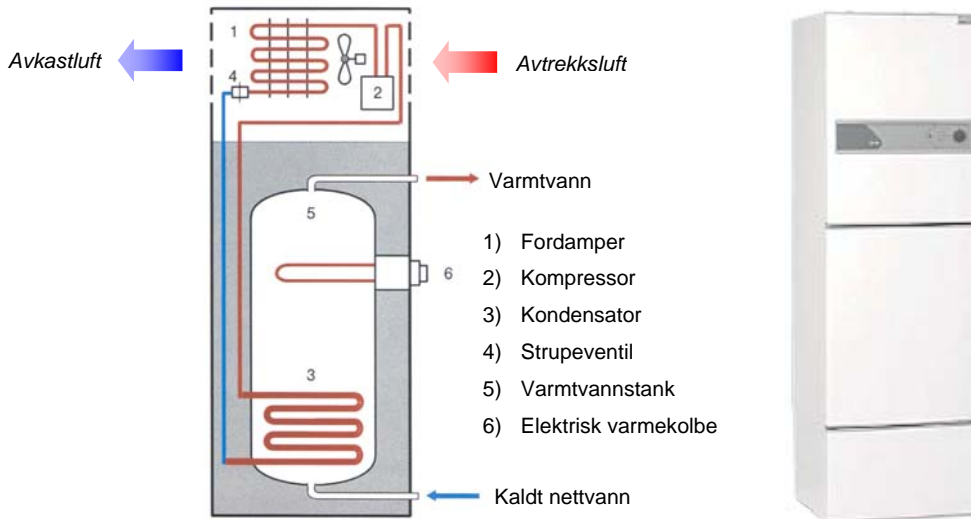
Avtrekksluft-varmepumper er utformet for:

- Kun varmtvannsberedning
- Kombinert varmtvannsberedning og romoppvarming

Avtrekksluft-varmepumper leveres som kompakte enheter ferdig montert i lyddempet kabinett med avtrekksvifte, varmepumpeaggregatet med R407C, R410A eller propan som arbeidsmedium, varmtvannsbereder, elektrisk ettervarmer og automatikk.

Figur 3.47 viser en prinsipiell skisse av en avtrekksluft-varmepumpe for *varmtvannsberedning* samt et eksempel på utforming av et anlegg. Den enkeltmantlede varmtvannstanken har et typisk vannvolum på 150–300 liter, og varmepumpens kondensator er plassert nederst i tanken. Varmepumpen varmer vannet til 50–55°C, og en elektrisk varmekolbe brukes til ettervarming og som reservelast.

Avtrekksluft-varmepumper for varmtvannsberedning og romoppvarming tilkobles avtrekkskanalen samt et enkelt vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)). For ettervarming (spisslast) og til reserve brukes vanligvis elektriske varmekolber. Det finnes også aggregater som er styrt med en liten kondenserende gasskjel. Sistnevnte løsning krever imidlertid installasjon av en propantank eller tilkobling til et rørnett med naturgass (ref. [Kapittel 3.3](#)).



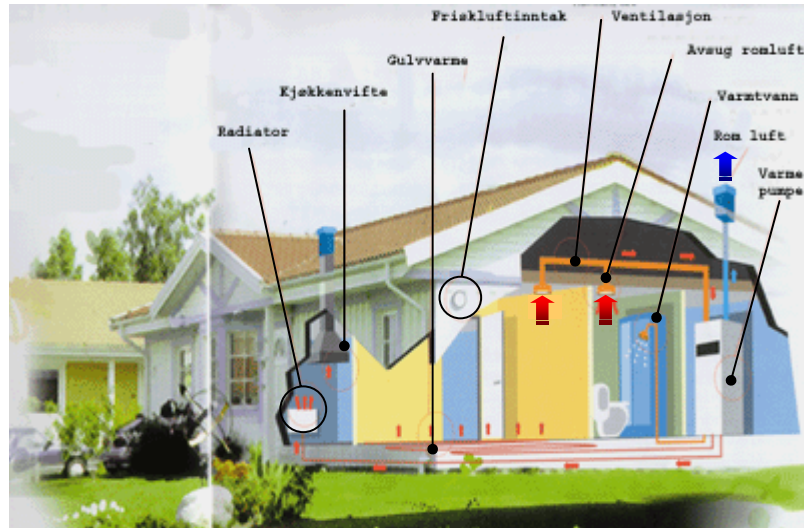
Figur 3.47 Prinsipiell skisse av en avtrekksluft-varmepumpe for oppvarming av varmtvann samt eksempel på utforming av varmepumpeaggregat.

Figur 3.48 viser en prinsipiell skisse av en avtrekksluft-varmepumpe for kombinert varmtvannsberedning og romoppvarming (Fehrm, 2005) samt eksempler på utforming av kommersielle anlegg.



Figur 3.48 Prinsipiell skisse av en avtrekksluft-varmepumpe for kombinert varmtvannsberedning og romoppvarming samt eksempler på kommersielle aggregater (Fehrm, 2005).

Figur 3.49 viser et eksempel på en enebolig med kanalnett for avtrekksventilasjon, avtrekksluft-varmepumpe for varmegjenvinning fra avtrekksluft og separat avtrekksvifte på kjøkkenet. Det viste varmepumpeanlegget bereder varmt tappevann og leverer romvarme via et vannbårent varmedistribusjonssystem med radiatorer og gulvvarmesystem.



Figur 3.49 Eksempel på enebolig med avtrekksventilasjon og avtrekksluft-varmepumpe.

**3.6.3.2 Balansert ventilasjon – varmegjenvinning, varmtvannsberedning og romoppvarming**

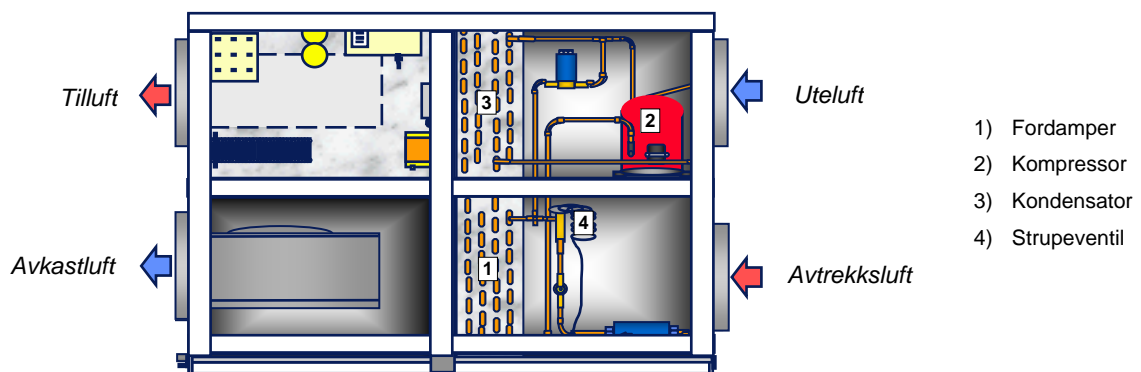
I boliger med balansert ventilasjon benyttes to separate kanalsystemer for tilførsel av friskluft og fjerning av forurenset og fuktig inneluft, og kanalsystemene har hver sin vifte. Ventilasjonsanlegget sørger for ønsket frisklufttilførsel til alle oppholdsrom, med avtrekk fra kjøkken, bad, toalett og våtrom (ref. [Kap. 5](#)).

Prinsipielt sett bør varmen i avtrekksluften først gjenvinnes ved varmeveksling, og deretter eventuelt utnyttes som varmekilde for en varmepumpe. For boliger har det tradisjonelt vært for kostbart å investere i både varmeveksler og varmepumpe, slik at en må velge en av delene. En varmepumpe har høyere investeringskostnad enn en varmeveksler men gir høyere energisparing. Valg av varmegjenvinningssystem må derfor vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Varmepumper innkoblet i balanserte ventilasjonsanlegg er utformet for:

- Oppvarming av ventilasjonsluft og romoppvarming
- Oppvarming av ventilasjonsluft, romoppvarming og varmtvannsberedning

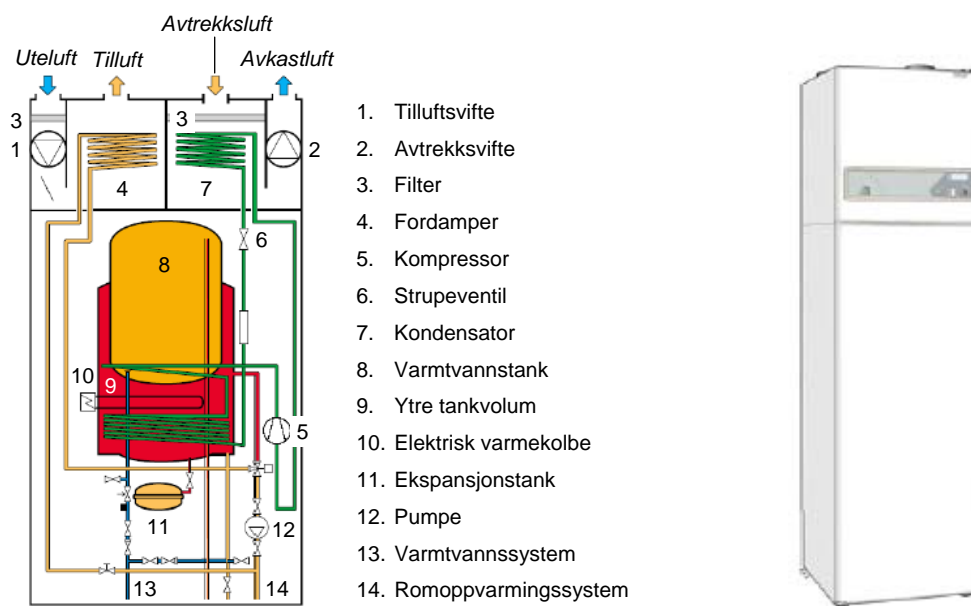
Figur 3.50 viser en skisse av et varmepumpeanlegg som varmer tilluften i et balansert ventilasjonsanlegg i en bolig. Denne typen anlegg leveres som komplette enheter med varmepumpeaggregat, avtrekks-/tilluftsvifter, automatikk, elektrisk tilkobling, kondensavløp og filter. Det finnes også anlegg som kan reverseres slik at de kjøler tilluften til boligen (klimakjøling).



Figur 3.50 Varmepumpeanlegg for oppvarming av ventilasjonsluft i et balansert ventilasjonsanlegg. Anlegget installeres isteden for varmegjenvinner (Novap, 2005).

I deler av året vil denne typen avtrekksluft-varmepumper i tillegg til å dekke ventilasjonstapet også dekke noe av romoppvarmingsbehovet i boligen, ettersom anlegget kan kjøle ned avtrekksluften under uteluftens temperatur. Innblåsningstemperaturen på tilluften vil da være høyere enn inneluft-temperaturen.

Den andre typen avtrekksluft-varmepumper for balanserte ventilasjonsanlegg varmer tilluften til ønsket temperatur, og leverer varme til varmtvannsberedning samt et vannbårent romoppvarmingssystem. Disse anleggene er ikke utstyrt med varmeveksler for varmegjenvinning fra avtrekksluften. Ettersom varmeuttaket fra avtrekksluften er begrenset vil det i deler av året være et relativt stort behov for tilleggsvarme, som normalt leveres fra en elektrisk varmekolbe. Det finnes også anlegg som benytter både avtrekksluft og uteluft som varmekilde. Denne typen varmepumper vil oppnå noe lavere effektfaktor (COP) på grunn av lavere midlere temperatur på varmekilden, men på grunn av høyere varmeytelse vil de gi større energisparing. Figur 3.51 viser en prinsipiell skisse av et anlegg med integrert avtrekksluft-varmepumpe, varmtvannsbereder og tilkobling til vannbårent romoppvarmingssystem (Fehrm, 2005).



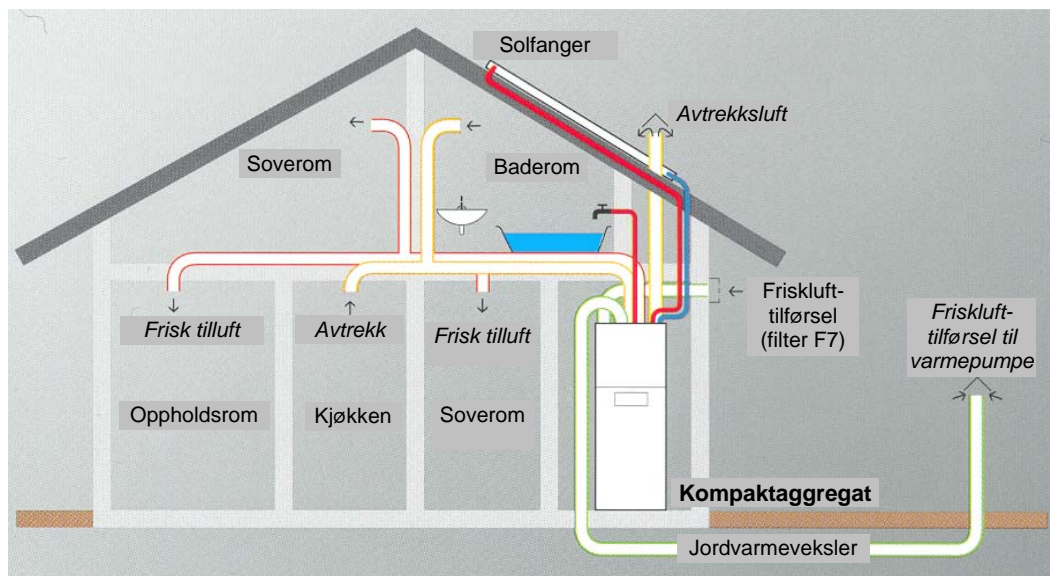
Figur 3.51 Prinsipiell skisse av en avtrekksluft-varmepumpe i balansert ventilasjonsanlegg for oppvarming av ventilasjonsluft, varmtvannsberedning og romoppvarming samt eksempel på utforming av et aggregat (Fehrm, 2005).

### 3.6.3.3 Balansert ventilasjon – integrerte enheter med varmepumpe og solfanger

For lavenergiboliger og passivhus er det utviklet kompakte integrerte enheter (kompaktaggregater) for kombinert frisklufttilførsel (balansert ventilasjon), romoppvarming og varmtvannsberedning. Anleggene, som har fått betegnelsen *Compact Ventilation and Heating Devices with Integrated Exhaust Air Heat Pump (CVHD)*, består av følgende hovedkomponenter (Bühning, 2005; Viessman, 2005):

- Jordvarmeveksler/jordkollektor for forvarming av ventilasjonsluft (for eneboliger, ikke boligblokker)
- Tillufts- og avtrekksvifte, finfiltre på inntaks- og avtrekksiden samt høyeffektiv motstrøms varmeveksler for varmegjenvinning fra avtrekksluften ( $\eta_{temp} > 75\%$ )
- Luft/luft-vann-varmepumpe for varmtvannsberedning og oppvarming av tilluft
- Solfanger (normalt brukt, men kan utelates)
- Varmtvannstank – dobbeltmantlet type eller bruk av innvendig rørvarmeveksler for oppvarming av vannet – ettervarming med elektrisk varmekolbe (topplast, reservelast)
- Elektrisk ettervarmer (topplast, reservelast) for romoppvarmingssystemet

Høy energieffektivitet og konkurransedyktig pris har ført til at kompaktaggregater med varmepumpe og solfanger allerede har tatt 40–50% av markedet for oppvarmings- og ventilasjonssystemer i passivhus i Tyskland (Bühring, 2005). Figur 3.52 viser en prinsipiell framstilling av et kompaktaggregat som er integrert i ventilasjons- og varmtvannssystemet i en lavenergi bolig/passivhus (Kompakt, 2005).

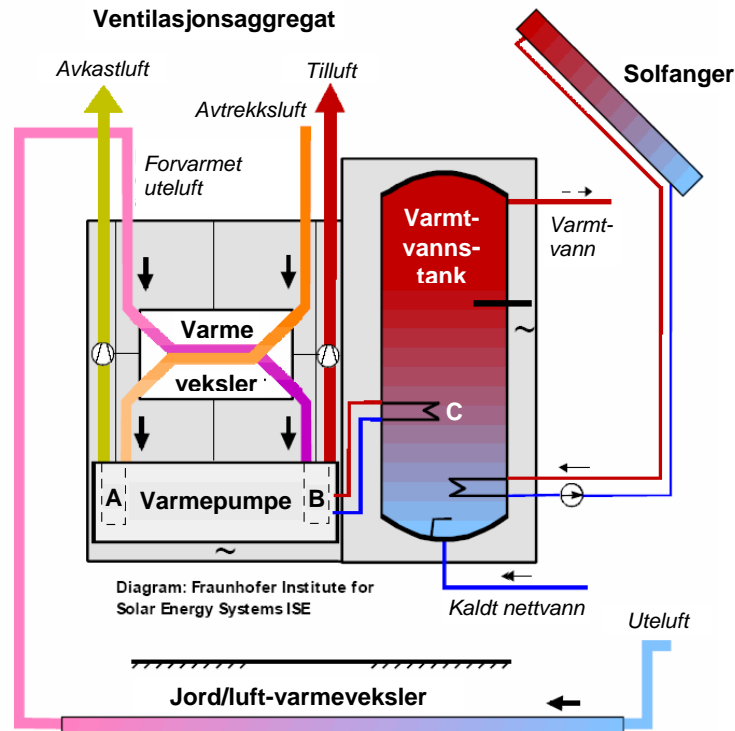


Figur 3.52 Prinsipiell framstilling av et kompaktaggregat med varmepumpe og solfanger som er integrert i ventilasjons- og varmtvannssystemet i lavenergi bolig/passivhus (Kompakt, 2005).

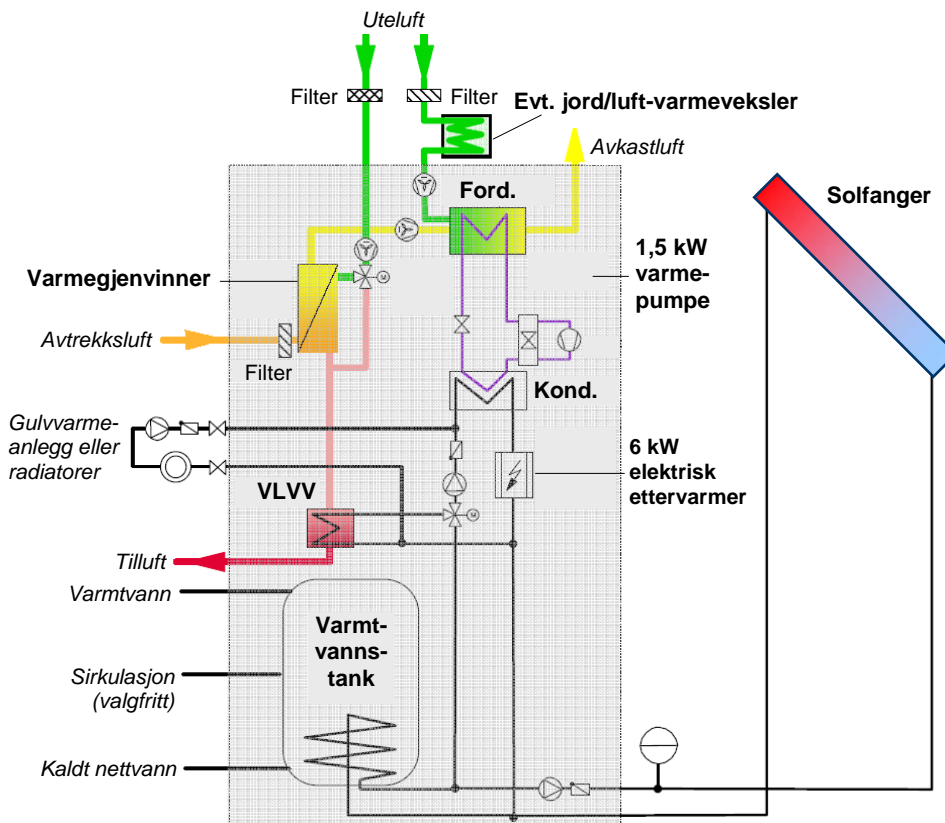
Den friske uteluften som tilføres huset kan forvarmes i en jord/luft-varmeveksler før den tilføres varme fra avtrekksluften i en høyeffektiv varmegjenvinner og eventuelt ettervarmes med varmepumpens kondensator. Som varmekilde for varmepumpen brukes avtrekksluften *etter* varmegjenvinneren (anlegg for passivhus), eventuelt i kombinasjon med forvarmet uteluft via *jord/luft-varmeveksleren* (anlegg for passivhus og lavenergi boliger). Jord/luft-varmeveksleren er enten en betongkulvert eller et stort plastrør som legges i bakken rundt huset. Varmerveksleren eliminerer i stor grad behovet for forvarming av ventilasjonsluften, som normalt er nødvendig for å unngå frostdannelse i varmegjenvinneren ved lavere uteluft-temperaturer (ref. [Kapittel 5](#)). I tillegg bidrar forvarmingen til å redusere ventilasjonstapet, og varmepumpeanleggets varmeytelse øker ettersom den kan foreta en større nedkjøling av avtrekksluften uten å få rimdannelse på fordampere.

Figur 3.53 og 3.54 viser eksempler på prinsipiell utforming av ventilasjons- og oppvarmingssystemer med integrert varmepumpe og solfanger (kompaktaggregater).

Varmepumpens varmeytelse er typisk i størrelsesorden 1,0-2,5 kW. Avhengig av varmebehovet i boligen benyttes varmen fra varmepumpens kondensator til oppvarming av ventilasjonsluften og/eller varmt tappevann i en varmtvannsbereider (lagertank). Systemet kan enten ha en *direkte løsning* hvor det er plassert én kondensator i varmtvannstanken og en kondensator i ventilasjonssystemets tilluftskanal (Figur 3.53), eller en *indirekte løsning* hvor én kondensator er tilkoblet en egen vannkrets som leverer varme til varmtvann og ventilasjonsluft etter behov (Figur 3.54). Maksimal innblåsningstemperatur på tilluften i ventilasjonsanlegget er ca. 50°C (Viessman, 2005). For begge systemene er det vanlig å benytte en *solfanger* som vår, sommer og høst leverer varme til vannet i varmtvannstanken og eventuelt tilluften i ventilasjonsanlegget (ref. [Kapittel 3.5.3](#)). Ved eventuelt behov for ettervarming av vann og luft i systemet benyttes en elektrisk varmekolbe/ettervarmer.



Figur 3.53 Eksempel på prinsipiell utforming av integrert ventilasjons- og varmeanlegg (kompakt-aggregat) for frisklufttilførsel, romoppvarming og varmtvannsberedning. A=fordamper, B=kondensator nr. 1, C=kondensator nr. 2 (Bühning, 2005).



Figur 3.54 Eksempel på prinsipiell utforming av integrert ventilasjons- og varmeanlegg (kompakt-aggregat) for frisklufttilførsel, romoppvarming og varmtvannsberedning. Ford.=fordamper, Kond.=kondensator, VLVV=Væske/luft-varmeveksler (Stiebel Eltron, 2005).



I sentral-Europa, for eksempel Tyskland, vil solfangeren dimensjoneres for å dekke hele varmtvannsbehovet sommerstid, og vil dermed typisk dekke 40–50% av årlig varmtvannsbehov (Bühning, 2005). I Norge, hvor vi har mindre solinnfall over året, vil denne andelen være lavere. Jord/luft-varmeveksleren bidrar forøvrig til å redusere oppvarmingsbehovet for ventilasjonsluften og gir høyere effektfaktor (COP) for varmepumpen i de tilfeller hvor en bruker både ventilasjons- og uteluft som varmekilde (Figur 3.54). For en del kompaktaggregater kan varmepumpen reverseres, slik at den kan levere klimakjøling ved behov.

De siste par årene er det solgt flere tusen integrerte ventilasjons- og varmeanlegg (kompaktaggregater) for passivhus og lavenergiboliger i Tyskland, Sveits og Østerrike. Figur 3.55 viser eksempler på kompakt-aggregater som har vært testet ut ved Fraunhofer ISE i Tyskland, mens Figur 3.56 viser eksempler på andre kommersielt tilgjengelige kompaktaggregater (Bühning, 2005).



Figur 3.55 Eksempler på testede integrerte ventilasjons- og varmeanlegg med varmepumpe og solfanger for bruk i lavenergiboliger og passivhus – A, B og C (Bühning, 2005).



Figur 3.56 Eksempler på integrerte ventilasjons- og varmeanlegg med varmepumpe og solfanger for bruk i lavenergiboliger og passivhus (Bühning, 2005).

De systemene som har vært testet i laboratoriet er:

- A) 150 til 200 m<sup>3</sup>/h – 320 liter varmtvannstank – avtrekksluft er varmekilde for varmepumpen
- B) 80 til 130 m<sup>3</sup>/h – 200 liters varmtvannstank – avtrekksluft er varmekilde for varmepumpen
- C) 150 m<sup>3</sup>/h – 240 liters varmtvannstank – avtrekksluft og uteluft er varmekilder for varmepumpen

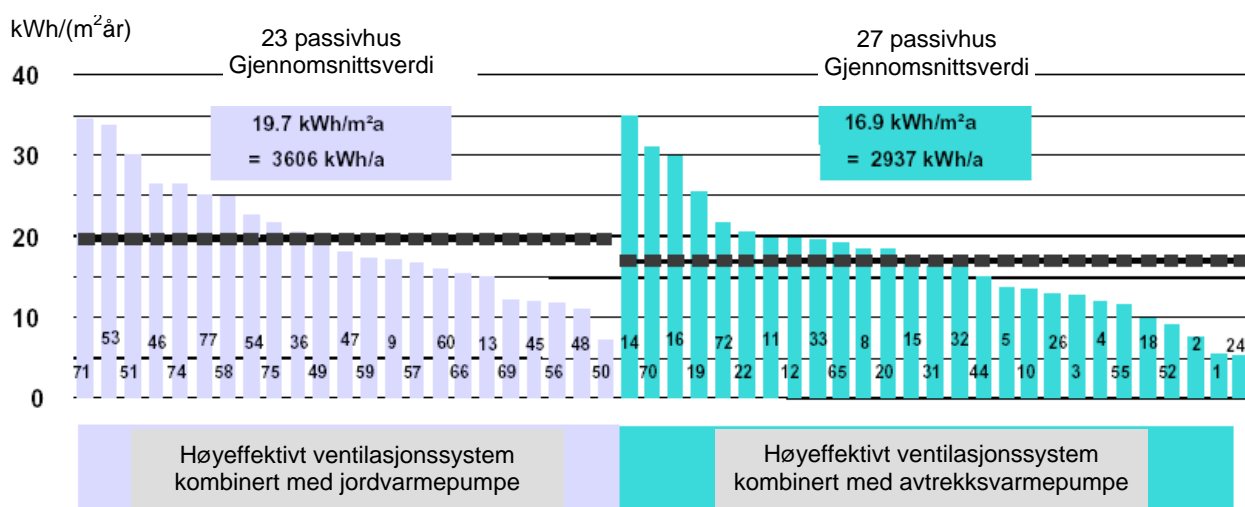
System A og B er beregnet for passivhus (<math> <15 \text{ kWh/m}^2\text{år}</math>), mens system C kan installeres både i passivhus og lavenergiboliger (<math> <30 \text{ kWh/m}^2\text{år}</math>), ettersom den i tillegg til avtrekksluft også utnytter uteluft som varmekilde for å øke varmepumpens varmeytelse. Ved utesting av aggregatene var uteluft-temperaturen ca.  $9^\circ\text{C}$ , mens temperaturen på avtrekksluften var ca.  $20^\circ\text{C}$ . De to første systemene hadde en målt COP for varmepumpeaggregatet fra 2,6 til 3,1 ved oppvarming av varmtvann og 3,2–3,5 ved romoppvarming. Målt COP for system C ved varmtvannsberedning og romoppvarming var noen lavere, henholdsvis 2,2 og 2,4, ettersom temperaturen på varmekilden var lavere på grunn av innblanding av uteluft. (Bühning, 2005).

Figur 3.57 viser et eksempel på et passivhus (boligblokk) i Tyskland hvor det er installert et integrert ventilasjons- og varmeanlegg med avtrekksluft-varmepumpe og solfangerer (jfr. Figur 3.53) (Bühning, 2005).



Figur 3.57 Eksempel på et passivhus (boligblokk) med integrert ventilasjons- og varmeanlegg med avtrekksluft-varmepumpe og solfangerer (Bühning, 2005).

Fraunhofer ISE i Tyskland har gjennomført 3-års felttesting av 50 passivhus med integrerte ventilasjons- og varmeanlegg med varmepumpe og solfangerer (Bühning, 2005). Resultatene er presentert i Figur 3.58. Stolpene i diagrammene viser spesifikt årlig energibehov ( $\text{kWh/m}^2\text{år}$ ) for oppvarming og ventilasjon for de ulike boligene. Gjennomsnittlig årlig elektrisitetsbruk for drift av ventilasjonsanlegg, romoppvarming og varmtvannsberedning var ca.  $3.000 \text{ kWh/år}$ .



Figur 3.58 Resultater fra 3-års felttesting av tyske passivhus med integrert ventilasjons- og varmeanlegg med solfangerer og ulike typer varmepumpeløsninger (Bühning, 2005).

Passivhusene med avtrekksvarmepumpe (fiolette søyler) hadde ca. 20% lavere gjennomsnittlig energibruk enn husene som hadde installert jordvarmepumpe (turkise søyler). Forskjellen skyldes hovedsaklig problemer med samkjøring av ventilasjonssystem, varmepumpeanlegg, solfanger og elektrisk ettervarmer samt ekstra elektrisitetsbehov til drift av sirkulasjonspumpen i varmeopptakssystemet (kollektorsystemet).

Avtrekksluft-varmepumpene som inngår i dagens kompakttaggregater bruker enten R410 eller R407C som arbeidsmedium. Det er imidlertid under utvikling varmepumper med karbondioksid (CO<sub>2</sub>) som arbeidsmedium. På grunn av CO<sub>2</sub> sine gunstige termofysiske egenskaper vil anleggene kunne oppnå høyere effektfaktor (COP) enn dagens anlegg, og forskjellen er spesielt stor ved oppvarming av varmt tappevann. Det er foreløpig ikke klart når denne typen anlegg vil bli kommersielt tilgjengelige (Friedl et al., 2005).

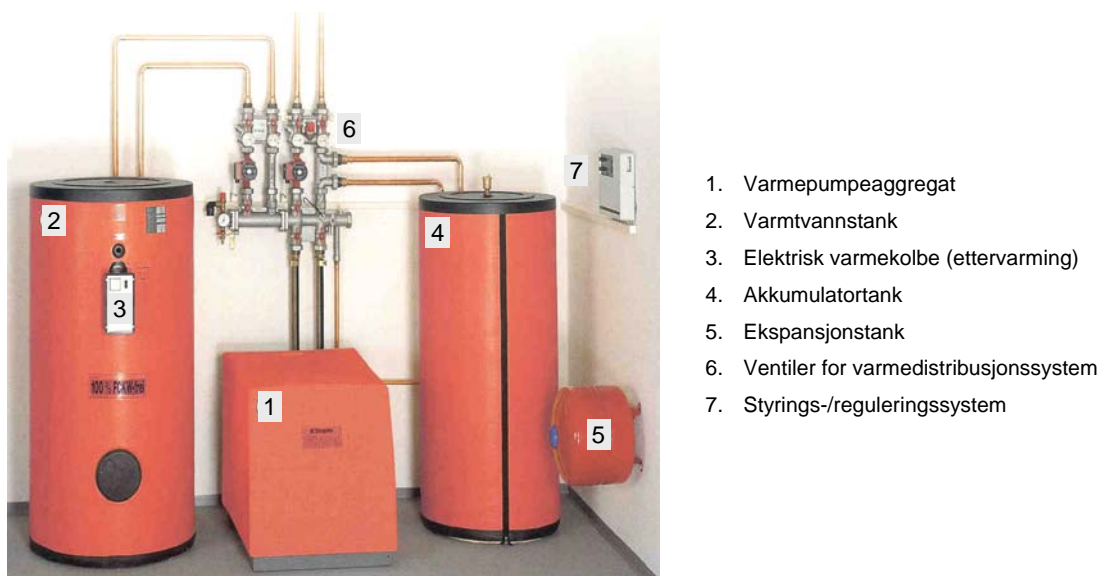
### 3.6.4 Væske-vann og vann/vann-varmepumper

Væske/vann-varmepumper henter varme fra borehull i fjell (energibrønner), jord, sjøvann eller innsjøvann, mens vann/vann-varmepumper benytter opp-pumpet grunnvann som varmekilde. For detaljer vedrørende utforming av varmeopptakssystemet for disse anleggstypene henvises til [Vedlegg A, Varmepumper](#).

#### 3.6.4.1 Kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning (kombi-varmepumper)

Væske-/vann- og vann/vann-varmepumper for boliger utformes normalt for å levere varme både til varmtvannsberedning og romoppvarming via et vannbårent varmedistribusjonssystem (ref. [Kapittel 4](#)). Kombi-varmepumpene fåes med varmeytelse fra ca. 4 kW, og benytter R407C, R410A, R134a eller propan som arbeidsmedium. Anleggene er vanligvis utstyrt med kun én kompressor som reguleres på/av. Dette gir god regulering selv ved lavt varmebehov på grunn av det relativt store vannvolumet i varmtvannstanken og varmedistribusjonssystemet. I noen tilfeller vil det likevel være behov for å installere en ekstra akkumuleringstank i varmedistribusjonssystemet for å unngå for hyppig start/stopp av kompressoren. De fleste væske/vann-varmepumpene leveres komplett med sirkulasjonspumper med manuell hastighetsregulering eller turtallsregulering samt ekspansjonstank for kollektorsystemet.

Figur 3.59 viser et eksempel på en ferdig oppkoblet væske/vann-varmepumpe med separat varmtvannstank og akkumulatortank for varmedistribusjonssystemet, mens figur 3.60 viser eksempler på anlegg med integrert varmtvannstank.

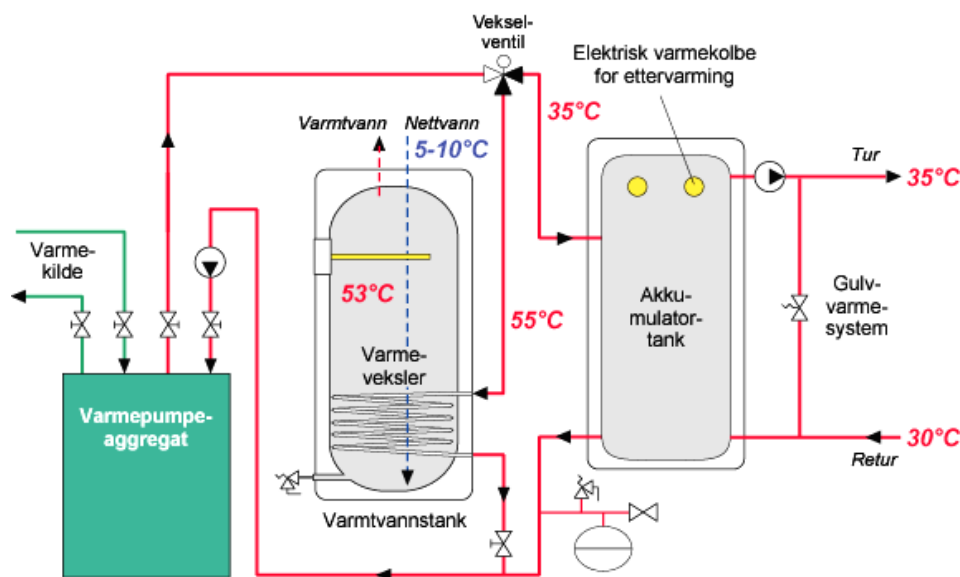


Figur 3.59 Eksempel på utforming av væske/vann-varmepumpesystem med separat varmtvannstank.



Figur 3.60 Eksempler på væske/vann-varmepumper med integrert varmtvannstank.

En mye benyttet løsning for boliger med lavtemperatur varmedistribusjonssystem er anlegg med integrert varmtvannstank og vekselventil for prioritert varmtvannsberedning. Vekselventilen styrer vannstrømmen fra varmepumpens kondensator enten til varmtvannstanken eller varmedistribusjonssystemet avhengig av behovet, og varmepumpen leverer aldri varme ved høyere temperaturnivå enn strengt tatt nødvendig. Figur 3.61 viser prinsipiell utforming av en kombivarmepumpe med vekselventil. For mer detaljer vedrørende utforming og regulering av ulike væske/vann-kombivarmepumper henvises til Stene og Brånås, (2004).



Figur 3.61 Prinsipiell systemløsning for en væske/vann-varmepumpe med vekselventil og separat akkumulatortank for kombinert romoppvarming og varmtvannsberedning.

Væske-/vann-varmepumper har høyere investeringskostnader enn varmepumper som benytter uteluft og ventilasjonsluft som varmekilder, ettersom de blant annet benytter et separat, eksternt varmeopptakssystem. Anleggene dekker imidlertid en vesentlig større andel av det totale årlige varmebehovet i boligen, oppnår høyere effektfaktor (COP) og har lengre levetid og større driftssikkerhet. Sveitsiske feltundersøkelser av flere hundre væske/vann-varmepumpesystemer installert i nye og eksisterende boliger i perioden 1998–2003 viste at *gjennomsnittlig årsvarmefaktor* (midlere COP over året) for systemene varierte mellom 3,4–3,8. Dette var i gjennomsnitt 30% høyere enn luft/vann-varmepumpene fra samme undersøkelse (Hubacher, 2004). Ettersom væske/vann-varmepumper dekker en større del av det årlige varmebehovet enn luft/vann-varmepumper vil *absolutt energisparing* typisk ligge 30–40% høyere.

#### **3.6.4.2 Kun varmtvannsberedning**

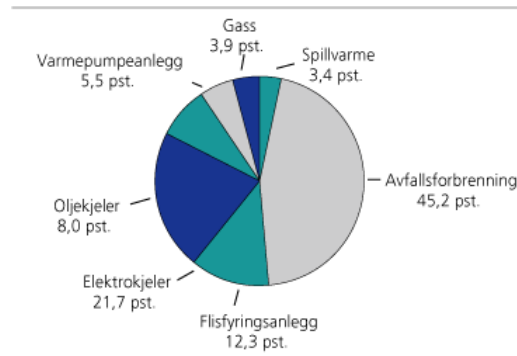
En væske/vann- eller vann/vann-varmepumpe kan utformes for kun å dekke beredning av varmt forbruksvann. Dette er en aktuell løsning i eneboliger, flermannsboliger og boligblokker. Anleggene bruker R407C, R134a eller propan som arbeidsmedium. I tillegg til kondensator er de utstyrt med en overhettingsvarmeveksler og eventuelt underkjølingsvarmeveksler og sugegassvarmeveksler (internvarmeveksler). De ekstra varmevekslerene bidrar til god temperaturlpasning ved varmeavgivelse, og anleggene vil kunne oppnå en COP i størrelsesorden 3,0–3,5 ved 60°C varmtvannstemperatur. Ettervarming og reservelast besørger av elektriske varmekolber i varmtvannstanken

Det er også under utvikling varmtvanns-varmepumper med karbondioksid (CO<sub>2</sub>) som arbeidsmedium. Dette er anlegg som kan levere varmt vann opp mot 90°C uten behov for ettervarming, og hvor energieffektiviteten (COP) typisk er 15–20% høyere enn for varmepumper med konvensjonelle arbeidsmedier. Denne typen anlegg forventes å bli kommersielt tilgjengelige i Europa i 2006/2007.

### 3.7 FJERNVARME- OG NÆRVARMESYSTEMER

#### 3.7.1 Generelt om fjernvarme

Et fjernvarmesystem er et sentralt varmesystem som forsyner et boligfelt, flere større bygninger eller en bydel med termisk energi til romoppvarming, ettervarming av ventilasjonsluft og varmtvannsberedning. Fjernvarme krever at bygningene har installert vannbårne varmedistribusjonssystemer (ref. [Kapittel 4](#)). Total netto varmeproduksjon fra norske fjernvarmeanlegg var ca. 2,4 TWh i 2004. Figur 3.62 viser netto-produksjonen av fjernvarme fordelt på ulike typer varmesentraler (SSB, 2005).



Figur 3.62 Nettoproduksjon av fjernvarme i Norge i 2004 fordelt på ulike typer varmesentraler, dvs. avfallsforbrenning, flisfyringsanlegg, elektrokjeler, oljekjeler, varmepumper, gasskjeler og spillvarme (SSB, 2005).

#### 3.7.2 Hovedprinsipper for fjernvarmesystemer

Et fjernvarmesystem består av én eller flere varmesentral(er) som produserer/leverer varme, varmedistribusjonsnett (hovednett, primærnett) og undersentraler (abonnentsentraler).

##### 3.7.2.1 Varmesentral

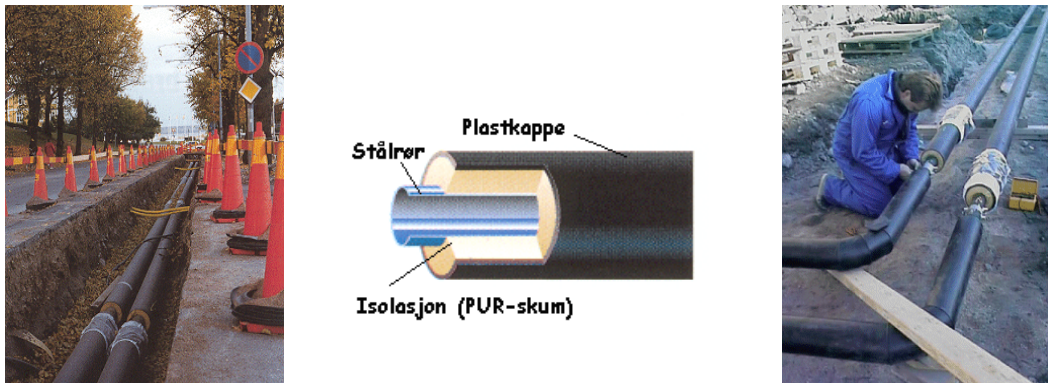
Varmesentralen produserer varme ved hjelp av for eksempel avfallsforbrenning, forbrenning av biomasse, elektrokjeler, oljekjeler, gasskjeler eller varmepumper. Høytemperatur spillvarme kan også brukes til å dekke varmebehovet i et fjernvarmesystem. I mindre anlegg brukes det av kostnadshensyn kun én varmesentral. For større anlegg vil det av hensyn til blant annet investeringsprofil, leveringssikkerhet, fleksibilitet og dellastegenskaper være aktuelt med to eller flere varmesentraler. Hvis det brukes varmepumpe i varmesentralen kan anlegget også utformes for å levere fjernkjøling. Figur 3.63 viser biobrenselanlegget ved Oslo Hovedflyplass, Gardermoen. Bioenergikjelen, som brenner bark/treflis, har en kapasitet på ca. 6 MW.



Figur 3.63 Biobrenselanlegget ved Oslo Hovedflyplass, Gardermoen (Hafslund, 2005).

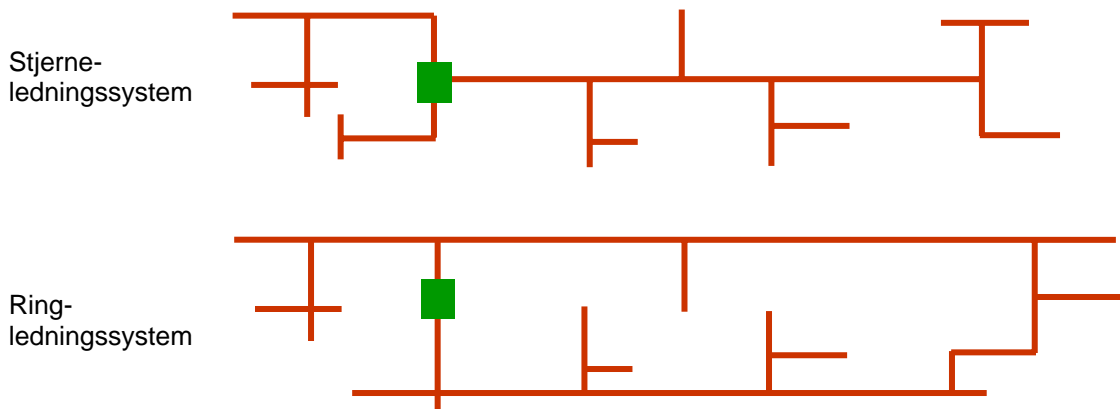
**3.7.2.2 Varmedistribusjonsnett**

Varmedistribusjonsnettet (hovednettet, primærnettet) i et fjernvarmesystem er en lukket rørsystem hvor det sirkuleres vann av 45–120°C fra varmesentralen ut til de enkelte varmekonsumenterne (abonnentene). Etter at vannet har avgitt varme hos abonnentene, returneres det avkjølte vannet til varmesentralen for ny oppvarming. Rørnettet består av preisolerte stål- eller plastrør, og tur-/returledningen legges ved siden av hverandre i en grøft med sandbedd (kulvert). I nett med stålrør benyttes vanligvis trykkklasse PN 16 (16 bar), men ved store høydeforskjeller er det behov for PN 25. For nærvarmeanlegg benyttes normalt plastrør av trykkklasse PN 6. Avhengig av midlere distribusjonstemperatur over året, rørenes isolasjonsstandard og klima utgjør varmetapet fra nettet til omgivelsene ca. 5–15% av varmesentralens årlige varmeproduksjon. Figur 3.64 viser eksempler på fjernvarmekulverter samt en prinsippskisse av et fjernvarmerør (NFF, 2005).



Figur 3.64 Eksempler på fjernvarmekulverter samt en prinsippskisse av et fjernvarmerør (NFF, 2005).

Et fjernvarmenett kan bygges ut etter ulike prinsipper alt etter varmesentralens varmeytelse og kravet til forsyningssikkerhet. I figur 3.65 er det vist prinsipielle skisser av et *stjerneledningssystem* og et *ringledningssystem*. Hver strek i figuren indikerer både tur- og returledningen i hovednettet, og varmesentralen er markert med grønt. Forskjellen på de to distribusjonssystemene ligger i hvor mange mateveier det finnes fra varmesentralen til hver enkelt abonnent. Stjerneledningssystem benyttes gjerne for mindre nett, mens større fjernvarmesystemer benytter ringledningsnett eller en kombinasjonsløsning.



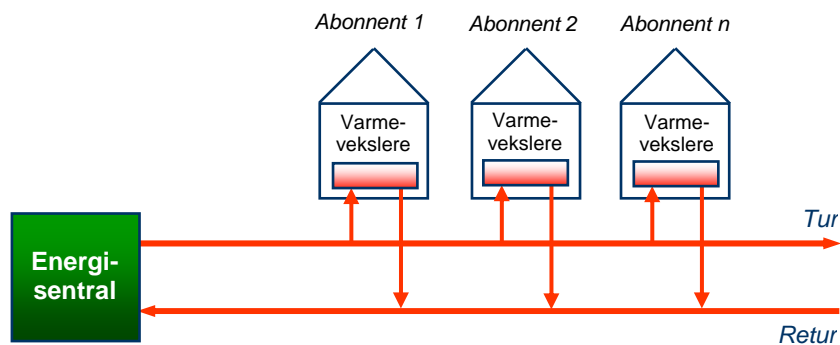
Figur 3.65 Prinsipielle skisser av stjerne- og ringledningssystem for fjernvarmenett.

Ettersom distribusjonssystemet utgjør en relativt stor andel av de totale kostnadene for et fjernvarmesystem, er lønnsomheten i stor grad knyttet til den såkalte *linjetettheten*, dvs. varmebehovet i kWh per meter ledning. Det betyr at i utbyggingsområder med lavenergiboliger vil det være vanskeligere å oppnå lønnsomhet enn i områder med eldre boliger og bygninger med høyere spesifikt varmebehov.

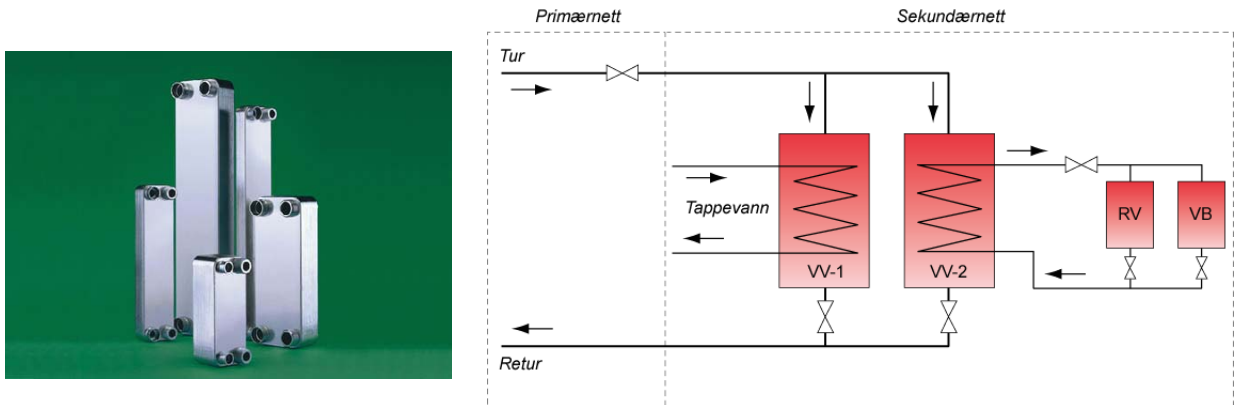
**3.7.2.3 Undersentraler**

Fjernvarmesystemer deles inn i indirekte og direkte systemer.

I et *indirekte fjernvarmesystem* avgir vannet i primærnettet (hovednettet) varme til varmedistribusjonssystemene (sekundærnettene) i de enkelte byggene via en eller flere platevarmevekslere (undersentral, abonnentsentral). Større fjernvarmesystemer bygges vanligvis som indirekte systemer. De viktigste fordelene med en indirekte løsning er at eventuelle lekkasjer i sekundærsystemene ikke påvirker primærnettet, en unngår uakseptabelt høye systemtrykk ved store høydeforskjeller mellom abonnentene, omfanget og konsekvensene av driftsproblemer kan begrenses til deler av systemet og en oppnår klare ansvarsområder for eier av fjernvarmesystemet og den enkelte abonnent. Figur 3.66 viser en prinsipiell skisse av et fjernvarmesystem med indirekte systemløsning, mens Figur 3.67 viser eksempler på platevarmevekslere samt en prinsipiell skisse av en ett-trinns abonnentsentral (Pedersen, 2003).



Figur 3.66 Prinsipiell skisse av fjernvarmesystem med indirekte systemløsning.

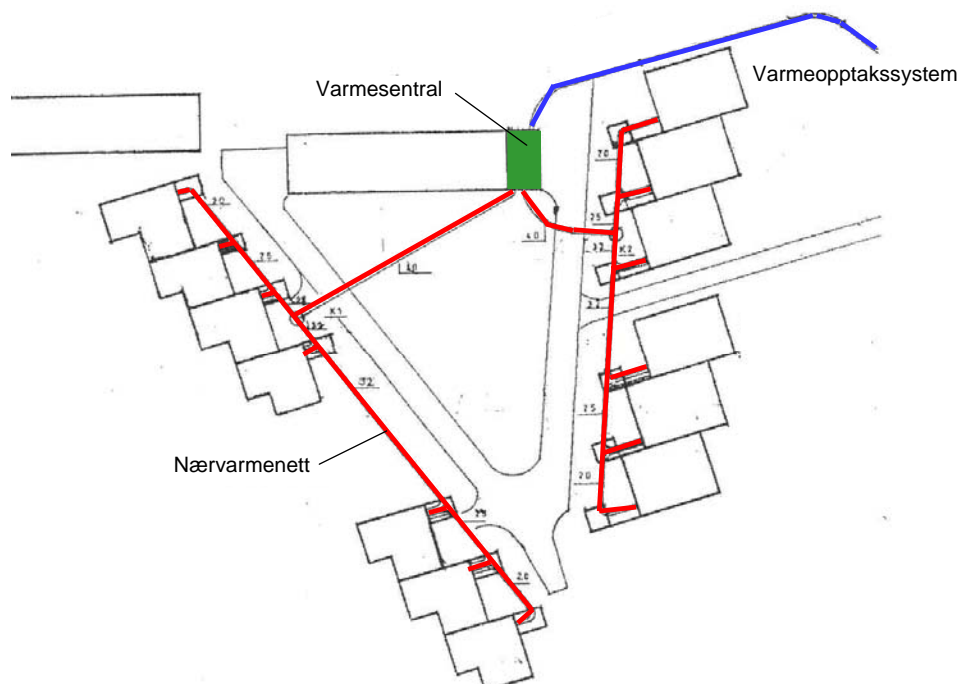


Figur 3.67 Eksempel på platevarmevekslere samt prinsippsskisse av abonnentsentral med varmeveksler for varmt tappevann (VV-1) og varmeveksler (VV-2) for romoppvarming (RV) og eventuell ettervarming av ventilasjonsluft (VB) (Pedersen, 2003).

I et *direkte fjernvarmesystem* sirkulerer vannet i hovednettet gjennom varmedistribusjonssystemene hos abonnentene (sekundærnettene) før det returnerer til varmesentralen. Oppvarmingen av varmt tappevann skjer via en platevarmeveksler i hvert bygg. I mindre fjernvarmesystemer for boligfelt, såkalte *nærvarmesystemer*, vil et direkte system gi lavere investeringskostnader ettersom en unngår bruk av platevarmeveksler og ekspansjonssystem hos hver abonnent. Figur 3.68 viser et eksempel på rørraséer for et 50 kW varmepumpebasert nærvarmesystem med direkte løsning ved Sjøbadet i Levanger.

Måling av avgitt varmeeffekt og -energi gjøres for hver bolig/bygning (abbonent). Ved flere brukere i samme bygning, for eksempel i boligblokker, bør avregningen beregnes på grunnlag av individuelle målinger hos hver enkelt bruker for å fremme effektiv energibruk.





Figur 3.68 Rørtraséer for nærvarmesystem med direkte løsning ved Sjøbadet i Levanger (COWI, 1999).

#### 3.7.2.4 Virkningsgrad

Termisk virkningsgrad for fjernvarme- og nærvarmesystemer vil ofte være høyere enn for individuelle oppvarmingssystemer i enkeltboliger på tross av varmetapet fra distribusjonsnettet. Dette skyldes at større varmesentraler generelt sett oppnår høyere virkningsgrad over året enn mindre anlegg samt at anleggene følges opp av profesjonelt driftspersonale. Det henvises i den sammenheng til de foregående avsnitt i dette kapittelet som beskriver virkningsgrader for elektrokjeler, gasskjeler, vedkjeler, pelletskjeler, vann/vannvarmepumper og væske/vann-varmepumper.

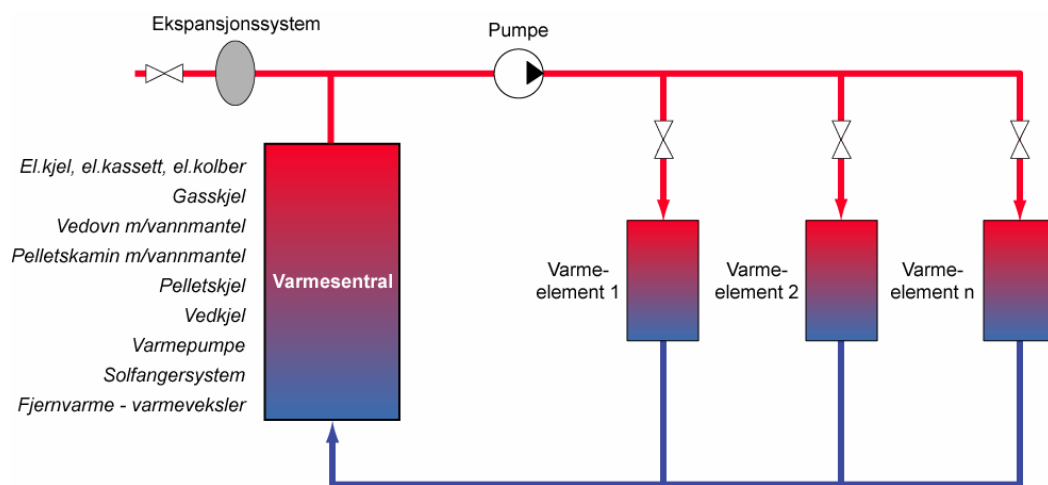
I forhold til oppvarmingssystemer for enkeltboliger muliggjør fjernvarme- og nærvarmesystemer utnyttelse av spillvarme fra industri, avfall fra husholdninger og næringsvirksomhet, biomasse som flis, bark og annet skogsavfall foruten varmepumper med høykvalitets varmekilder som avløpsvann (kloakk), spillvann/kjølevann fra industri, oppumpet sjøvann/grunnvann og energibrønner i fjell (termisk energilager).

## 4 VARMEDISTRIBUSJONSSYSTEMER

Dette kapitlet gir en beskrivelse av vannbårne varmelegg (sentralvarmesystemer) for boligbygg med hovedvekt på varmedistribusjonssystemer for å dekke romoppvarmingsbehov. Varmeproduserende enheter (varmesentraler) er presentert i [Kapittel 3](#), mens ventilasjonssystemer er beskrevet i [Kapittel 5](#).

### 4.1 INTRODUKSJON

Vannbårne varmelegg består av en varmeproduserende enhet (varmesentral), et lukket rørsystem med ekspansjonssystem og sirkulasjonspumper for distribusjon av varmt vann samt varmeavgivende elementer (ulike typer varmevekslere) for romoppvarming, beredning av varmt forbruksvann og eventuelt ettervarming av ventilasjonsluft. Figur 4.1 viser en prinsipiell skisse av et vannbåret varmelegg.



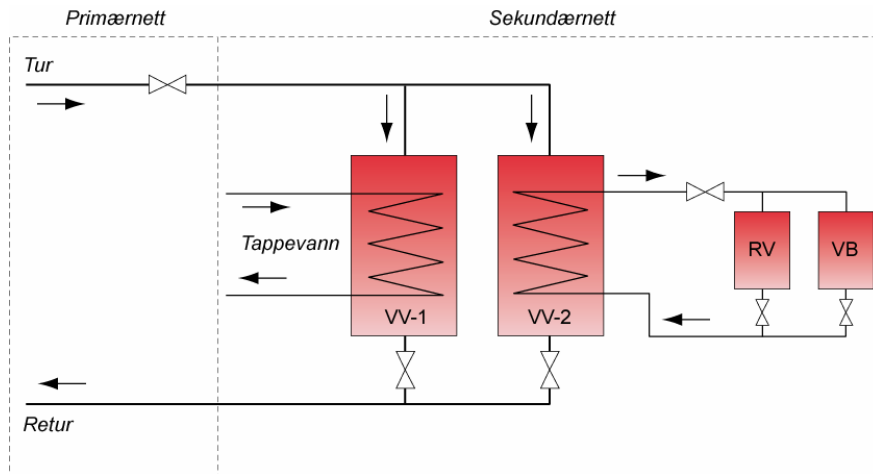
Figur 4.1 Prinsipiell skisse av et vannbåret varmelegg.

Aktuelle varmeproduserende enheter (varmesentraler) for tilkobling til vannbårne varmedistribusjonssystemer i lavenergiboliger omfatter (ref. [Kapittel 3](#)):

- Elektrisk oppvarmingssystem – el.kolber, el.kassett, elementkjel, elektrodekjel
- Gasskjel
- Vedovn med vannmantel
- Pelletskamin med vannmantel
- Pelletskjel
- Vedkjel
- Luft/vann-, væske/vann- og vann/vann-varmepumper
- Solfangersistem (aktiv solvarmeanlegg)
- Abonnentsentral (varmevekslere) i fjern- eller nærvarmeanlegg

### 4.2 BEREDNING AV VARMT FORBRUKSVANN

For varmtvannsberedning i vannbårne oppvarmingssystemer i boliger benyttes det enten direkte (momentan) oppvarming eller akkumulering av varmt vann i tanker. *Direkte system* er vanlig i fjernvarme- og nærvarmesystemer, og Figur 4.2 viser et prinsipielt eksempel på utforming av en abonnentsentral.



Figur 4.2 Prinsipielt eksempel på abonnentsentral i fjernvarme-/nærvarmeanlegg (ref. [Kapittel 3.7](#)), hvor platevarmeveksler VV-1 avgir varme for beredning av varmt tappevann mens varmeveksler VV-2 avgir varme til romoppvarming (RV) og ettervarming av ventilasjonsluft (VB).

Effektbehovet ved tapping av varmt vann ved håndvask, dusjing eller karbad utgjør i størrelsesorden 15–40 kW (Stene, 2004). Ved bruk av andre typer varmesentraler enn varmevekslere i fjernvarme-/nærvarmenett er det derfor vanlig å benytte en eller flere tanker for å akkumulere varmtvann. Installert effekt for varmesentralen kan da reduseres med i størrelsesorden 90–98% i forhold til et direkte system (Novakovic et al., 1998). Varmtvannstanken kan enten være en integrert del av varmesentralen (jfr. [Kapittel 3.6.3](#) og [Kapittel 3.6.4](#)), eller monteres som en separat enhet. Varmtvannstanker utføres normalt som et trykksatt system (4–6 bar), hvor det er nettvannstrykket som er drivende kraft ved tapping. Tankene isoleres med 40–50 mm mineralull eller ekstrudert polystyren (EPS) for å redusere varmetapet til boligen/omgivelsene.

For å unngå vekst av legionellabakterier i varmtvannstanker anbefales en minimum lagringstemperatur på 60–65°C (FHI, 2005). I beredere med elektriske varmekolber settes termostaten normalt på 75°C, mens temperaturnivået i varmtvannstanker som er tilkoblet varmpumper og solfangere bør senkes til laveste anbefalte nivå for å oppnå høyest mulig energieffektivitet for varmesentralen.

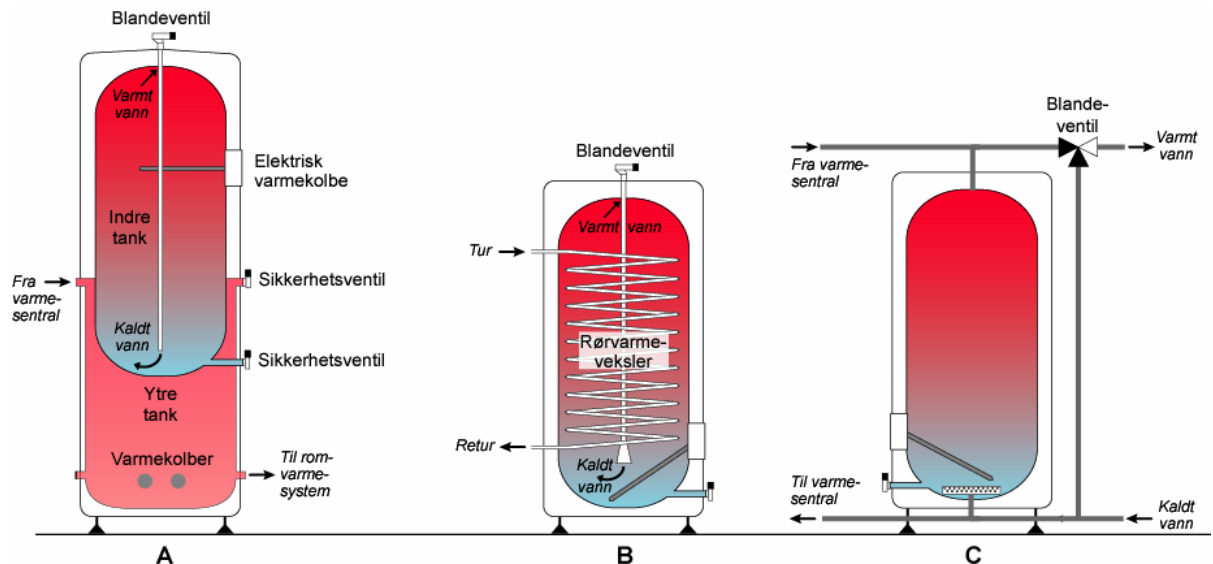
Det finnes to hovedtyper av varmtvannstanker for tilkobling til vannbårne varmedistribusjonssystemer:

- Dobbeltmantlet tank
- Enkeltmantlet tank med eller uten innebygd(e) rørvarmeveksler(e)

*Dobbeltmantlede varmtvannstanker* for boliger består av en indre primærtank for varmtvannsberedning, som er sveist sammen med en ytre sekundærtank som tilkobles et vannbårent varmedistribusjonssystem. Volumet av den indre/ytre tanken kan typisk være 200/120 eller 300/120 liter. Vannet fra varmesentralen strømmer gjennom den ytre tanken og forvarmer tappevannet i den indre tanken ved at det overføres varme gjennom bunnen og sideveggene i tanken. En elektrisk varmekolbe montert i toppen av varmtvannstanken benyttes til ettervarming/reservelast. I bunnen av den ytre tanken er det mulighet for å montere elektriske varmekolber for ettervarming og reservelast i romoppvarmingssystemet.

*Enkeltmantlede varmtvannstanker* for boliger leveres med typisk 100 til 300 liter vannvolum. Vannet i tanken varmes ved at varmt vann fra varmesentralen sirkulerer i en eller flere innebygde rørvarmevekslere eller en ekstern varmevekslerkrets. Dette gir mer effektiv varmeoverføring enn ved bruk av dobbeltmantlede varmtvannstanker. Ofte brukes elektriske varmekolber til ettervarming og reservelast.

Figur 4.3 viser prinsipielle skisser av en dobbeltmantlet varmtvannstank samt enkeltmantlede tanker med og uten innebygde varmeveksler.



Figur 4.3 Prinsipielt eksempel på dobbeltmantlet varmtvannstank (A), enkeltmantlet tank med intern rørvarmeveksler (B) og enkeltmantlet tank med ekstern tilkobling (C).

For varmtvannssystemet bør det tilstrebes kortest mulig rørføring ved å plassere tappestedene i størst mulig nærhet til varmtvannstanken. I tillegg bør både varmtvannstanken og varmtvannsrørene være godt isolert. Disse tiltakene vil bidra til å redusere den interne varmelasten i boligen, noe som er spesielt viktig i perioder hvor en allerede har et varmeoverskudd og må foreta utlufting/kryssventilering eller benytte kjøling for å holde romtemperaturen på ønsket nivå. Reduksjon av varmetapet fra varmtvannssystemet er også av stor betydning hvis det brukes en varmpumpe i varmesentralen, ettersom en varmpumpe har lavere energieffektivitet når den produserer varmt forbruksvann enn når den produserer varme til romoppvarming (ref. [Vedlegg A](#)).

### 4.3 ROMOPPVARMING – VARMEAVGIVENDE ELEMENTER

#### 4.3.1 Introduksjon

Aktuelle varmeavgivende elementer i vannbårne varmeanlegg for romoppvarming i boligbygg er:

- Radiatorer
- Konvektorer – viftekonvektorer
- Gulvvarmesystemer
- Takvarmesystemer
- Veggvarmesystemer
- Varmebatteri i balansert ventilasjonsanlegg

Vannbårne varmesystemer for romoppvarming i boliger utføres tradisjonelt som torørs-systemer hvor varmeelementene er parallellkoblet, og dermed mottar vann av tilnærmet samme temperatur. Det er også mulig å benytte et enklere ettrørs-system, hvor varmeelementene er seriekoblet og hvor vanntemperaturen avtar etter avkjøling i hvert varmeelement.

Når en skal vurdere bruk av vannbårne varmeanlegg i lavenergiboliger, er det avgjørende at det velges enkle løsninger slik at investerings- og installasjonskostnadene blir lavest mulig. Det bør i den sammenheng fokuseres på blant annet:

- Kortest mulig avstand mellom varmesentral og varmeelementer (dvs. minimalisering av rørføring)
- Bruk av enkle løsninger for rørgjennomføring gjennom etasjeskillere og vegger
- Bruk av enkle og hurtige teknikker for rørlegging og rørsammenføring
- Bruk av billige prefabrikerte enheter i varmedistribusjonssystemet, for eksempel enheter bestående av sirkulasjonspumpe, ekspansjonskar, reguleringsventiler, luftutskiller og sikkerhetsventil
- Bruk av effektive, enkle og billige elementer for varmeoverføring til rommet som muliggjør lavtemperatur varmedistribusjon, dvs. distribusjon av vann med relativ lav temperatur (<35°C)

### 4.3.2 Radiatorer

En radiator er bygd opp slik at arealet på luft- og vannsiden er tilnærmet like store. Radiatorens varmeavgivelse skjer ved typisk 40% konveksjon (luftoppvarming) og 60% termisk stråling. I radiatorer systemer reguleres normalt turvannstemperaturen fra varmesentralen i forhold til utetemperatur (utetemperaturkompensering), mens vannmengden gjennom hver radiator og dermed varmeavgivelsen reguleres ved hjelp av termostatventiler. Termostatiske reguleringsventiler muliggjør temperatursenkning på dag- og nattestid (dag-/nattsenkning). Figur 4.4 viser eksempler på utforming av radiatorer for boliger.



Figur 4.4 Eksempler på utforming av radiatorer for boliger.

Radiatorer har tradisjonelt vært dimensjonert for en tur-/returtemperatur på 80/60°C, 70/50°C eller 60/40°C, mens radiatorer for lavenergiboliger typisk vil dimensjoneres for 50/40°C. For lavenergiboliger vil det kun være behov for et fåtalls radiatorer ettersom dimensjonerende effektbehov for romoppvarming vil være i størrelsesorden 3 kW for en bolig på 150 m<sup>2</sup> (ref. [Kapittel 2.4](#)).

### 4.3.3 Konvektorer

En konvektor er bygget opp med lameller slik at varmeoverføringsarealet på luftsiden er vesentlig større enn på vannsiden, og de leveres med og uten vifte. For en konvektor uten vifte (fri konveksjon) vil varmeavgivelsen skje ved typisk 60% konveksjon (luftoppvarming) og 40% stråling, mens det meste av varmen avgis ved konveksjon for viftekonvektorer (tvungen konveksjon). På grunn av beskjeden metallmasse har konvektorer liten varmetreghet (lav tidskonstant), og ved endring i varmebelastningen i rommet endres varmeavgivelsen fra konvektoren raskt.

Viftekonvektorer leveres for gulv, vegg eller takmontasje, og de har samme prinsipielle funksjon som en gassfyrt ovn med vifte eller en elektrisk vifteovn. Viftekonvektorer for boliger fås med varmeytelse fra 0,6 til 15 kW (Råd&Rön, 1998; VKON, 2005), og for en lavenergibolig vil det være tilstrekkelig med en til to mindre viftekonvektorer for å dekke romvarmebehovet. Ytelsesdata er normalt oppgitt ved 50/45°C tur-/returtemperatur på vannet og 20°C lufttemperatur. Ved lavere inngående vanntemperatur vil ytelsen avta. Eksempelvis vil varmeytelsen avta med 35–40% hvis inngående vanntemperatur reduseres fra 50 til 40°C.

Viftekonvektorer har trinnvis termostatstyrt regulering av viften. For filtrering av luften som strømmer gjennom elementet benyttes et konvensjonelt kunstfiberfilter eller et elektrostatisk filter. Viftekonvektorer bør ikke plasseres for nærme oppholdssonene i boligen ettersom de genererer noe støy. Lydnivået bestemmes av viftehastigheten, og ligger typisk i området 28–40 og 48–54 dBA ved henholdsvis minimum og maksimum kapasitet. Til sammenlikning ligger maksimalt lydnivå fra innedelen til luft/luft-varmepumper i området 58–63 dBA (Råd&Rön, 2004/2005). Effektbehovet for viften ligger i området 20–30 W for de beste modellene (Råd&Rön, 1998).

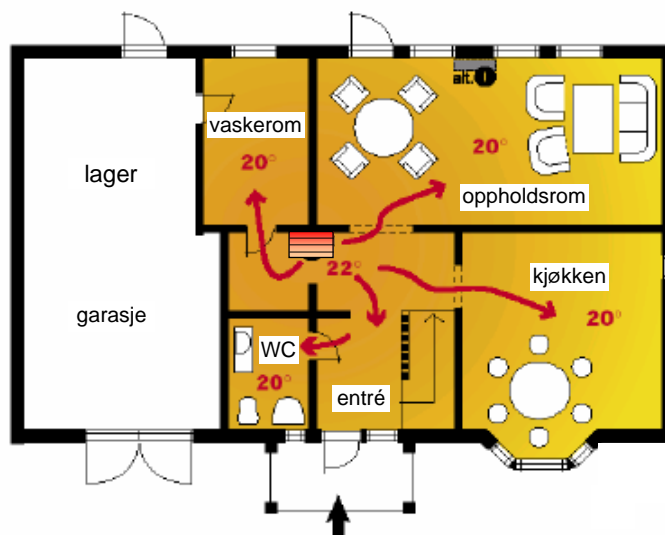
Figur 4.5 viser eksempler på moderne viftekonvektorer for boliger for tilkobling til et enkelt vannbårent varmedistribusjonssystem.



Figur 4.5 Eksempel på utforming av viftekonvektorer for tilkobling til vannbårent varmesystem.

Hvis varmesentralen består av en væske/vann-varmepumpe som er tilkoblet en eller flere energibrønn(er) i fjell, kan anlegget utnyttes til *klimakjøling* i boligen (frikjøling, direkte varmeveksling). En må da benytte en viftekonvektor som er utformet for kombinert varme- og kjøle drift (4-rørssystem med utvendig dryppanne). Viftekonvektoren kobles til kollektorslangen i energibrønnen(e) hvor temperaturen på kuldebæreren typisk vil være omkring 5°C i sommerhalvåret. Maksimal kjøleeffekt fra viftekonvektorer for boliger varierer typisk fra ca. 300 W til 3 kW ved 8°C inngående væsketemperatur (VKON, 2005).

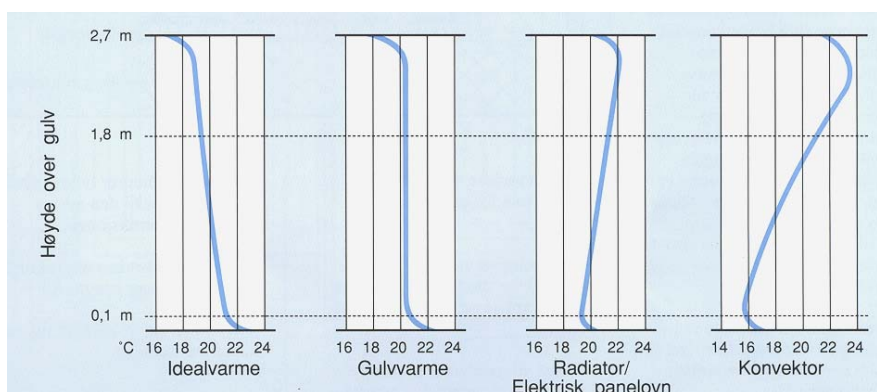
Figur 4.6 viser et prinsipielt eksempel på distribusjon av varmluft fra en sentralt plassert viftekonvektor i 1. etasje i en velisolert enebolig (Grønli et al., 1999).



Figur 4.6 Eksempel på distribusjon av varmluft fra en viftekonvektor i en enebolig (Grønli et al., 1999).

#### 4.3.4 Gulvvarmesystemer

I et gulvvarmesystem benyttes hele eller deler av boligens gulvflate som heteflate, og det meste av varmen avgis som lavtemperatur termisk stråling. I lavenergiboliger vil nødvendig overflatetemperatur ved et dimensjonerende effektbehov på 20–30 W/m<sup>2</sup> være i størrelsesorden 22–24°C, det vil si innenfor det ideelle området 21–26°C. På grunn av den store strålingsandelen fra et gulvvarmeanlegg vil det for en lavenergibolig være mulig å senke lufttemperaturen opptil 2°C i forhold til normalt nivå. (Gundersen, 1998). Bruk av lavtemperatur gulvvarmesystemer gir forøvrig vesentlig mindre temperaturforskjeller mellom gulv og tak enn oppvarmingssystemer basert på konvektiv varmeavgivelse (luftoppvarming), og dermed bedre termisk komfort (ref. [Kapittel 6.1.4](#)). Figur 4.7 viser prinsipielle temperaturprofiler for gulvvarmesystem, radiator/panelovn og konvektor (Prenøk, 2005).

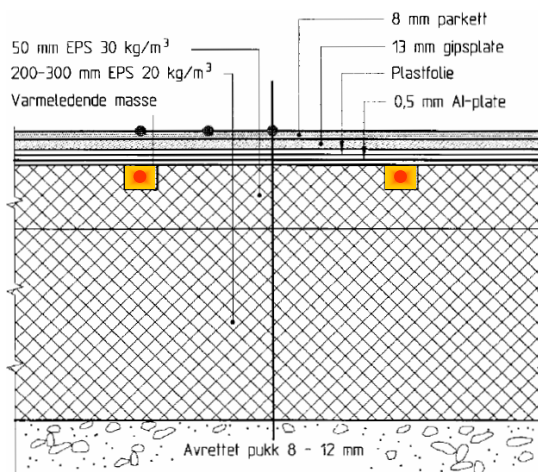


Figur 4.7 Prinsipielle temperaturprofiler for ulike oppvarmingssystemer (Prenøk, 2005).

Vannbårne gulvvarmesystemer består av diffusjonstette plastrør (PEX- eller PB-rør, Ø15–22 mm), som installeres i gulv mot grunnen eller i trebjelkelag. Distribusjonstemperaturen på vannet bør være lavest mulig ettersom dette bidrar til lite varmetap når rørene legges mot grunnen samt høy virkningsgrad for varmpumper, kondenserende gasskjeler og solfangere. For å kunne oppnå minst mulig temperaturforskjell mellom vannet i rørene og gulvoverflaten er det viktig at det benyttes isolerende materiale under vannrørene, at rørene har god termisk kontakt med overliggende materiale, at varmemotstanden for materialene over varmerørene er liten, at rørene legges med moderat innbyrdes avstand (CC-verdi) samt at materialsjiktet i gulvoverflaten har lav termisk diffusivitet (temperaturledningsevne)<sup>3</sup>. Ved riktig utforming av gulvvarmesystemet vil det være tilstrekkelig med en midlere vanntemperatur i størrelsesorden 28–33°C ved et effektbehov på 20–30 W/m<sup>2</sup> (Gundersen, 1998).

*Gulv mot grunnen* – Tradisjonelt støpes rørsøyfene ned i et 50 til 100 mm betongdekke. Under betongen legges minimum 200 mm trykkfast isolasjon for å holde varmetapet på et lavt nivå. Betong er en god varmeleder og varmen fordeles jevnt i betongsjiktet. Ulempen med betong er imidlertid at gulvets store termiske masse fører til at systemet får stor termisk treghet (høy tidskonstant/responstid), slik at det tar lang tid fra det tilføres varme til overflatetemperaturen endrer seg. Gulvvarmeanlegg mot grunnen kan alternativt utføres som lette, flytende konstruksjoner. Figur 4.8 viser et eksempel på en konstruksjon bestående av rør lagt i spor i isolasjonsplater. Rundt rørene er det lagt varmeledende masse, og over rørene er det lagt 0,5 mm heldekkende aluminiumsplater, 13 mm gipsplate og 8 mm parkett (Gundersen, 1998).

<sup>3</sup> Er et mål for hvor hurtig en temperaturendring forplantes gjennom et materiale. Ved samme overflatetemperatur vil tregulv kjennes varmere ved berøring enn f.eks. laminatgulv eller flis da tregulv har mye lavere termisk diffusivitet.

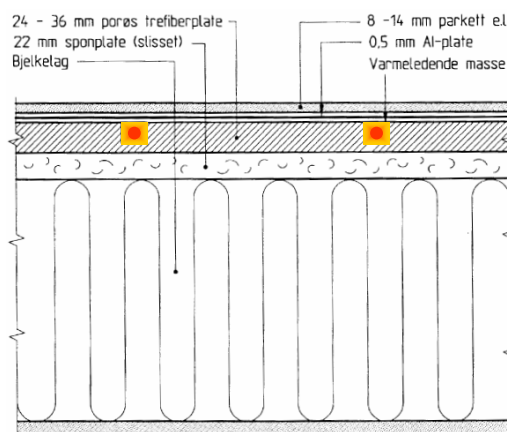


Figur 4.8 Eksempler på utførelse av lett, flytende gulvvarmesystem mot grunnen (Gundersen, 1998).

*Gulv i trebjelkelag* – I våtrom legges gulvvarmerørene på gipsplater med påstøp (avrettingsmasse). I rom uten fuktbelastning installeres rørene i trefiberplater/isoporplater med utfreste spor eller i spaltegulv bygd opp av listverk. De prefabrikerte isolasjonsplatene representerer en mer kostbar løsning, men de har den fordel at de også fungerer som trinnlydsplater og er knirkfrie. For å sikre god varmeoverføring fra rørene til overliggende flate legges rørene i tynne profilerte aluminiumsplater ( $\Omega$ -profiler). Over platene legges det ullfilt og deretter parkett, gipsplater/flis eller sponplater/gipsplater og gulvbelegg/teppe. Typisk senteravstand for rørene i lavtemperatur gulvvarmesystemer er 20–30 cm i oppholdsrom og 10–15 cm på bad.

Lette gulvvarmesystemer gir mye raskere regulering enn gulvvarmesystemer i betonggulv på grunn av vesentlig mindre termisk masse (lavere termisk treghet). Mens responstiden for gulvvarmesystemer i betong er på flere timer, er den typisk 10–15 minutter for lette systemer installert i trebjelkelag eller mot grunnen. Det betyr at systemene er velegnet i lavenergiboliger hvor varmebehovet vil kunne endre seg hurtig avhengig av endringer i intern varmebelastning (personer, lys) og ekstern varmebelastning (sol).

Figur 4.9 viser legging av gulvvarmerør i profilerte aluminiumsplater på trefiberplate samt et eksempel på oppbygging av et lett gulvvarmesystem basert på de samme prinsippene som vist i Figur 4.8.

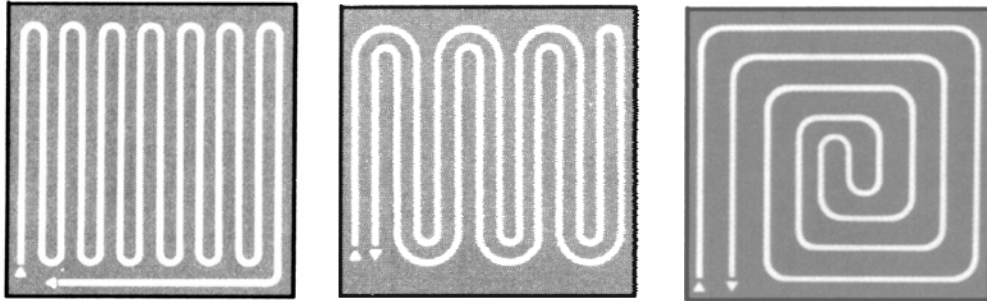


Figur 4.9 Legging av gulvvarmerør i profilerte aluminiumsplater (venstre) samt eksempel på utføring av lett gulvvarmeanlegg i mellombjelkelag (Gundersen, 1998).

I lavenergiboliger kan det legges én gulvvarmekurs per oppholdsrom, bad og vaskerom, mens soverom normalt ikke trenger oppvarming. I passivhus vil det på grunn av lavere romvarmebehov kun være nødvendig å installere gulvvarmesystem på en mindre andel av gulvflaten.



Figur 4.10 viser prinsipielle eksempler på ulike leggemønstre for gulvvarmekurser (Prenøk, 2005). For lavtemperatur gulvvarmsystemer i lavenergiboliger vil valg av leggemønstre ha liten innvirkning på varmefordelingen (termisk komfort).



Figur 4.10 Eksempel på aktuelle leggemønstre for gulvvarmerør (Prenøk, 2005).

For å kunne kjøre med lave vanntemperaturer og samtidig oppnå en relativt homogen gulvtemperatur, må avkjølingen av vannet i de enkelte gulvvarmekursene kun være et par °C. I lavenergiboliger er det under stasjonære forhold mulig å holde temperaturforskjeller på gulvflaten under  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (Gundersen, 1998).

Det er mest vanlig å kjøre lavtemperatur gulvvarmesystemer med tilnærmet konstant turvannstemperatur. Avgitt varmeeffekt reguleres ved at romtermostater i hvert rom eller grupper av rom åpner for vannsirkulasjon i de aktuelle varmekursene (på/av regulering). Gulvvarmesystemer med lave distribusjonstemperaturer er forøvrig til en viss grad selvregulerende, ettersom en forhøyet romtemperatur vil redusere varmeavgivelsen fra gulvvarmesystemet.

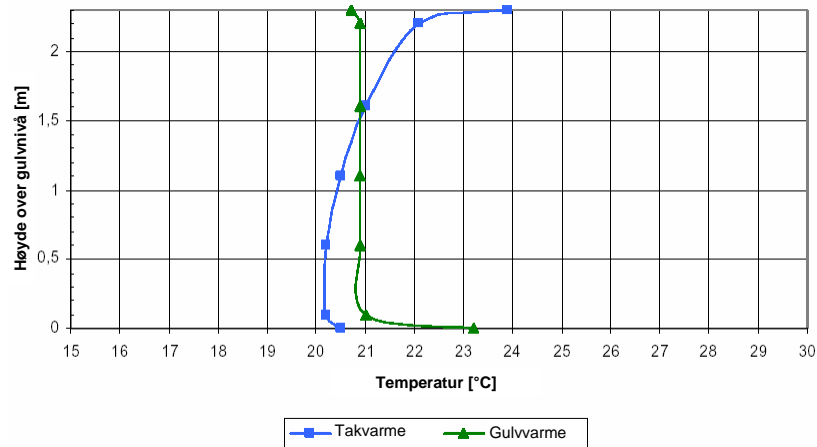
### 4.3.5 Takvarmesystemer

I lavtemperatur takvarmesystemer benyttes hele eller deler av boligens takflate som heteflate, og det meste av varmen avgis derfor ved termisk stråling. På linje med gulvvarmesystemer gir takvarmesystemer høyere midlere strålingstemperatur og lavere lufttemperatur enn panelovner, radiatorer og konvektorer.

Mennesker er vesentlig mer følsomme for strålingsasymmetri fra tak enn fra gulv og vegger, slik at tak som har en vesentlig høyere temperatur enn lufttemperaturen vil gi ubehag og dårlig termisk komfort. Ved mindre enn  $5^{\circ}\text{C}$  forskjell mellom overflatetemperaturen i taket og lufttemperaturen vil imidlertid termisk komfort være fullt ut tilfredsstillende (ref. [Kapittel 6.1.4](#)). Det betyr i praksis at takvarmesystemer er vel-egnet til oppvarming av lavenergiboliger og passivhus ettersom nødvendig taktemperatur vil være lavere enn ca.  $25\text{--}26^{\circ}\text{C}$ .

Ved de effektbehovene en har til romoppvarming i lavenergiboliger og passivhus ( $<30\text{ W/m}^2$ ) vil vertikal temperaturgradient fra 0,1 til 1,1 meter over gulvet være tilnærmet den samme som for gulvvarmesystemer ( $<1^{\circ}\text{C}$ ). Figur 4.11 viser målt vertikal temperaturgradient for gulv- og takvarmesystem ved  $30^{\circ}\text{C}$  midlere vanntemperatur i rørsystemet (Gundersen og Schild, 2005).

Overflatetemperaturen i tak må være ca.  $1^{\circ}\text{C}$  høyere enn for gulv for å kunne avgi samme varmeeffekt ettersom den konvektive varmeavgivelsen fra en varm takflate er mindre enn fra et varmt gulv. Ettersom himlingsplater ikke trenger å ha samme mekaniske styrke som et gulv kan en benytte tynnere materialer, slik at varmeledningsmotstanden blir lavere enn for gulvvarmesystemer. I et takvarmeanlegg benyttes dessuten hele flaten til varmeavgivelse, mens noe av flaten i gulvvarmesystemer vil være dekket av for eksempel tepper og møbler. Et riktig utformet takvarmeanlegg vil dermed avgi samme varmeeffekt som et gulvvarmeanlegg ved samme vanntemperatur.



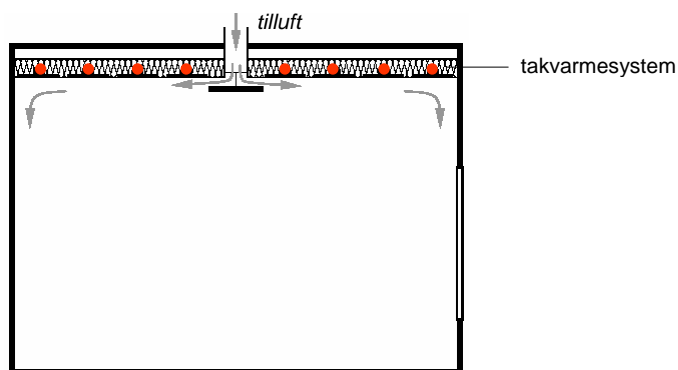
Figur 4.11 Målt vertikal temperaturgradient for gulv- og takvarmesystem ved 30°C midlere vann-temperatur i rørsystemet (Gundersen og Schild, 2005).

Lavtemperatur takvarmesystemer med rask temperaturrespons kan bygges opp på prinsipielt samme måte som gulvvarmesystemer, det vil si med vannrør i plast (PEX, PB), prefabrikerte isolasjonsplater med utfreste spor, varmfordelingsplater i aluminium og tynne himlingsplater. En fordel med takvarmesystemer er at de er lettere og billigere å montere enn gulvvarmesystemer. Ettersom systemene monteres i mellombjelkelag vil dessuten all varme som avgis fra anlegget komme boligen til nytte uten tilleggsvarmetap til grunnen eller omgivelsene. Figur 4.12 viser et eksempel på utforming av et termisk lett lavtemperatur takvarmesystem med prefabrikerte trefiberplater og aluminiumsplater. Det er også vist et eksempel på leggemønster for vannrørene (Gundersen og Schild, 2005).



Figur 4.12 Utforming av lavtemperatur takvarmesystem bestående av trefiberplater og aluminiumsplater samt eksempel på leggemønster for vannrørene (Gundersen og Schild, 2005).

Takvarmesystemer kan også benyttes til ettervarming av ventilasjonsluften etter varmegjenvinneren i balanserte ventilasjonsanlegg. Dette gir typisk 10% økning i avgitt varmeeffekt fra takvarmeanlegget da luftstrømningen langs taket bedrer varmeovergangen. Ved disse driftsforholdene vil den vertikale temperaturgradienten, det vil si temperaturforskjellen mellom gulv og tak, være tilnærmet den samme som for gulvvarmesystemer. Figur 4.13 viser et prinsipielt eksempel på plassering av en radiell innblåsningsventil i forhold til takvarmesystemet (Gundersen og Schild, 2005).



Figur 4.13 Oppvarming av ventilasjonsluft med takvarmesystem (Gundersen og Schild, 2005).

Takvarmesystemer kan også benyttes til klimakjøling ved at vannet i rørene avkjøles av for eksempel energibrønnen i et væske/vann-varmepumpesystem (frikjøling). Kjølebehovet dekkes dermed på en energieffektiv måte ettersom det kun er behov for energiførsel til sirkulasjonspumpene.

#### 4.3.6 Veggvarmesystemer

Lavtemperatur veggvarmesystemer har først og fremst vært vurdert ved etterinstallasjon av vannbåren varme i eksisterende boliger, ikke ved nyinstallasjoner. I denne typen anlegg benyttes veggene i boligen som heteplate, og som for gulv- og takvarmesystemer avgis det meste av varmen ved termisk stråling. Målinger og tilbakemelding fra brukere tilsier at veggvarme bidrar til tilfredsstillende termisk komfort, og den vertikale temperaturgradienten er lavere enn ved bruk av panelovner, radiatorer og konvektorer (Byggforsk, 2002).

Lavtemperatur veggvarmesystemer kan bygges opp på prinsipielt samme måte som gulvvarmesystemer, det vil si med vannrør i plast (PEX, PB), prefabrikerte isolasjonsplater med utfreste spor, varmfordelingsplater i aluminium og gips-/sponplater. Veggvarmesystemer bør installeres på innervegg for å unngå tilleggsvarmetap til omgivelsene og samtidig gi mulighet for varmeavgivelse fra begge sider av vegg.

## 5 VENTILASJONSSYSTEMER

### 5.1 INTRODUKSJON

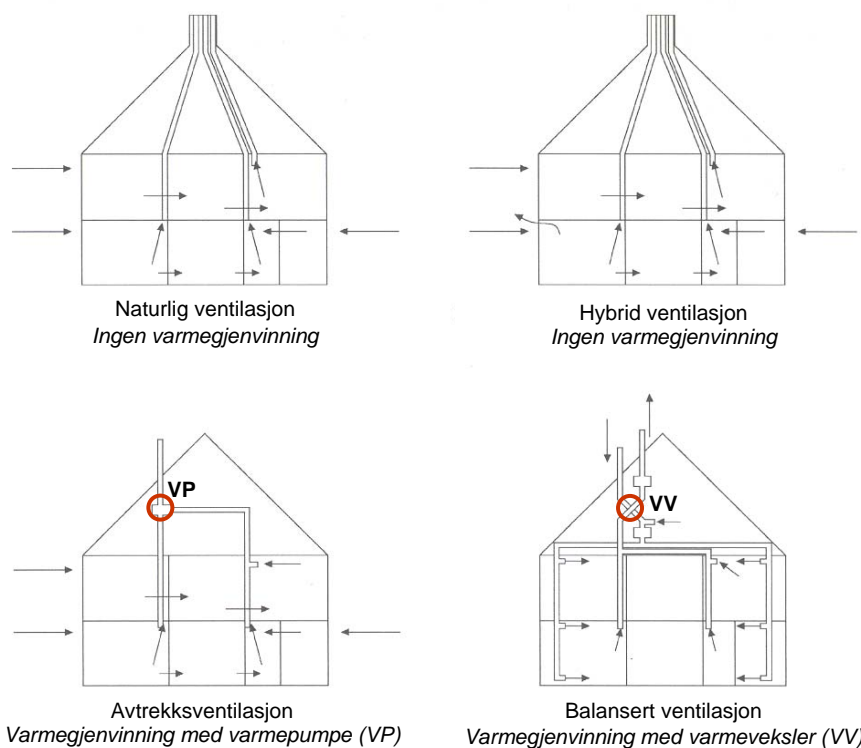
Lavenergiboliger og passivhus er meget lufttette med svært små luftlekkasjer gjennom bygningskroppen (infiltrasjon/eksfiltrasjon). For å få oppnå tilfredsstillende kvalitet på luften i boligen (IAQ)<sup>4</sup> er det derfor nødvendig med et ventilasjonsanlegg som kan tilføre nødvendig friskluft og fjerne luftforurensninger og fukt fra boligen. Veiledningen til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (REN) angir at frisklufttilførselen i norske boliger skal være minst 0,5 luftvekslinger per time ( $0,5 \text{ h}^{-1}$ ), dvs. at luften i hvert rom i boligen skal skiftes ut 6 ganger per døgn. Når friskluft tilføres boligen må luften varmes opp fra ute- til innetemperatur, noe som krever energi. For et ventilasjonsanlegg uten varmegjenvinning, dvs. ingen overføring av varme fra avtrekksluften til tilført friskluft, vil varmebehovet for å varme opp ventilasjonsluften i en middels stor enebolig i Oslo-klima typisk utgjøre ca. 9.000 kWh/år (Myhre og Dokka, 2004). Med en årlig gjenvinningsgrad mellom 60–80% vil dette ventilasjonstapet reduseres til ca. 1.800–3.600 kWh/år.

### 5.2 SAMMENLIKNING AV VENTILASJONSSYSTEMER

Ventilasjonssystemer kan deles inn i fire hovedtyper:

- Naturlig ventilasjon
- Hybrid ventilasjon
- Avtrekksventilasjon
- Balansert ventilasjon

Figur 5.1 viser prinsipielle skisser av ventilasjonssystemene (Breembroek og Dieleman, 2001).



Figur 5.1 Prinsipielle skisser av ulike ventilasjonssystemer for boliger (Breembroek og Dieleman, 2001).

<sup>4</sup> IAQ – Indoor Air Quality

### 5.2.1 Naturlig ventilasjon

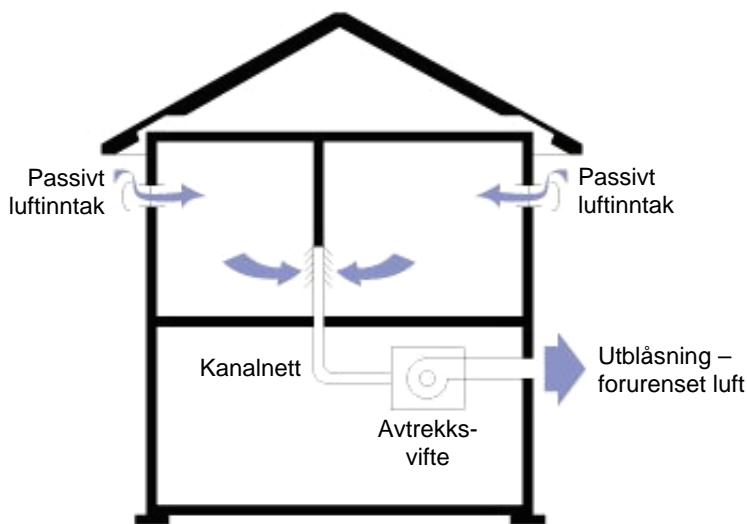
Naturlige ventilasjon baserer seg på at termisk oppdrift, gitt av temperaturforskjellen (tetthetsforskjellen) mellom inne- og uteluften, samt vind bidrar til at luft suges inn og trekkes ut i henholdsvis nedre og øvre del av bygningen (gitt av trykkdifferansegradienten). I naturlige ventilasjonssystemer vil luftutskiftingen variere med værforholdene, og det vil derfor periodevis være behov for lufting gjennom vinduer og eventuelt dører for å opprettholde ønsket luftkvalitet i boligen. Ettersom det er vanskelig å gjenvinne varmen i avtrekksluften er naturlige ventilasjonssystemer lite aktuelt i lavenergiboliger og passivhus.

### 5.2.2 Hybrid ventilasjon

Hybride ventilasjonssystemer baserer seg på de samme prinsippene for frisklufttilførsel og avtrekk som i boliger med naturlig ventilasjon, men i tillegg benyttes vifter som aktiveres når de naturlige oppdriftskreftene er for små. Viftene kan bl.a. styres av trykkforskjeller, temperaturforskjeller eller CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i inneluften (Breembroek og Dieleman, 2001). Ettersom det er vanskelig å oppnå høy effektivitet ved varmegjenvinning, er hybride ventilasjonssystemer lite aktuelt i lavenergiboliger og passivhus.

### 5.2.3 Avtrekksventilasjon

I boliger med avtrekksventilasjon suger en vifte forurenset og fuktig luft ut gjennom egne avtrekkskanaler på kjøkken, toalett, bad og andre våtrom (enkelt kanalnett). Det benyttes vanligvis eget avtrekk fra komfyr. Frisk luft strømmer inn gjennom spalteventiler over vinduene eller gjennom spesielle veggventiler som er spesielt utformet for å redusere trekk. Så lenge uteluft-temperaturen er lavere enn inneluft-temperaturen vil luften som strømmer inn i boligen varmes opp til innetemperatur av romoppvarmingssystemet. Figur 5.2 gir en prinsipiell framstilling av en bolig med avtrekksventilasjon.



Figur 5.2 Prinsipiell framstilling av bolig med avtrekksventilasjon.

Ved normal trykkfordeling vil det være undertrykk i nedre del av bygningen og overtrykk i øvre del, og plasseringen av nøytralaksen bestemmes av temperaturredifferansen mellom ute-/inneluften (tetthetsforskjellen), vindforholdene, plassering av ventiler, utettheter i bygningskroppen samt mengden luft som avtrekksanlegget trekker ut av bygningen. Avtrekksventilasjon krever særdeles tette hus (luftlekkasjetall under 1,0 h<sup>-1</sup>) og relativt stor avtrekksluftmengde for at eventuelle soverom i andre etasje skal kunne ha nok undertrykk slik at ønsket luftmengde kan strømme inn gjennom ventilene (Myhre og Dokka, 2004). Det betyr at avtrekksventilasjon representerer en mulig løsning i tette lavenergiboliger og passivhus.

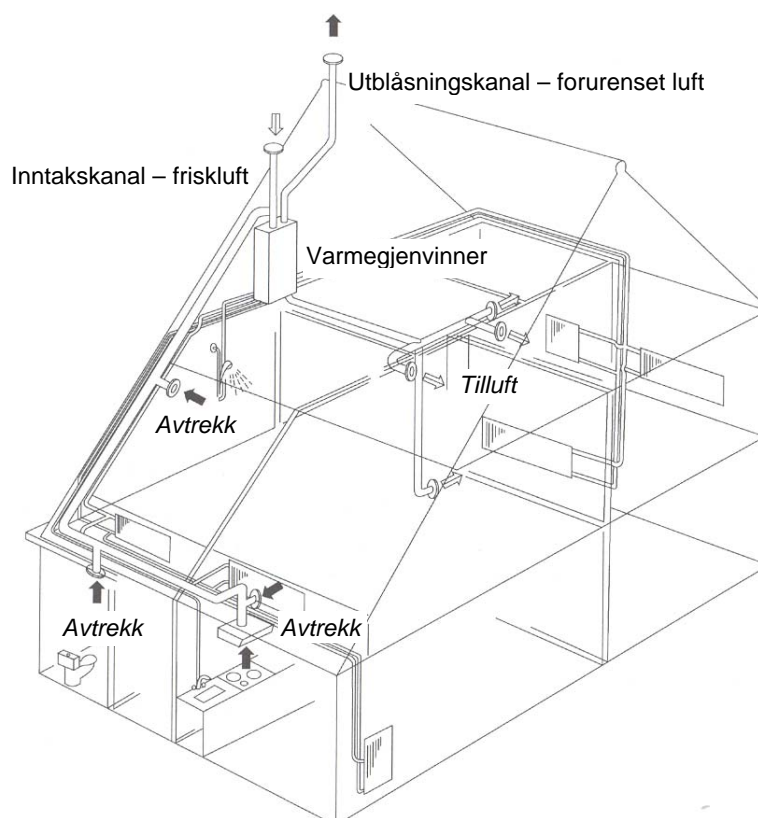
En ulempe med avtrekksventilasjon er at det ikke skjer noen oppvarming av den friske luften som tilføres boligen. Om vinteren er det derfor fare for trekk når kald luft strømmer inn gjennom ventilene. Sammenliknet med balanserte ventilasjonsanlegg vil avtrekksventilasjon ikke gi samme kontroll på tilført luftmengde til de ulike rom i boligen, og vil derfor ikke gi like tilfredsstillende inneklima.

Viftene i et anlegg med avtrekksventilasjon har et typisk årlig elektrisitetsbehov på omkring  $2 \text{ kWh/m}^2$  (Myhre og Dokka, 2004). Det tilsvarer 300 kWh/år for en enebolig på  $150 \text{ m}^2$ . Breembroek og Dieleman (2001) oppgir et årlig elektrisitetsbehov i området 100–400 kWh/år for eneboliger i ulike størrelser, og disse verdiene samsvarer godt med de norske tallene.

Varmen fra avtrekksluften i denne typen ventilasjonssystemer gjenvinnes best med en *varmepumpe*, som benytter avtrekksluften som varmekilde. Ulike typer avtrekksvarmepumper er beskrevet i [Kapittel 3.6.3, Ventilasjonsluft-varmepumper](#).

#### 5.2.4 Balansert ventilasjon

I boliger med balansert ventilasjon benyttes to separate kanalsystemer for tilførsel av friskluft og fjerning av forurenset og fuktig inneluft, og kanalsystemene har hver sin vifte. Ventilasjonsanlegget sørger for ønsket frisklufttilførsel til alle oppholdsrom, med avtrekk fra kjøkken, toalett, bad og andre våtrom. Figur 5.3 viser et prinsipielt eksempel på enebolig med balansert ventilasjonsanlegg og radiatorsystem for romoppvarming (Breembroek og Dieleman, 2001).



Figur 5.3 Eksempel på bolig med balansert ventilasjonssystem (Breembroek og Dieleman, 2001).

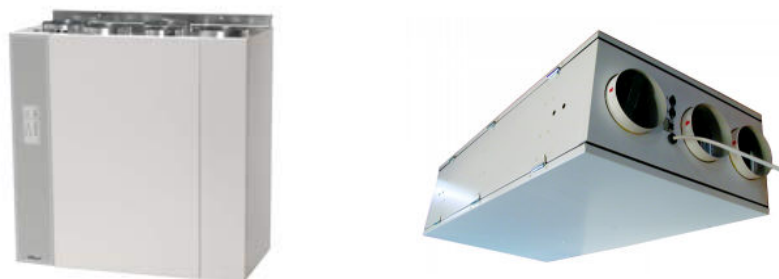
Ved bruk av balansert ventilasjon er det viktig at boligen har høy tetthet, ettersom eventuelle luftlekkasjer gjennom bygningskroppen (infiltrasjon) vil komme i tillegg til ventilasjonsluftmengden og øke det totale luftskiftet utover behovet. Denne typen ventilasjonsanlegg egner seg derfor godt i lavenergiboliger og passivhus ettersom bygningskroppen har lavt luftlekkasjetall samt at en oppnår effektiv varmegjenvinning fra avtrekksluften og god inneluftkvalitet i alle rom.

Varmen fra avtrekksluften i balanserte ventilasjonsanlegg gjenvinnes ved direkte varmeveksling med en *varmegjenvinner*, ved bruk av en *varmepumpe* eller ved en kombinasjon av disse. Varmepumper for gjenvinning av varme fra avtrekksluften er beskrevet i [Kapittel 3.6.3, Ventilasjonsluft-varmepumper](#). For begge løsningene monteres vifter, filter og varmeoverførende enhet sammen i et kompakt aggregat.

Varmegjenvinnerne deles inn i to hovedtyper:

- *Rekuperativ* (statisk varmeveksler) – Varmen overføres ved varmeoverføring gjennom tynne metallvegger som skiller luftstrømmene fra hverandre. Eksempler på rekuperative varmevekslere er kryssvarmeveksler og motstrømsveksler.
- *Regenerativ* (syklisk varmeveksler) – Varmen overføres ved at et varmeakkumulerende materiale vekselvis bringes i kontakt med varm avtrekksluft og kaldere tilluft. Eksempler på regenerative varmevekslere er kammervarmeveksler og roterende varmeveksler.

I motsetning til regenerative gjenvinnere foregår det ingen fuktoverføring i rekuperative gjenvinnere, og de må derfor utstyres med frostfritt kondensavløp for å fjerne fuktighet som tidvis avsettes i varmeveksleren. Rekuperative gjenvinnere har dessuten et eget varmeelement som forvarmer inntaksluften og hindrer tilfrysing av gjenvinneren når avtrekksluften kjøles ned mot frysepunktet ved lave uteluft-temperaturer. En ulempe med regenerative gjenvinnere er at de kan overføre lukt, og kjøkkenavtrekk bør derfor ledes utenom varmeveksleren. Figur 5.4 viser eksempler på ventilasjonsaggregater for boliger med roterende varmegjenvinner. Modellen til venstre har egen by-pass for tilkobling av kanal fra kjøkkenhette.



Figur 5.4 Eksempler på ventilasjonsaggregater med roterende varmegjenvinner for boliger.

Temperaturvirkningsgraden (momentan virkningsgrad) for varmegjenvinnere er gitt av (NS-EN 832):

$$\eta = \left( \frac{t_{\text{avtrekk}} - t_{\text{avkjølt}}}{t_{\text{avtrekk}} - t_{\text{ute}}} \right) \cdot 100\% \quad (5.1)$$

hvor  $t_{\text{avtrekk}}$  er temperaturen på avtrekksluften inn på varmegjenvinneren,  $t_{\text{ute}}$  er uteluft-temperaturen og  $t_{\text{avkjølt}}$  er temperaturen på avkjølt avtrekksluft ut fra varmegjenvinneren. Temperaturvirkningsgraden er her bestemt av avtrekksluftens avkjølingsgrad, dvs.  $(t_{\text{avtrekk}} - t_{\text{avkjølt}})$ , og vil være 100% når avtrekksluften kjøles helt ned til uteluftens temperatur ( $t_{\text{ute}}$ ). Temperaturvirkningsgraden for dagens beste varmegjenvinnere for boliger er 85–90%, mot 50–60% for eldre systemer (Breembroek og Dieleman, 2001). Kryssvarmevekslere har en temperaturvirkningsgrad på typisk 50–70%, roterende varmegjenvinnere og kammervarmevekslere ligger mellom 70–80% mens motstrømsvarmevekslere ligger opp mot 90% (Ventprod, 2005).

Momentanvirkningsgraden for en varmegjenvinner tar ikke hensyn til lekkasjetap i kanalsystemet, varmetap til uoppvarmede rom samt eventuelt behov for forvarming av uteluften ved lave temperaturer (rekupe-  
rative gjenvinnere). *Årsvirkningsgraden* vil derfor alltid være lavere enn momentanvirkningsgraden, og den er avhengig av type varmegjenvinner samt temperatur og luftfuktighet for inne- og uteluften over året.

Tabell 5.1 viser forskjellen mellom momentanvirkningsgrad og beregnet årsvirkningsgrad for en kammervarmeveksler og en platevarmeveksler som driftes ulike steder i Norge (Myhre og Dokka, 2004).

Tabell 5.1 Sammenlikning av momentanvirkningsgrad og beregnet årsvirkningsgrad for ventilasjonsaggregater med ulike typer varmevekslere (Myhre og Dokka, 2004).

	<b>Momentanvirkningsgrad</b>	<b>Beregnet årsvirkningsgrad</b>	<b>Reduksjon i virkningsgrad</b>
Kammervarmveksler	75%	62 – 69%	6 – 13%-poeng
Platevarmeveksler	85%	53 – 73%	12 – 32%-poeng

Jo lavere årsmiddeltemperatur for uteluften, desto lavere blir årsvirkningsgraden for gjenvinnerene. Platevarmeveksleren har den klart største forskjellen mellom momentanvirkningsgrad og årsvirkningsgrad på grunn av behovet for forvarming av uteluften ved avkasttemperaturer lavere enn ca. +4°C (frostsikring).

For standard, balanserte ventilasjonsanlegg utgjør det årlige elektrisitetsbehovet til tillufts-/avtrekksviftene i størrelsesorden 8–12 kWh/(m<sup>2</sup>år), men det kan reduseres til ca. 5–6 kWh/(m<sup>2</sup>år) ved å utforme systemet med reduserte kanallengder, større rørdimensjoner og mer energieffektive vifter (Myhre og Dokka, 2004). For en enebolig på 150 m<sup>2</sup> vil dermed tilført elektrisk energi til viftene utgjøre henholdsvis 1200–1800 kWh/år og 750–900 kWh/år. Dette er 2,5–6 ganger høyere enn for systemer med avtrekksventilasjon.



## 6 OPPVARMINGSSYSTEMER – OVERORDNET SAMMENLIKNING

Dette kapitlet gir en overordnet sammenlikning av oppvarmingssystemene beskrevet i [Kapittel 3, Oppvarmingssystemer – teknisk beskrivelse](#) i henhold til kriterier som kostnader/lønnsomhet, energieffektivitet (bruk av primærenergi), energifleksibilitet, andel fornybar energi, innvirkning på det ytre (globale) miljø samt innvirkning på termisk og atmosfærisk innemiljø.

### 6.1 EVALUERINGSKRITERIER FOR OPPVARMINGSSYSTEMER

Oppvarmingssystemer for lavenergi boliger kan vurderes ut i fra en rekke kriterier, hvor de mest vanlige er vist i Figur 6.1.



Figur 6.1 Eksempel på vurderingskriterier for varmesystemer i lavenergi boliger.

Ideelt sett bør oppvarmingssystemer for lavenergi boliger og passivhus oppfylle følgende krav:

- Lave investeringskostnader – enkel og rimelig installasjon
- Høy energieffektivitet – lite behov for primærenergi (elektrisitet, fossilt brensel) – i stor grad basert på varmegjenvinning og/eller bruk av fornybare energiresurser
- Lave driftskostnader – gitt av blant annet energieffektivitet (virkningsgrad) og pris på primærenergi
- God energifleksibilitet – er ikke kun basert på elektrisitet som energibærer slik at systemet ikke belaster elektrisitetsnettet unødig når nettbelastningen er størst (dvs. på kalde vinterdager)
- Miljøvennlig – minimale/ingen utslipp til luft og vann (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, partikler/støv osv.)
- Tilfredsstillende temperaturregulering i de enkelte rom – godt termisk innemiljø
- Ingen negativ innvirkning på luftkvaliteten boligen – godt atmosfærisk innemiljø
- Alltid tilstrekkelig varmtvann ved ønsket temperatur (60–70°C)
- God brukervennlighet – enkel i bruk, minimalt/intet behov for ettersyn/pass
- Høy driftssikkerhet – minimalt/intet behov for vedlikehold og service

Ingen av oppvarmingssystemene som er presentert i denne rapporten, det vil si oppvarmingssystemer basert på elektrisitet, gass, biobrensel, solvarme og varmepumper, oppfyller alle disse kravene. For å kunne foreta et valg av system må derfor en eller flere av kriteriene vektlegges mer enn andre.

I de følgende kapitlene er de ulike oppvarmingssystemene sammenlignet med hensyn på kostnader/lønnsomhet, energieffektivitet (bruk av primærenergi), energifleksibilitet, andel fornybar energi, innvirkning på det ytre (globale) miljø samt innvirkning på termisk og atmosfærisk innemiljø.

### 6.1.1 Oppvarmingssystemer – kostnader og lønnsomhet

I denne rapporten er det ikke gjennomført nye lønnsomhetsberegninger for ulike oppvarmingssystemer i lavenergiboliger og passivhus. Dette skyldes at denne typen beregninger er svært omfattende og krevende, ettersom en må spesifisere komponent- og systemvalg i detalj for ulike typer anlegg i eneboliger, rekkehus, flermannsboliger og boligblokker, samt innhente detaljerte priser på utstyr, installasjon og energibærere. I tillegg kreves det målinger eller beregninger som i størst mulig grad gjenspeiler reelle virkningsgrader for oppvarmingssystemene ved fullast og dellast. Det anbefales derfor at det gjennomføres detaljerte lønnsomhetsberegninger for lavenergiboliger i norsk klima i et separat prosjekt. Som et alternativ er det presentert en del *eksempler* på gjennomførte lønnsomhetsberegninger fra Norge, Østerrike og Sveits med ulike oppvarmingssystemer og varierende rammebetingelser.

#### 6.1.1.1 Oppvarmingssystemer for lavenergiboliger og passivhus (Østerrike)



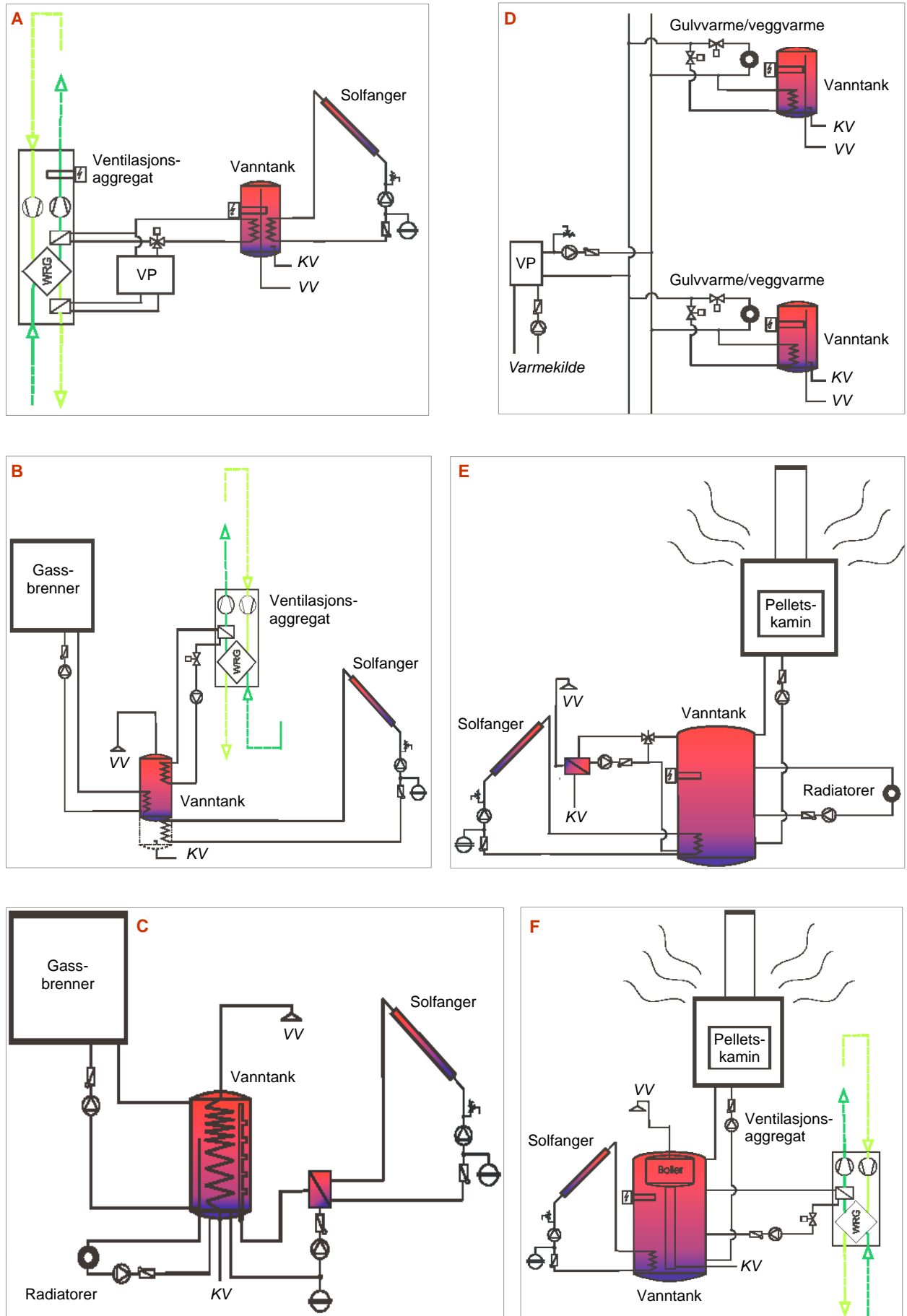
Som en del av det 5-årige Østerrikske forsknings- og teknologiutviklingsprogrammet [Haus der Zukunft](#) har det blitt gjennomført en dyptgående analyse av ulike oppvarmingssystemer for lavenergiboliger og passivhus med hensyn til blant annet primærenergiforbruk, utslipp av klimagasser, termisk innemiljø og *kostnader/lønnsomhet* (Streicher et al., 2004).

Følgende oppvarmingssystemer ble analysert:

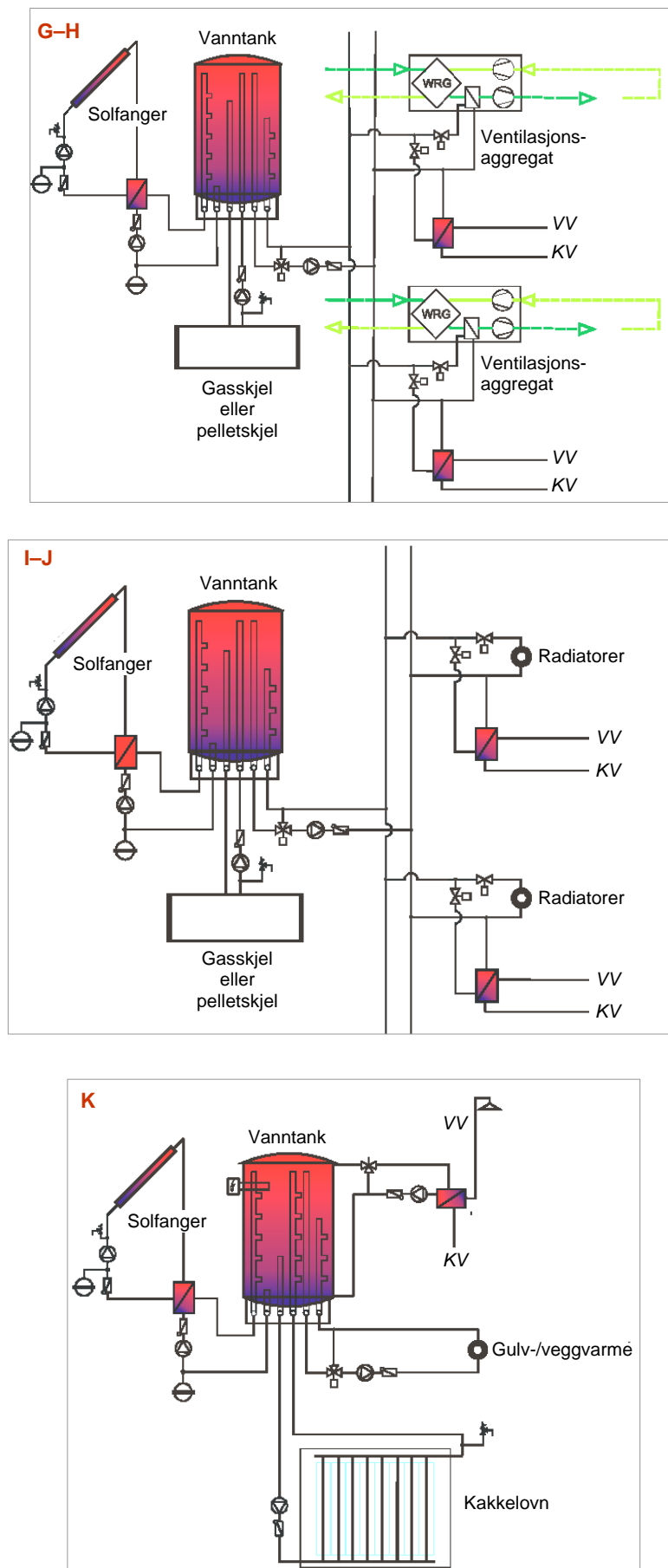
- A) Luft/luft/vann-varmepumpe (kompaktaggregat) – romoppvarming med ventilasjonsluft
- B) Enkel gassbrenner – romoppvarming med ventilasjonsluft
- C) Enkel gassbrenner – vannbåren varmedistribusjon
- D) Væske/vann-varmepumpe – vannbåren varmedistribusjon
- E) Pelletskamin med vannmantel – vannbåren varmedistribusjon
- F) Pelletskamin med vannmantel – romoppvarming med ventilasjonsluft og punktoppvarming
- G) Kondenserende gasskjel – romoppvarming med ventilasjonsluft
- H) Pelletskjel – romoppvarming med ventilasjonsluft
- I) Kondenserende gasskjel – vannbåren varmedistribusjon
- J) Pelletskjel – vannbåren varmedistribusjon
- K) Kakkelovn med vannmantel – vannbåren varmedistribusjon

Systemene med luftoppvarming avga enten varme til tilluften i et balansert ventilasjonssystem og/eller direkte til romluften (punktoppvarming). En solfanger ble brukt i noen av systemene med vannbåren varmedistribusjon. Figur 6.2 og 6.3 viser prinsipielle skisser av de ulike systemene (Streicher et al., 2004).

*Helelektriske oppvarmingssystemer* er ikke presentert i rapporten ettersom de ikke regnes som et miljøvennlig og energieffektivt alternativ i framtidens lavenergiboliger og passivhus i Østerrike.

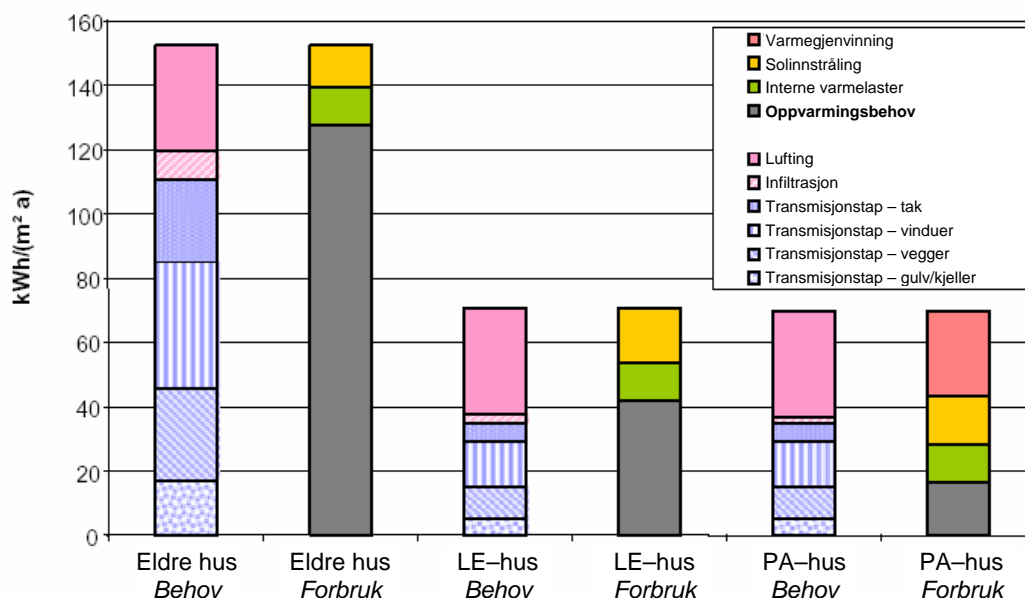


Figur 6.2 Prinsipielle systemløsninger for oppvarmingsystemene A-F. VP=varmepumpe, KV=kaldt nett vann, VV=varmt tappevann (Streicher et al., 2004).



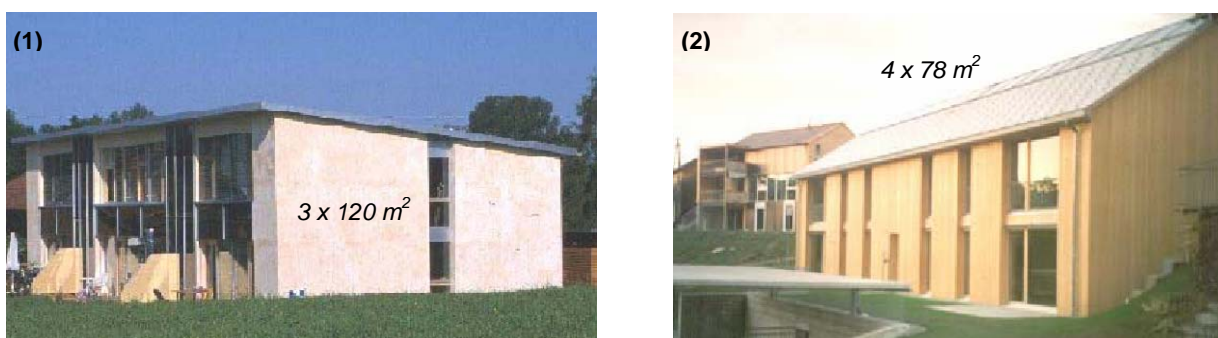
Figur 6.3 Prinsipielle systemløsninger for oppvarmingsystemene G-K. KV=kaldt nett vann, VV=varmt tappevann (Streicher et al., 2004).

Figur 6.4 gir en oversikt over spesifikke varmetap, varmetilførsel (sol/internlast), varmegjenvinning og oppvarmingsbehov i eldre boliger, lavenergihus uten varmegjenvinning fra avtrekksluften (LE) og passivhus (PA) i Østerrike. I tillegg kommer energibehov til varmtvannsberedning (Streicher et al., 2004).



Figur 6.4 Utvikling i varmebehovet for eldre boliger, lavenergiboliger (LE) uten varmegjenvinning fra avtrekksluften samt passivhus (PA) med høy varmegjenvinning (Streicher et al., 2004).

I lønnsomhetsanalysen ble det tatt utgangspunkt i to referansehus: 1) Rekkehus med tre boenheter og 2) Flerfamiliehus med fire boenheter, Figur 6.5. Begge bygningene var av passivhus-standard, og det ble benyttet balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning fra avtrekksluften. Luftskiftet var  $0,5 \text{ h}^{-1}$ .



Figur 6.5 Referansehusene av passivhus-standard i prosjektet Haus der Zukunft (Streicher, 2004).

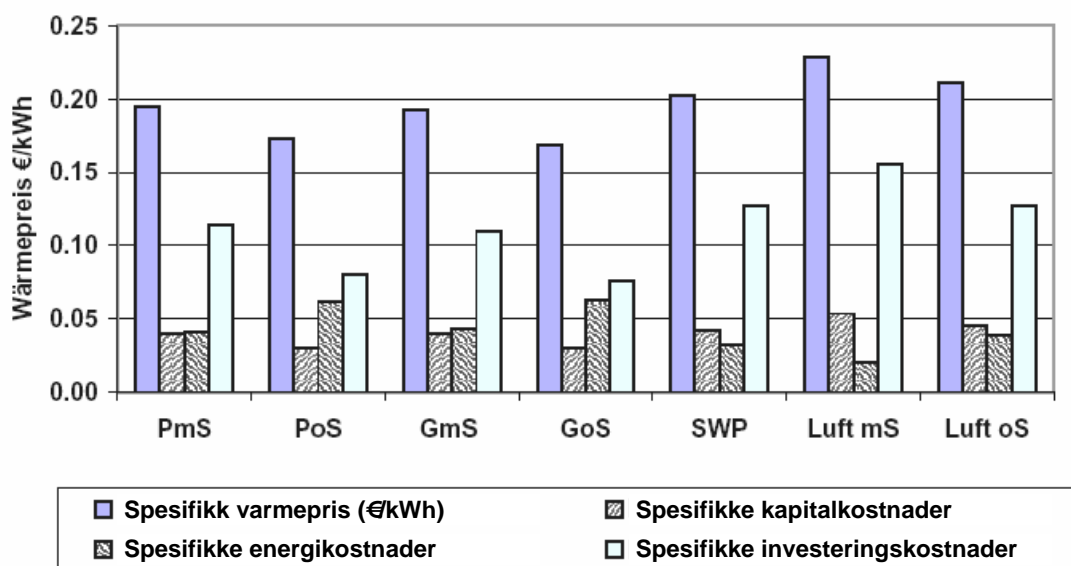
Det ble gjennomført detaljerte lønnsomhetsberegninger for følgende oppvarmingsystemer:

- *PmS* – Pelletskjel med solfanger
- *PoS* – Pelletskjel uten solfanger
- *GmS* – Gasskjel med solfanger
- *GoS* – Gasskjel uten solfanger
- *SWP* – Væske/vann-varmepumpe
- *Luft mS* – Kompaktaggregat med varmepumpe og solfanger
- *Luft oS* – Kompaktaggregat med varmepumpe men uten solfanger

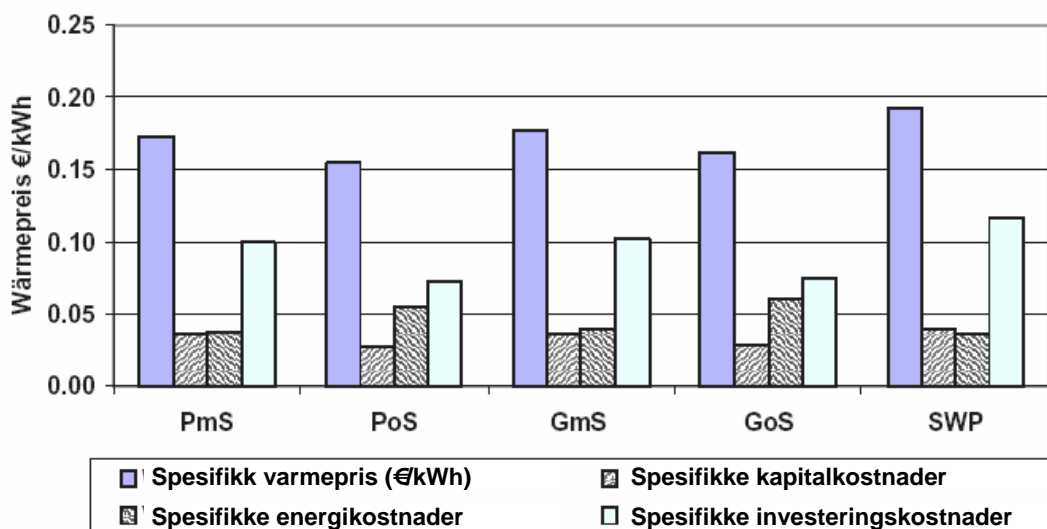
Grunnen til at det ikke ble gjennomført lønnsomhetsberegninger for alle de beskrevne oppvarmings-systemene (A–K) var at det ikke forelå gode nok grunnlagsdata for simuleringsmodellene til å bestemme blant annet virkningsgrader og energiforbruk ved ulike driftstilstander.

I rapporten er det gitt en detaljert beskrivelse av investeringskostnader, installasjonskostnader, avskrivningstider/levetider for de ulike komponentene og delsystemene samt beregnede/målte virkningsgrader for varmeproduserende enheter. Spesifikk energipris [kr/kWh] var som følger: Elektrisitet 1,05, naturgass 0,35 og pellets 0,28. I lønnsomhetsberegningene ble det benyttet en kalkulasjonsrente på 4,5%.

Figur 6.6 og 6.7 gir en oversikt over beregnede investeringskostnader, kapitalkostnader, driftskostnader samt spesifikk varmepris for de analyserte oppvarmingsystemene for referansehus 1 og 2. Alle de beregnede verdiene er oppgitt i € (Euro)<sup>5</sup> per kWh varme levert (Streicher et al., 2004).



Figur 6.6 Beregnet spesifikk varmepris, kapitalkostnad, energikostnad og investeringskostnad for ulike oppvarmingsystemer installert i referansehus 1 (Streicher et al., 2004).



Figur 6.7 Beregnet spesifikk varmepris, kapitalkostnad, energikostnad og investeringskostnad for ulike oppvarmingsystemer installert i referansehus 2 (Streicher et al., 2004).

<sup>5</sup> Vekslingskurs, 100 NOK gir ca. 8,1 € (per 05.12.2005)

Lønnsomhetsberegningene kan oppsummeres som følger:

- For referansehus 1 hadde pelletskjel og gasskjel uten solfanger de laveste investeringskostnadene (ca. 17.000 kr), mens kompaktaggregat med eller uten solfanger samt væske/vann-varmepumpe var dyrest (ca. 25.000–33.000 kr).
- Fore referansehus 2 hadde pelletskjel og gasskjel uten solfanger de laveste investeringskostnadene (ca. 38.000 kr), mens væske/vann-varmepumpe var dyrest (ca. 62.000 kr).
- For referansehus 1 hadde pelletskjel og gasskjel uten solfanger laveste spesifikke varmepris (1,35 kr/kWh), mens pelletskjel uten solfanger hadde best lønnsomhet i referansehus 2 (1,25 kr/kWh). De to alternativene med dårligst lønnsomhet var kompaktaggregat med solfanger i hus 1 (1,85 kr/kWh) og væske/vann-varmepumpe i hus 2 (1,55 kr/kWh).
- Forskjellene i spesifikk varmepris utgjorde maksimalt 35% av laveste spesifikke varmepris for referansehus 1 og 25% for referansehus 2.
- Ved å foreta en ekstra investering i solfanger for anleggene med pelletskjel, gasskjel og kompakt-aggregat ble energikostnadene halvert.

#### **6.1.1.2 Alternative oppvarmingssystemer for eneboliger (Norge)**

I Klimatek-prosjektet "Framtidens energisystemer i eksisterende og nye bygninger – en overordnet analyse med vekt på status og scenarier", ble det i 1999 gjennomført meget detaljerte økonomiske sammenlikninger av ulike oppvarmingsalternativer for blant annet nye eneboliger bygget i henhold til de norske byggeforskriftene av 1997 (Grønli et al., 1999). Det ble undersøkt to hovedtyper av oppvarmingssystemer:

- *Helelektrisk oppvarmingssystem* med elektriske panelovner for romoppvarming og varmtvannsbereder med elektriske varmekolber. Panelovner med sentralregulering, 190 kr/m<sup>2</sup>.
- *Varmesentral tilknytter vannbårent varmedistribusjonssystem* – sentralvarmeanlegg med: 1) El.-kassett, 2) Oljekjel, 3) Gasskjel, 4) Pelletskjel eller 5) Væske/vann-varmepumpe med varmeuttak fra energibrønn i fjell. Varmepumpen benyttet en el.kassett til spisslastdekning, og denne dekket 10% av årlig varmebehov. Vannbårent varmedistribusjonssystem med radiatorer/konvektorer, 300 kr/m<sup>2</sup>.

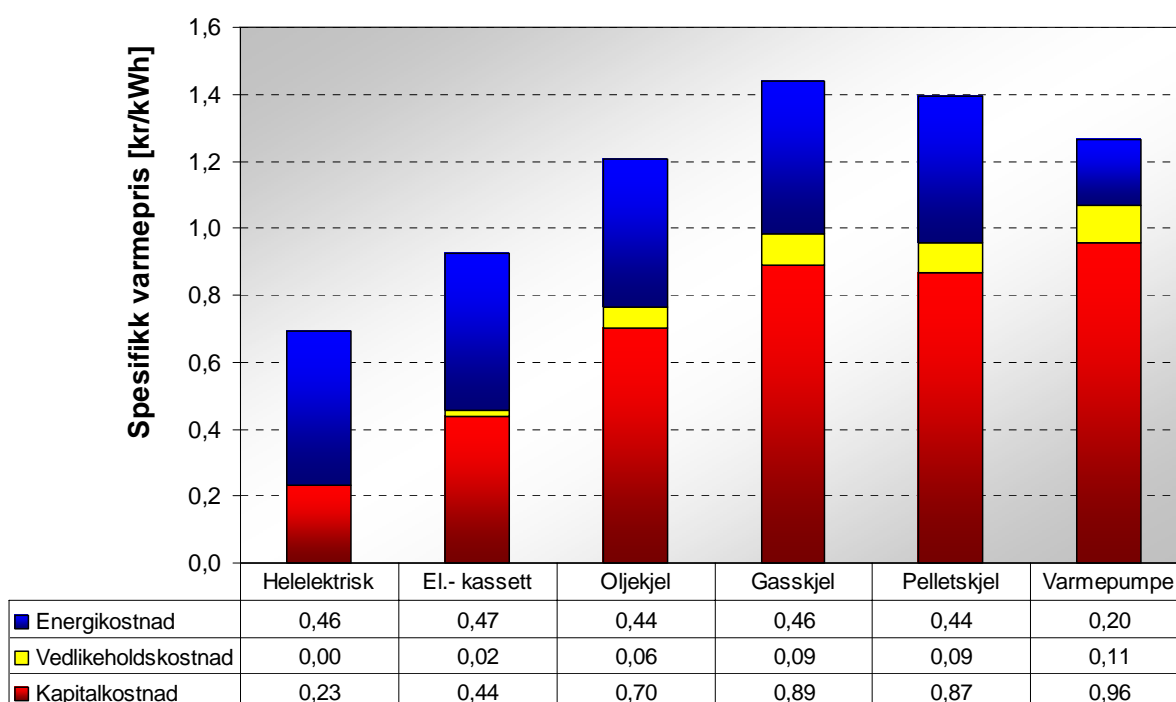
I rapporten ble det kun sett på alternative oppvarmingssystemer tilknyttet tradisjonell vannbåren varmedistribusjon. Det ble ikke sett på mindre kostnadskreven systemer som for eksempel gassovner, pellets-kaminer med og uten vannmantel, avtrekksluft-varmepumper, luft/vann- og luft/luft-varmepumper, abonnentsentral i fjernvarme-/nærvarmeanlegg eller andre kombinasjoner av oppvarmingssystemer.

Lønnsomhetsberegningene ble gjort for en 160 m<sup>2</sup> enebolig i Oslo-klima. Årlig romoppvarmingsbehov var 11.000 kWh/år, varmtvannsbehovet var 4.000 kWh/år mens maksimalt effektbehov for romoppvarming og varmtvannsberedning var 9 kW. Tabell 6.1 viser gir en oversikt over årsvirkningsgrad og energipris for de ulike oppvarmingssystemene.

Investeringskostnadene ble innhentet fra et stort antall leverandører og er beskrevet i detalj i rapporten. I de økonomiske beregningene ble annuitetsmetoden benyttet med en kalkulasjonsrente på 7%, og det ble brukt en midlere avskrivningstid på 20 år (OED, 1998). Figur 6.8 viser beregnet spesifikk varmepris [kr/kWh] for de ulike oppvarmingssystemene.

Tabell 6.1 Underlagsdata ved lønnsomhetsberegning av de ulike oppvarmingssystemene i Klimatek-rapporten. Energiprisen er inkl. mva. (Grønli et al., 1999).

Varmesystem	Energipris [kr/kWh]	Årsvirkningsgrad [%]
Helelektrisk	0,46	100
El.kassett	0,46	98
Oljekjel	0,35	80
Gasskjel	0,41	90
Pellets-kjel	0,35	80
Varmepumpe	0,46	350 (COP=3,5)



Figur 6.8 Beregnet spesifikk varmepris for ulike oppvarmingssystemer (Grønli et al., 1999).

Helelektrisk oppvarming med panelovner og varmtvannsbereder med elektriske varmekolber kom ut som det klart rimeligste alternativet med en spesifikk varmepris på ca. 0,7 kr/kWh. Dette skyldtes lave investeringskostnader samt en kombinasjon av relativt lavt årlig varmebehov for boligen og moderat energipris. For de alternative oppvarmingssystemene med vannbåren varmedistribusjon var alternativet med el.kassett det billigste med en spesifikk energipris på ca. 0,9 kr/kWh, det vil si en økning på nesten 30% i forhold helelektrisk oppvarming. De resterende oppvarmingssystemene hadde en spesifikk varmepris i området 1,20–1,45 kr/kWh. For oppvarmingssystemene med gasskjel, pellets-kjel og væske/vann-varmepumpe utgjorde investeringen i vannbåren varmedistribusjon ca. 30–35% av den totale investeringen.

Beregningene fra Klimatek-prosjektet viste at i boliger med relativt lavt oppvarmingsbehov vil elektriske oppvarmingssystemer med lave investeringskostnader gi bedre lønnsomhet for boligeieren enn dyrere systemer med høyere energieffektivitet (varmepumper, solenergi), fornybar energi (bioenergi, solvarme, varmepumper), CO<sub>2</sub>-nøytrale anlegg (bioenergi, solvarme) eller større energifleksibilitet (bioenergi, gass, fjernvarme, solvarme). Trenden for alternative oppvarmingssystemer til helelektrisk oppvarming går imidlertid i retning av lavere investerings- og installasjonskostnader, både for varmeproduserende enheter



og varmedistribusjonssystemer. I tillegg er rentenivået lavere og elektrisitetsprisen høyere i dag enn da beregningene ble gjennomført. Lavere oppvarmingsbehov i lavenergiboliger trekker imidlertid i motsatt retning, og det er derfor ikke mulig å trekke noen nye konklusjoner vedrørende lønnsomhet for de analyserte oppvarmingssystemene uten å gjennomføre beregninger med dagens rammebetingelser.

### 6.1.1.3 Nærvarmeanlegg for oppvarming av boligområde (Norge)

I en hovedoppgave ved NTNU, Trondheim ble det i 2003 gjennomført en teknisk og økonomisk analyse av ulike oppvarmingalternativer for Romstølen boligfelt B3 i Arendal (Pedersen, 2003).

Ferdig utbygd vil Romstølen boligfelt bestå av ca. 55 husstander, både eneboliger og rekkehus. Eneboligene vil ha et bruksareal (BRA) på 120, 142, 156 m<sup>2</sup>, mens rekkehusene vil ligge på 100 og 120 m<sup>2</sup>. Spesifikt dimensjonerende varmeeffektbehov og årlig oppvarmingsbehov ble beregnet til henholdsvis 48 W/m<sup>2</sup> og 85 kWh/m<sup>2</sup>, mens dimensjonerende varmeeffektbehov og årlig oppvarmingsbehov for hele boligfeltet var henholdsvis 325 kW og 1,05 MWh/år. For romoppvarming ble det forutsatt bruk av vannbårne gulvvarmesystemer. Det ble vurdert fire ulike oppvarmingalternativer:

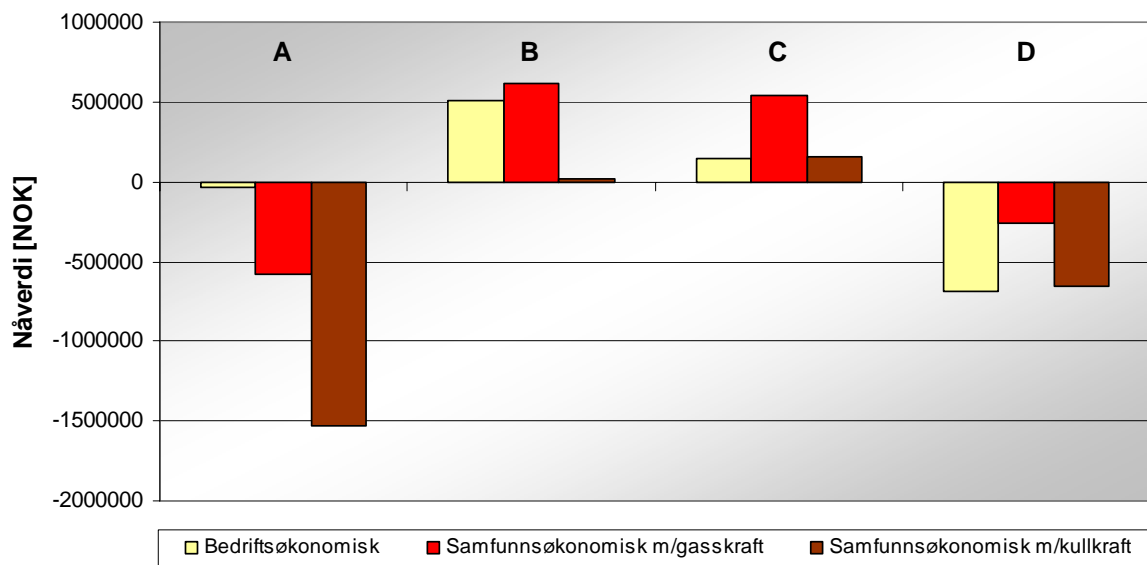
- *Helelektrisk* oppvarmingssystem med elektriske panelovner for romoppvarming og varmtvannsbereider med elektriske varmekolber
- Nærvarmeanlegg med R134a *væske/vann-varmepumpe* med energibrønner i fjell som varmekilde – 14 energibrønner á 180 meter. 350 kW oljekjel som spisslast (topplast).
- Nærvarmeanlegg med *flisfyrt kjel*. 350 kW oljekjel som spisslast.
- Nærvarmeanlegg med *pelletsfyrt kjel*. 350 kW oljekjel som spillast.

Varmepumpen og biobrenselkjelene ble dimensjonert for å dekke 40% av maksimalt varmeeffektbehov, det vil si 130 kW. Det ga en årlig energidekning på ca. 90%. Dimensjonerende tur-/returtemperatur på vannet i nettet var 90/60°C og 70/40°C for henholdsvis varmepumpe- og biobrenselanleggene, og distribusjonstemperaturen var aldri lavere enn 60°C for å unngå ettervarmingsbehov av tappevann i de enkelte boligene. Primærnettet besto av preisolerte og diffusjonstette PEX-rør utført som torørs-system med maksimalt driftstrykk 6 bar og maksimal driftstemperatur 95°C. Nærvarmenettet ble utformet som et stjerneledningssystem med indirekte systemløsning og varmvekslersentral i hver enkelt bolig. Figur 6.9 viser en prinsippskisse av primærnettet og plasseringen av de ulike boligene (Pedersen, 2003).



Figur 6.9 Prinsipiell skisse av primærnettet og boligene for Romstølen boligfelt (Pedersen, 2003).

Det ble foretatt både bedrifts- og samfunnsøkonomiske analyser. Systemgrensene for de bedriftsøkonomiske beregningene ble satt slik at utbygger og drifter av energisystemet var samme energiselskap. For de samfunnsøkonomiske beregningene ble systemgrensene utvidet til å omfatte nasjonal og global produksjon av elektrisitet med tiltenkt gasskraftverk i Norge eller kullkraftverk i Danmark. I beregningene ble det benyttet 7% kalkulasjonsrente og 30 års levetid, og det ble lagt til grunn en spotpris på elektrisitet på 22 øre/kWh. I de samfunnsøkonomiske beregningene med elektrisitet fra gasskraftverk eller kullkraftverk ble det tatt med en CO<sub>2</sub>-avgift på 130 kr/tonn samt en ekstra kostnad for å bygge ut det elektriske distribusjonsnettets utover lokal transformator og lokalt nett. Figur 6.10 viser beregnet nåverdi for oppvarmingsalternativene/scenariene: A) Helelektrisk oppvarming, B) Nærvarmeanlegg med varmepumpe, C) Nærvarmeanlegg med flisfyrt kjel og D) Nærvarmeanlegg med pelletsfyrt kjel (Pedersen, 2003).



Figur 6.10 Beregnet nåverdi i NOK for oppvarmingsalternativene: A) Helelektrisk oppvarming, B) Nærvarmeanlegg med varmepumpe, C) Nærvarmeanlegg med flisfyrt kjel, D) Nærvarmeanlegg med pelletsfyrt kjel (Pedersen, 2003).

- **A** – Helelektrisk oppvarming var ikke lønnsomt i noen av scenariene, og nåverdien i den bedriftsøkonomiske analysen var på omlag -32.000 kr. Ved mindre endringer i forutsetningene ville nåverdien imidlertid kunne blitt positiv. I de samfunnsøkonomiske analysene ble lønnsomheten kraftig forverret på grunn av effekten av CO<sub>2</sub>-avgiften.
- **B** – Nærvarmeanlegg med varmepumpe som grunnlast var lønnsomt i alle tre scenariene. Lønnsomheten var best for de undersøkte anleggene ved bedriftsøkonomisk vurdering og ved samfunnsøkonomisk vurdering med elektrisitet fra gasskraftverk.
- **C** – Nærvarmeanlegg med flisfyrt biobrenselanlegg som grunnlast var lønnsomt i alle tre scenariene, og ved samfunnsøkonomisk vurdering med elektrisitet fra kullkraftverk var lønnsomheten bedre enn for nærvarmeanlegg med varmepumpe.
- **D** – Nærvarmeanlegg med pelletsfyrt biobrenselanlegg som grunnlast var ikke lønnsomt i noen av scenariene, og lønnsomheten i forhold til flisfyrt kjelanlegg var betydelig dårligere på grunn av høyere brenselkostnader.

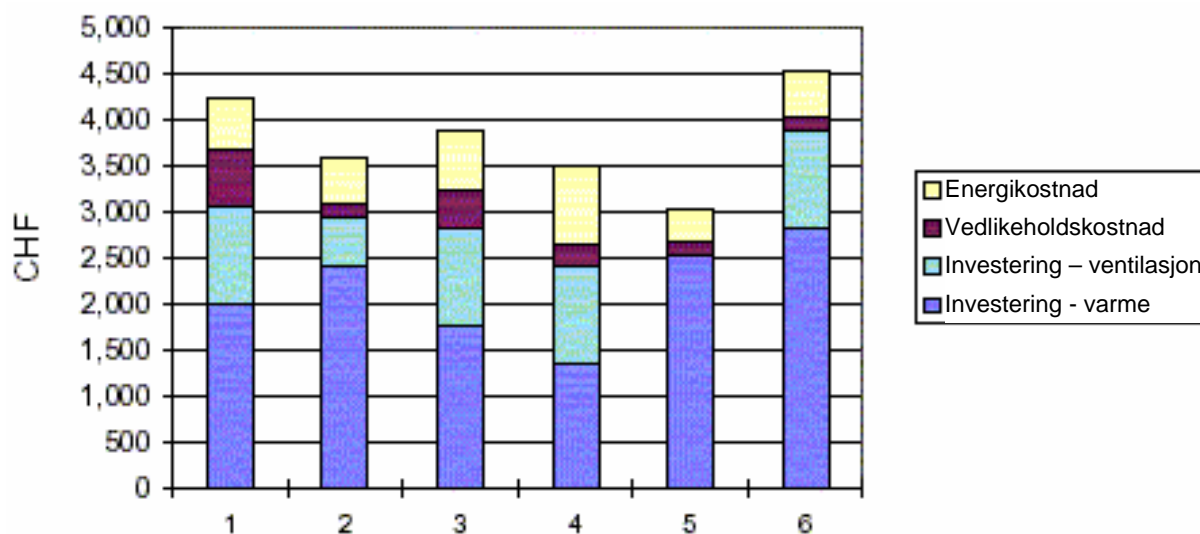
Hovedkonklusjonen fra oppgaven var at bruk av nærvarmeanlegg for oppvarming av et større boligområde er lønnsomt med de forutsetninger som var lagt til grunn for oppgaven (Pedersen, 2003).

#### 6.1.1.4 Oppvarmingsystemer for lavenergibolig (Sveits)

I forbindelse med utvikling av energi- og kostnadseffektive oppvarmingsystemer for lavenergiboliger i Sveits, har det blant annet blitt gjennomført lønnsomhetsberegninger for følgende systemer for romoppvarming, varmtvannsberedning og ventilasjon i en prefabrikkert lavenergibolig (HPC, 2005).

- 1) Oljefyrt kjel, balansert ventilasjon med varmegjenvinning
- 2) Luft/vann-varmepumpe, avtrekksluft-varmepumpe for varmtvannsberedning (avtrekksventilasjon)
- 3) Kondenserende gasskjel, vannbåren varmedistribusjon, balansert ventilasjon med varmegjenvinning
- 4) Vedkjel, el.kassett for varmtvannsberedning, balansert ventilasjon med varmegjenvinning
- 5) Kompaktaggregat med avtrekksluft-varmepumpe for varmtvannsberedning og romoppvarming, elektrisk varmeelement som spisslast/reservelast
- 6) Væske/vann-varmepumpe, elektrisk varmekolbe som spisslast/reservelast, balansert ventilasjon med varmegjenvinning

Alle oppvarmingssystemene var tilkoblet et vannbårent varmedistribusjonssystem. Boligen hadde et oppvarmet areal på 155 m<sup>2</sup>, og spesifikt oppvarmingsbehov var ca. 50 kWh/(m<sup>2</sup>år), varmtvannsberedning inkludert. Varmtvannsberedning utgjorde ca. 40% av boligens totale årlig varmebehov. Figur 6.11 viser beregnet total årlig oppvarmings- og ventilasjonskostnad i Sveitsiske Franc (CHF) <sup>6</sup> for de 6 alternativene.



Figur 6.11 Beregnet total årlig kostnad i Sveitsiske Franc (CHF) for ulike systemer for romoppvarming, varmtvannsberedning og ventilasjon i en lavenergibolig i Sveits (HPC, 2005).

Lønnsomhetsberegningene kan oppsummeres som følger:

- Alternativ 5 med kompaktaggregat med avtrekksluft-varmepumpe hadde best lønnsomhet (ca. 16.000 kr/år), og de årlige kostnadene var ca. 15% lavere enn nest billigste løsning, alternativ 4 med vedkjel og el.kassett. For kompaktaggregatet var kostnadene for ventilasjonsaggregat med varmeveksler inkludert i kostnadene for varmeinstallasjonen.
- Klart dyreste løsning var alternativ 6 med væske/vann-varmepumpe. Anlegget hadde ca. 50% høyere årlig oppvarmingskostnad i forhold til alternativ 5, kompaktaggregat.

<sup>6</sup> Vekslingskurs, 100 NOK gir ca. 5,2 CHF (per 05.12.2005)

## 6.1.2 Oppvarmingssystemer – energieffektivitet, fornybar energi og energifleksibilitet

Ut i fra blant annet lokale og globale miljøhensyn er det ønskelig at framtidens lavenergiboliger og passivhus i størst mulig grad dekker sitt oppvarmingsbehov med energieffektive og energifleksible oppvarmingssystemer basert på fornybare energikilder.

### 6.1.2.1 Energieffektivitet

Energieffektiviteten eller systemvirkningsgraden for de ulike oppvarmingssystemene i en bolig er gitt av forholdet mellom hvert varmebehov, dvs. romoppvarming, tappevannsvarming eller oppvarming av ventilasjonsluft, og tilført primærenergi for å dekke det aktuelle behovet. Jo høyere systemvirkningsgrad, desto mer energieffektivt er oppvarmingssystemet (Breembroek og Dieleman, 2001; Pettersen et al., 2005).

$$\eta_{\text{system}} = \frac{Q_{\text{behov}}}{E_{\text{tilført}}} = \eta_{\text{produksjon}} \cdot \eta_{\text{distribusjon}} \cdot \eta_{\text{regulering}} \quad (6.1)$$

hvor:

$Q_{\text{behov}}$	Varmebehov – romoppvarming, tappevannsvarming, oppvarming av ventilasjonsluft [kWh]
$E_{\text{tilført}}$	Tilført energi/primærenergi for å dekke et gitt varmebehov, $Q_{\text{behov}}$ [kWh]
$\eta_{\text{system}}$	Systemvirkningsgrad [-]
$\eta_{\text{produksjon}}$	Virkningsgrad for varmeproduserende enhet [-]
$\eta_{\text{distribusjon}}$	Virkningsgrad for varmedistribusjonssystemet – inkl. f.eks. pumpearbeid, viftearbeid, varmetap osv. [-]
$\eta_{\text{regulering}}$	Virkningsgrad knyttet til regulering av oppvarmingssystemet [-]

Hvis det brukes to eller flere systemer for å dekke en type varmebehov, f.eks. romoppvarming, må det beregnes en separat systemvirkningsgrad i forhold til hvert delsystems relative andel av varmebehovet.

I forbindelse med at EU-direktivet om energibruk i bygninger, "Directive 2002/91/EC – Energy Performance of Buildings" (EC, 2002) skal gjøres gjeldende i Norge fra 2006, har det vært gjennomført omfattende utredningsarbeid. Blant annet er det utarbeidet en rapport som inneholder drøfting og forslag til energimerkesystem for boliger (Pettersen et al., 2005). Utkastet til energimerkesystem vil være grunnlag for utarbeidelse av forskrift til lov om bygningsdirektivet. I den nevnte rapporten er det blant annet anbefalt en energimerkeordning på grunnlag av "vektet tilført energi og spesifikk varmetapskoeffisient". Det brukes to såkalte energimerker, primær-merke og sekundær-merke:

- *Primær-merket* tar hensyn til boligens varmetekniske egenskaper, energieffektiviteten til boligens tekniske installasjoner, boligens energiforsynings- og oppvarmingssystem samt de ulike energikildenes samfunnsmessige kostnader. Gjennom et slikt merke vil boligene med miljøvennlig energiforsyningsystem premieres, og investeringer i vannbårne varmeanlegg og alternative varmekilder som varmepumper, solfangere, biobrensel og fjernvarme vil bli kreditert gjennom et bedre merkenivå. Ved å innføre vektet tilført energi fremmes fornybar energi, energifleksibilitet og energikostnader på en indirekte måte ved at energikilden(e) inkluderes i energimerket.
- *Sekundær-merket* tar hensyn til boligens transmisjonstap, infiltrasjonstap og ventilasjonstap. Motivet for å inkludere et sekundær-merke er at en ønsker å trekke fram bygningskroppen som en viktig passiv løsning for å effektivisere energibruken i boliger.

Pettersen et al. (2005) har med utgangspunkt i estimater for produksjons-, distribusjons- og reguleringsvirkningsgrader beregnet gjennomsnittlig produksjonsvirkningsgrad over året for typiske systemer for romoppvarming og tappevannsvarming for nye boliger (2006), Tabell 6.2 og 6.3. Virkningsgradene i tabellene er kun å regne som overslagsverdier ettersom de i stor grad påvirkes av blant annet anleggsstørrelse, kvalitet på komponenter og aggregater, systemløsninger, driftsbetingelser og ettersyn/vedlikehold.

Med henvisning til [Kapittel 3, Oppvarmingssystemer – teknisk beskrivelse](#), er det i tabell 6.2 og 6.3 også lagt inn målte virkningsgrader for de ulike varmeproduserende enhetene ( $\eta_{\text{produksjon-M\ddot{a}lt}}$ ). Variasjonene i virkningsgrad tar hensyn til blant annet anleggsstørrelse, kvalitet på komponenter og aggregater, systemløsninger samt arbeidsmedium og temperaturbetingelser ved varmeopptak/-avgivelse for varmepumper.

Tabell 6.2 Foreslåtte årsvirkningsgrader for utvalgte systemer for romoppvarming i boliger (Pettersen et al., 2005) samt målte virkningsgrader for tilsvarende anlegg hentet fra kapittel 3.

Type varmeanlegg	$\eta_{\text{produksjon-M\ddot{a}lt}}$ [%]	$\eta_{\text{produksjon}}$ [%]	$\eta_{\text{distribusjon}}$ [%]	$\eta_{\text{regulering}}$ [%]	$\eta_{\text{system}}$ [%]
Elektrisk - direkte	100	100	100	100	100
Elektrisk – vannbåren	100	100	95	95	90
Gass – vannbåren	85 – 95	95	95	95	86
Bioenergi – vannbåren	80 – 90	80	95	95	72
Varmepumpe – vannbåren <sup>1)</sup>	300 – 350	300	95	95	271
Varmepumpe – luft/vann <sup>2)</sup>	200 – 250	200	100	95	190
Fjernvarme – vannbåren <sup>3)</sup>	100	100	95	95	90

1) Væske/vann-varmepumpe tilknyttet energibrønn(er) i fjell – COP 3,0-3,5 – inkl. 10% tilleggsvarme (spisslast)

2) Varmepumpe med uteluft som varmekilde – COP 2,0–2,5 – eventuelt behov for spisslast (tilleggsvarme) ikke inkl.

3) Virkningsgraden for varmeveksleren i abonnentsentralen – virkningsgraden for varmesentralen i fjernvarmesystemet ikke inkl.

Tabell 6.3 Foreslåtte årsvirkningsgrader for utvalgte systemer for varmtvannsberedning i boliger (Pettersen et al., 2005) samt målte virkningsgrader for tilsvarende anlegg hentet fra kap. 3.

Varmeproduserende enhet	$\eta_{\text{produksjon-M\ddot{a}lt}}$ [%]	$\eta_{\text{produksjon}}$ [%]	$\eta_{\text{distribusjon}}$ [%]	$\eta_{\text{regulering}}$ [%]	$\eta_{\text{system}}$ [%]
Elektrisk - direkte	100	100	100	100	100
Elektrisk – vannbåren	100	100	100	100	100
Gass – vannbåren	85 – 95	95	100	100	95
Bioenergi – vannbåren	80 – 90	80	100	100	80
Varmepumpe – vannbåren <sup>1)</sup>	250 – 400	300	100	100	300
Varmepumpe – luft/vann <sup>2)</sup>	200 – 300	200	100	100	200
Fjernvarme – vannbåren <sup>3)</sup>	100	100	100	100	100

1) Væske/vann-varmepumpe tilknyttet energibrønn(er) i fjell – COP 2,5-4,0 – inkl. evt. etterv. til 60°C – inkl. CO<sub>2</sub>-varmepumper

2) Varmepumpe med uteluft som varmekilde – COP 2,0-3,0 – inkl. evt. behov for ettervarming til 60°C – inkl. CO<sub>2</sub>-varmepumper

3) Virkningsgraden for varmeveksleren i abonnentsentralen – virkningsgraden for varmesentralen i fjernvarmesystemet ikke inkl.

### 6.1.2.2 Energifleksibilitet

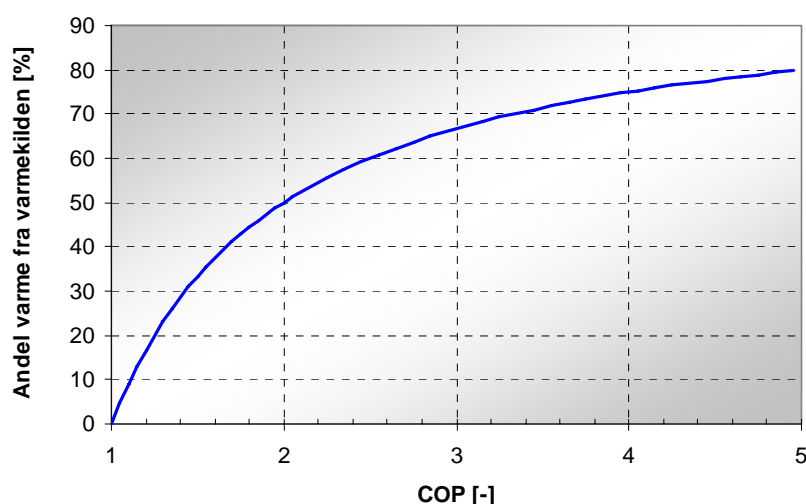
Energifleksible oppvarmingssystemer for boliger benytter to eller flere uavhengige energikilder/energibærere for eksempel elektrisitet, gass, bioenergi, solvarme, fjernvarme/nærvare og omgivelsesvarme/overskuddsvarme (varmepumper). Energifleksible oppvarmingssystemer reduserer dermed behovet for elektrisk energi i forhold til helelektriske oppvarmingssystemer, og bidrar til å redusere effektuttaket i elektrisitetsnettet. Et energifleksibelt oppvarmingssystem kan være basert på punktvarmekilder, et vannbårent oppvarmingssystem (sentralvarmeanlegg) eller en kombinasjon av disse.

### 6.1.2.3 Fornybare energikilder

Fornybare energikilder knyttet til oppvarming av boliger omfatter:

- Bioenergi
- Solvarme
- Omgivelsesvarme – varmepumper
- Geotermisk energi
- Elektrisitet som er produsert med vannkraftanlegg, vindmøller, solcellepaneler, kraft/varme-anlegg basert på bioenergi, bølgekraftverk eller tidevannskraftverk

For varmepumper vil prosentvis andel fornybar energi i varmeleveransen være avhengig av anleggets effektfaktor (COP) samt hvor stor andel av tilført elektrisitet som er generert i kraftverk basert på fornybare energikilder. Figur 6.12 viser sammenhengen mellom COP for en varmepumpe og prosentvis andel varmeleveranse fra varmekilden (ref. [Vedlegg A](#)). Ved en COP på 2 kommer 50% av levert varmemengde fra varmekilden (fornybar energi), mens andelen øker til 75% ved en COP på 4.



Figur 6.12 Sammenhengen mellom COP og prosentvis andel varme fra varmekilden for en varmepumpe.

I motsetning til fossile energibærere – kull, olje og gass – bidrar ikke fornybare energikilder til global oppvarming, og energikildene er uutømmelige i den forstand at de regenereres eller holdes ved like ved hjelp av solenergi. Begrepet *nye, fornybare energikilder* omfatter forøvrig alle de nevnte fornybare energikildene bortsett fra elektrisitet fra tradisjonelle vannkraftverk (NFR/NVE, 2001).

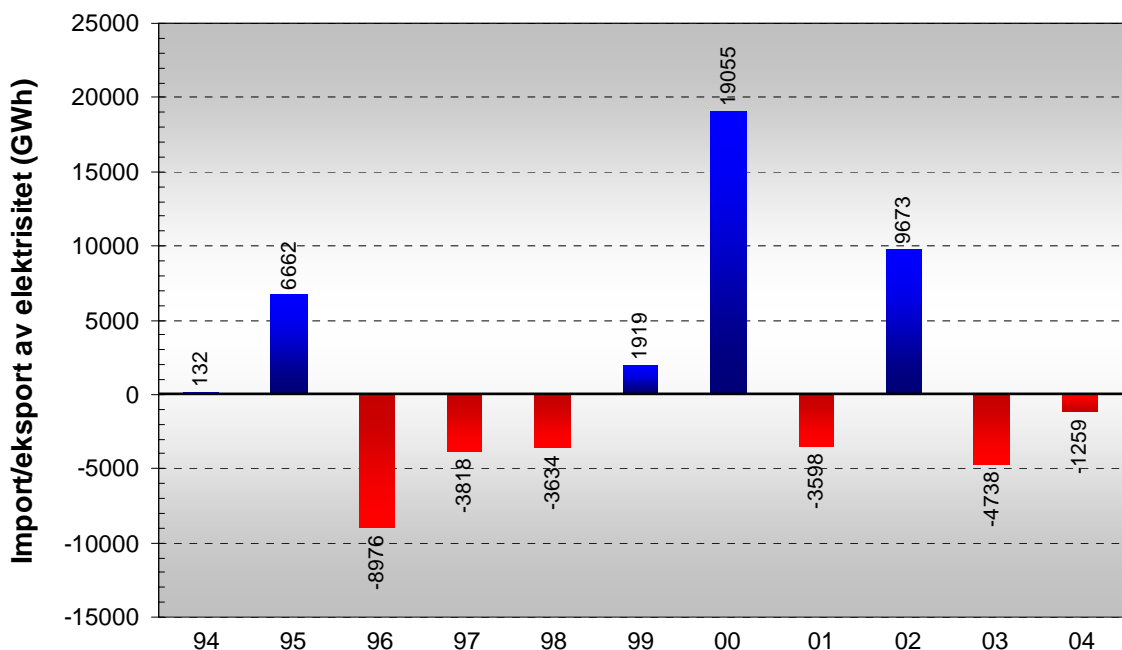
## 6.1.3 Oppvarmingssystemer – innvirkning på det ytre (globale) miljø

### 6.1.3.1 Oppvarmingssystemer basert på elektrisitet

Den miljøskadelige effekten av elektriske oppvarmingssystemer er knyttet til eventuelle CO<sub>2</sub>-utslipp fra kraftverkene som genererer elektrisitet. Hvis elektrisiteten kommer fra vannkraftverk, kjernekraftverk, vindmøller, bølgekraftverk, tidevannskraftverk eller kraftverk fyrt med biobrensler, regnes den som CO<sub>2</sub>-fri. Hvis kraftproduksjonen foregår i termiske kraftverk vil de spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippene være avhengig type energibærer, kraftverkens elektriske virkningsgrad og overføringstapet i distribusjonsnettet.

Følgende spesifikke CO<sub>2</sub>-utslipp er det vanlig å benytte for ulike typer kraftverk (Grønli et al, 1999):

- I kullfyrte kraftverk<sup>7</sup> er det spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippet ca. 1,03 kg/kWh<sub>el</sub><sup>8</sup>.
- I kullfyrte kraft-varmeverk<sup>9</sup> er det spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippet ca. 0,8 kg/kWh<sub>el</sub>.
- I gasskraftverk er det spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippet ca. 0,36 kg/kWh<sub>el</sub>.
- Midlere spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp ved elektrisitetsproduksjon i Danmark er ca. 0,70 kg/kWh<sub>el</sub> mens det i Tyskland ligger på 0,65 kg/kWh<sub>el</sub>. At tallene ligger lavere enn for moderne kullfyrte kraftverk skyldes at Danmark og Tyskland også har innslag av naturgass, olje, atomkraft (Tyskland) og fornybare energikilder i sin kraftproduksjon.
- En middelværdi som ofte brukes i EU er den såkalte UCPTE-mix (*Union pour la co-ordination de la production et du transport de l'électricité*), som består av 36,2% atomkraft, 15,2% vannkraft, 9,5% gasskraft, 9,6% oljekraft, 29,0% kullkraft. Dette gir et spesifikk CO<sub>2</sub>-utslipp på ca. 0,40 kg/kWh<sub>el</sub>.
- I 2003 besto den norske elektrisitetsproduksjonen av 107 TWh fra vannkraft, 0,2 TWh fra vindmøller og 0,6 TWh fra kraft-varmeverk i industrien (SSB, 2005). De spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til bruk av elektriske oppvarmingsystemer i Norge er avhengig av totalt elektrisitetsbehov over året og vannkraftverkernes produksjonskapasitet. I 2002 hadde Norge en nettoeksport av elektrisk kraft på ca. 9,7 TWh, mens det i 2003 og 2004 var en nettoimport tilsvarende 4,7 og 1,3 TWh, Figur 6.13 (SSB, 2005). Det betyr at de spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til elektrisitetsbruk i Norge vil variere fra år til år. I år med nettoimport av elektrisk kraft vil en for nye varmeinstallasjoner som bruker elektrisitet vanligvis regne med de spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til importert elektrisk kraft, Dette er i stor grad elektrisitet fra utenlandske (danske) kullfyrte kraftverk og kraft-varmeverk (OED, 1998).



Figur 6.13 Netto import og eksport av elektrisitet for Norge i perioden 1994–2004 (SSB, 2005).

<sup>7</sup> Kraftverk – produserer kun elektrisk kraft

<sup>8</sup> kg/kWh<sub>el</sub> - spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh produsert elektrisitet. Eventuell varmeproduksjon ikke medregnet i virkningsgraden.

<sup>9</sup> Kraft-varmeverk – produserer både elektrisitet og varme

### 6.1.3.2 Oppvarmingssystemer basert på gass

Miljøskadelige utslipp fra gassfyrte oppvarmingssystemer omfatter karbondioksid (CO<sub>2</sub>) samt små mengder nitrose oksider (NO<sub>x</sub>). CO<sub>2</sub>-utslippet fra kondenserende gasskjeler er typisk 15–30 % lavere enn for oljefyrte kjeler pga. lavere karboninnhold i brenselet samt høyere forbrenningsvirkningsgrad både ved fullast og dellast. Tabell 6.4 viser nedre/øvre brennverdi samt brutto/netto CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh innfyrt energi. Nettoverdien er bruttoverdien korrigert for oppvarmingssystemets virkningsgrad, og det er vist utslippstall ved 60–80% og 85–95% virkningsgrad for henholdsvis olje- og gasskjeler (Grønli et al., 1999).

Tabell 6.4 Energiinnhold og brutto/netto CO<sub>2</sub>-utslipp for olje, propan og naturgass (Grønli et al., 1999).

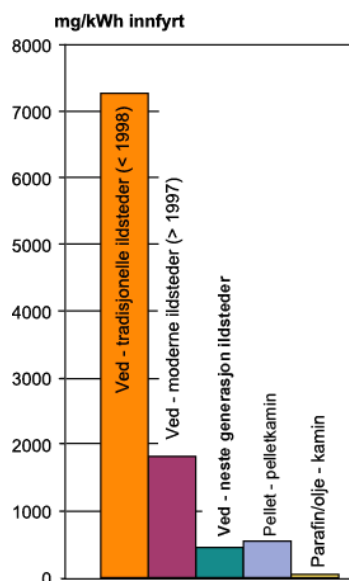
Brensel	Nedre/øvre brennverdi [kWh/kg]		Brutto CO <sub>2</sub> -utslipp [kg/kWh]	Virkningsgrad <sup>1)</sup> [%]	Netto CO <sub>2</sub> -utslipp [kg/kWh]
Lettolje	10,0	10,9	0,266	60 – 80	0,333 – 0,443
Propan	13,9	15,4	0,233	85 – 95	0,245 – 0,274
Naturgass	12,9	14,0	0,210	85 – 95	0,221 – 0,247

1) Virkningsgrad oppgitt i forhold til øvre brennverdi (UHV), ref. Kapittel 3, Oppvarmingssystemer – teknisk beskrivelse

### 6.1.3.3 Oppvarmingssystemer basert på bioenergi

Ved forbrenning av biobrensler dannes det CO<sub>2</sub>. Biobrensler regnes likevel for å være CO<sub>2</sub>-nøytrale ettersom de ikke gir noe netto bidrag til drivhuseffekten så lenge uttaket av skog oppveies med tilsvarende nyplanting. Ved transport av ved, pellets og andre biobrensler fra produksjonssted fram til forbruker vil det imidlertid være CO<sub>2</sub>-utslipp knyttet til transport. Hvor mye dette utgjør per kWh innfyrt energi er svært individuelt, da utslippene blant annet er avhengig av transportavstanden og drivstofforbruket per km.

Miljøskadelige utslipp fra vedovner omfatter først og fremst svevestøv (partikler), karbonmonoksid (CO), polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), tungmetaller og metan. I Norge er det kun satt utslippskrav til partikler siden utslippene av flere av de andre stoffene automatisk vil reduseres når partikkelutslippene går ned (Haakonsen og Kvingedal, 2001). Figur 6.14 viser målte partikkelutslipp fra ulike typer biobrenselsfyrte oppvarmingssystemer for boliger inkl. eldre vedovn, moderne vedovn, neste generasjons vedovn og pelletskamin. Partikkelutslippet fra parafinovn/oljekamin er også vist (Karlsvik, 2005).



Figur 6.14 Målt partikkelutslipp i mg per kWh innfyrt energi for ulike biobrenselsfyrte oppvarmingssystemer for boliger samt parafinovn/oljekamin (Karlsvik, 2005).



En moderne rentbrennende vedovn har typisk 80% lavere svevestøvutslipp enn tradisjonelle ovner og åpne peiser, og ligger på omkring 1800 mg per kWh innfyrt energi målt i henhold til Norsk Standard NS 3059, *Lukkede vedfyrte ildsteder – Røykutslipp – Krav*. Neste generasjons vedovner forventes å ha et svevestøvutslipp lavere enn 500 mg/kWh. Partikkelutslippet fra vedkjeler er i samme størrelsesorden som for rentbrennende vedovner. Partikkelutslippet fra pelletskaminer med/uten vannmantel og pelletskjeler ligger omkring 600 mg per kWh innfyrt energi, målt i henhold til Norsk Standard NS 3058, *Lukkede vedfyrte ildsteder – Røykutslipp* (Karlsvik, 2005).

#### 6.1.3.4 Oppvarmingssystemer basert på varmepumper

Som for elektriske oppvarmingssystemer er den miljøskadelige effekten for elektrisk drevne varmepumper knyttet til eventuelle CO<sub>2</sub>-utslipp fra kraftverkene som genererer elektrisitet (ref. [Kapittel 6.1.3.1](#)). Hvis elektrisiteten kommer fra vannkraftverk, kjernekraftverk, vindmøller eller kraftverk fyrt med biobrensler, er elektrisiteten CO<sub>2</sub>-fri. Hvis kraftproduksjonen foregår i termiske kraftverk vil de spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippene være avhengig type energibærer, kraftverkens elektriske virkningsgrad ( $\eta_{el}$ ), overføringstapet i distribusjonsnettet og varmepumpens årsvarmefaktor (midlere COP over året).

Varmepumper benytter et såkalt arbeidsmedium (kuldemedium) som sirkulerer i en lukket rørkrets og transporterer varme mellom anleggets varmekilde og varmesluk (ref. [Vedlegg A, Varmepumper](#)). Arbeidsmedier for boligvarmepumper omfatter de syntetiske HFK-mediene R-404A, R-407C, R-410A og R-134a samt de naturlige mediene R-290 (propan) og R-744 (CO<sub>2</sub>). Mens de naturlige mediene er helt uten negative globale miljøeffekter, er de syntetiske mediene drivhusgasser. Ved utilsiktede utslipp vil HFK-mediene bidra til drivhuseffekten på samme måte som for eksempel CO<sub>2</sub>, og HFK-bruken er derfor regulert av Kyoto-protokollen. I januar 2003 ble det i Norge innført CO<sub>2</sub>-avgift på import av HFK. I januar 2005 var avgiftssatsen 186 kroner per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Foku, 2005). Tabell 6.5 viser GWP-verdien<sup>10</sup> og dagens norske CO<sub>2</sub>-avgifter [kr/kg] for arbeidsmedier i boligvarmepumper.

Tabell 6.5 GWP-verdi og norske CO<sub>2</sub>-avgifter for arbeidsmedier (Foku, 2005).

Arbeidsmedium	GWP-verdi [-]	CO <sub>2</sub> -avgift [NOK/kg]
Propan	3	0
R-404A	3.260	606
R-407C	1.520	283
R-410A	1.725	321
R-134a	1.300	242

Boligvarmepumper benytter trykktestede komponenter og loddede rørforbindelser slik at risikoen for både større og mindre lekkasjer er meget lav. Anleggene er dessuten utført som kompakte aggregater med lite indre volum i rør, varmevekslere og kompressor, og mengden HFK per aggregat overskrider sjelden 1 kg. Det betyr at utslippet av arbeidsmedium ved en eventuell lekkasje vil være svært begrenset. Det er derfor ikke vanlig å regne med miljøeffekten av arbeidsmediet på boligvarmepumper påfylt HFK.

#### 6.1.3.5 Sammenlikning av CO<sub>2</sub>-utslipp fra ulike oppvarmingssystemer

Det er foretatt en sammenlikning av spesifikke CO<sub>2</sub>-utslipp fra de ulike oppvarmingssystemene som er presentert i denne rapporten. Tabell 6.6 viser forutsetningene for beregningene med hensyn til brutto spesifikke CO<sub>2</sub>-utslipp og kjelvirkningsgrad for oljekjel og kondenserende gasskjel samt elektrisk virkningsgrad for ulike typer kraftproduserende anlegg.

<sup>10</sup> Global Warming Potential – referanse er CO<sub>2</sub> som har en GWP-verdi på 1,0. Oppgis normalt ved 100 års integrasjonstid.

Tabell 6.6 *Brutto og netto spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp samt virkningsgrader for kjelanlegg og kraftverk med ulike energibærere – lettolje, propan, naturgass og kull (Grønli et al., 1999).*

Anlegg	Brutto CO <sub>2</sub> -utslipp [kg/kWh]	Virkningsgrad [%] <sup>1)</sup>	Netto CO <sub>2</sub> -utslipp [kg/kWh <sub>el</sub> ] <sup>2)</sup>
Oljekjel – lettolje	0,266	η <sub>t</sub> = 75	0,35
Gasskjel – propan	0,233	η <sub>t</sub> = 95	0,25
Kraftverk – naturgass	0,210	η <sub>el</sub> = 58	0,36
UCPTE <sup>3)</sup>	*	*	0,40
Kraft-varmeverk – kull	0,361	η <sub>el</sub> = 45 / η <sub>t</sub> = 40	0,80
Kraftverk – kull	0,361	η <sub>el</sub> = 35	1,03

1) η<sub>el</sub> = elektrisk virkningsgrad for kraftvarmeverk eller kraftverk, η<sub>t</sub> = termisk virkningsgrad for varmekraftverk eller kjel

2) Netto CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh produsert elektrisitet.

3) UCPTE-mix (Union pour la co-ordination de la production et du transport de électricité). Midlere CO<sub>2</sub>-utslipp fra elektrisitetsproduksjon i Europa med 36,2% atomkraft, 15,2% vannkraft, 9,5% gasskraft, 9,6% oljekraft, 29,0% kullkraft.

For det kullfyrte kraft-varmeverket er spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp i Tabell 6.6 oppgitt per kWh produsert elektrisitet. Ettersom typisk 40% av energiinnholdet i kullet går med til å produsere nyttig varme må utslippstallet korrigeres for dette når produsert elektrisitet brukes til oppvarmingsformål. Det vil si at netto CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh levert varme blir lavere enn netto CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh levert elektrisitet. Med utgangspunkt i virkningsgraden for et kullfyrte kraft-varmeverk i Tabell 6.6 vil en ved helelektrisk oppvarming og *fullast* for kraft-varmeverket ha et reelt spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp per kWh levert varme på:

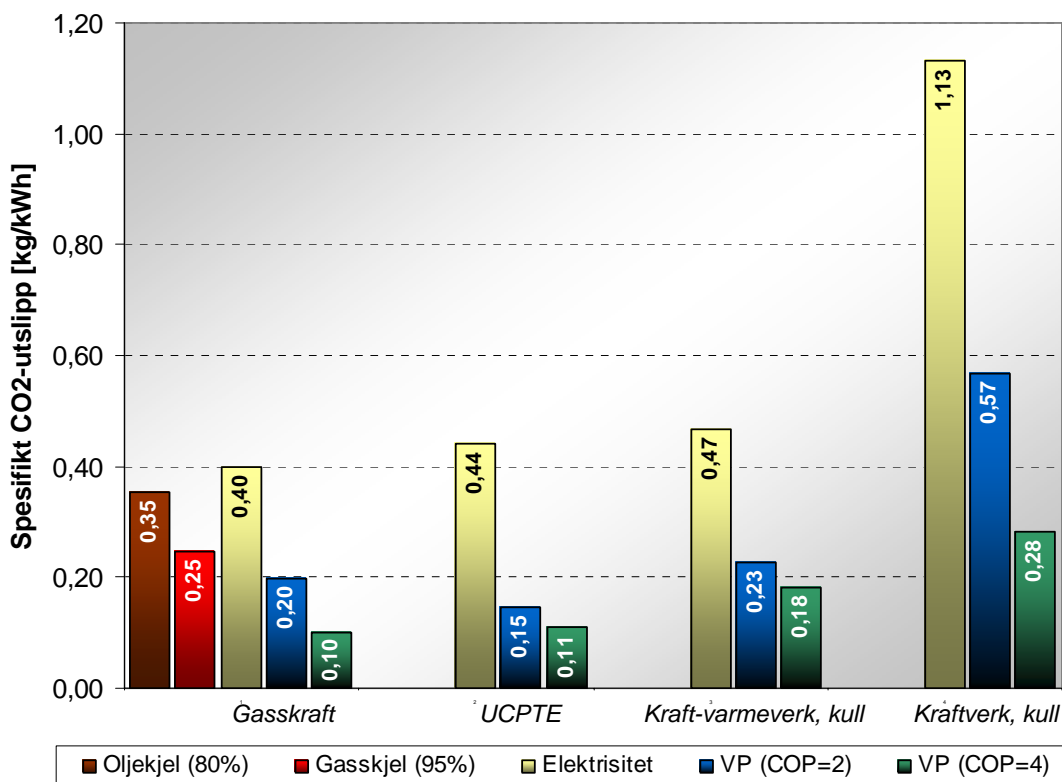
$$\text{Spesifikt CO}_2\text{-utslipp} = \frac{0,8 \text{ kg/kWh}_{el}}{\left(\frac{40 + 45}{45}\right)} = \text{ca. } 0,42 \text{ kg/kWh}_t \quad (6.2)$$

Ved bruk av elektrisk drevne varmepumper vil utslippene halveres i forhold til dette når anleggene har en COP på 2 (ca. 0,21 kg/kWh<sub>t</sub>), mens utslippene reduseres med 75% ved en COP på 4 (ca. 0,10 kg/kWh<sub>t</sub>).

Figur 6.15 viser beregnet spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp [kg/kWh<sub>t</sub>] for oljekjel, gasskjel (propan), elektrisk oppvarmingssystem samt varmepumpe med effektfaktor (COP) 2 og 4. I beregningene er det inkludert 10% *tap i el.nettet* for helelektrisk oppvarming og varmepumper. Resultatene kan oppsummeres som følger:

- *Bioenergianlegg* er i seg selv CO<sub>2</sub>-nøytrale, men i et totalt CO<sub>2</sub>-regnskap må CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til transport av bioenergien fram til forbruker taes med. Det vises ellers til [Kapittel 6.1.3.3](#) for ytterligere opplysninger om miljøskadelige utslipp fra oppvarmingssystemer basert på bioenergi.
- *Solfangere* gir ingen utslipp av CO<sub>2</sub> eller andre miljøskadelige stoffer, og denne typen oppvarmingssystemer er derfor helt uten lokale/globale miljøskadelige effekter. I norsk klima kan solfangere imidlertid kun dekke 25–35% av årlig varmebehov i en bolig (Solarnor, 2005), slik at det er behov for en tilleggsvarmekilde. De totale utslippene av CO<sub>2</sub> og andre uønskede stoffer fra oppvarmingssystemet er derfor avhengig av utslippene fra tilleggsvarmekilden.
- *Helelektriske oppvarmingssystemer* gir relativt store CO<sub>2</sub>-utslipp i forhold til andre oppvarmingssystemer når elektrisiteten genereres i termiske kraftverk. Hvis elektrisiteten kommer fra et moderne gasskraftverk vil det spesifikke CO<sub>2</sub>-utslippet være ca. 55% høyere enn ved bruk av en moderne *kondenserende gasskjel*. Hvis kraften alternativt genereres i et kullfyrte kraft-varmeverk eller et kull-

fyrte kraftverk, vil de assosierte CO<sub>2</sub>-utslippene fra et elektrisk oppvarmingssystem være henholdsvis 2 og 4,5 ganger høyere enn fra en gassfyrte kjel. Selv om lavenergiboliger har et betydelig lavere oppvarmingsbehov enn konvensjonelle boliger vil en ved bruk av elektrisitet fra termiske kraftverk få relativt høye totale CO<sub>2</sub>-utslipp ved bruk av elektriske oppvarmingssystemer. Dette er den viktigste grunnen til at helelektrisk oppvarming ikke regnes som et miljømessig akseptabelt alternativ i lavenergiboliger og passivhus i Tyskland, Østerrike og Sveits (Streicher et al., 2004).



Figur 6.15 Beregnet spesifikt CO<sub>2</sub>-utslipp [kg/kWh<sub>e</sub>] fra oljekjel og kondenserende gasskjel samt helelektrisk oppvarming og varmepumper med COP på 2 og 4 med elektrisitet fra gasskraftverk, UCPE (Europa-middel), kullfyrte kraft-varmeverk og kullfyrte kraftverk.

- Varmepumper for boliger drives med elektrisitet, men ettersom de i stor grad utnytter varme fra en ekstern varmekilde er elektrisitetsforbruket og dermed de assosierte CO<sub>2</sub>-utslippene betydelig lavere enn for helelektriske oppvarmingssystemer. Forskjellen i CO<sub>2</sub>-utslipp er avhengig av varmepumpeanleggenes energieffektivitet, det vil si midlere effektfaktor (COP) over året. Hvis elektrisiteten genereres i et moderne gasskraftverk vil en varmepumpe med COP på 2 og 4 gi henholdsvis 40% og 55% lavere CO<sub>2</sub>-utslipp enn en moderne kondenserende gasskjel. Hvis elektrisiteten genereres i et kullfyrte kraft-varmeverk vil en varmepumpe med COP på 2 gi tilnærmet samme CO<sub>2</sub>-utslipp som en gassfyrte kjel, mens CO<sub>2</sub>-utslippene reduseres med 30% hvis COP øker til 4. Hvis elektrisiteten genereres i et kullfyrte kraftverk vil imidlertid gasskjelen gi mer enn en halvering av utslippene i forhold til en varmepumpe ved en COP på 2, og ca. 10% reduksjon i forhold til en varmepumpe med COP på 4.
- De negative lokale og globale miljøeffektene for fjern- og nærvarmeanlegg med oljekjel, gasskjel, biobrenselkjel og varmepumpe vil på tross av varmetapet fra distribusjonsnettet (primærnettet) ofte være mindre enn for lokale anlegg i enkeltbygg på grunn av høyere årsvirkningsgrad for varmesentralen og strengere utslippskrav (bioenergi).

## 6.1.4 Oppvarmingssystemer – innvirkning på innemiljø

### 6.1.4.1 Innledning

Innemiljø i boliger begrenses i denne sammenheng til å omfatte: 1) *Termisk miljø* – termisk komfort, 2) *Atmosfærisk miljø* – forurensninger, gasser og damper (luftkvalitet) og 3) *Akustisk miljø* – støy.

Det finnes et relativt begrenset vitenskapelig materiale som beskriver hvordan ulike oppvarmingssystemer påvirker innemiljøet i boliger. Dette er i utgangspunktet en kompleks problemstilling ettersom oppvarmingssystemet kun er en av mange faktorer som påvirker innemiljøet. Andre forhold som har betydning for termisk og atmosfærisk miljø i boliger er blant annet:

- Byggets tekniske standard – isoleringsgrad/tetthet for bygningskropp/vinduer osv.
- Ventilasjonssystem og luftskifte – naturlig, hybrid, avtrekk eller balansert ventilasjon
- Innendørs byggematerialer (inkl. gulv) samt møbler, tepper og annet inventar
- Fukttilgang i kjøkken, bad og kjeller – muggskader osv.
- Innendørs utslipp av kjemiske stoffer – røyking, vaskemidler osv.
- Tilførsel av utendørs forurensninger
- Beboerne – alder, helse, aktivitet, bekledning osv.

Lavenergiboliger og passivhus har svært godt isolert bygningskropp og vinduer med meget lav U-verdi. Det fører til at innvendig overflatetemperatur på vegger osv. blir høyere enn i konvensjonelt isolerte boliger. Vår, sommer og høst vil tilført varme fra interne laster (lys, utstyr, apparater, personer) samt solinnstråling periodevis overstige romoppvarmingsbehovet. Dette vil medføre overtemperatur i rommene og redusert termisk komfort, såfremt det ikke benyttes aktiv eller passiv kjøling for å fjerne overskuddsvarmen. Passiv kjøling omfatter først og fremst konvensjonell utlufting eller kryssventilering, hvor en om natten kjøler ned innvendige bygningsdeler med kjølig uteluft og på dagtid øker lufthastigheten i rommet ved hjelp av "gjennomtrekk". Denne formen for passiv kjøling kan føre til en del ulemper som støy, trekk (reduert termisk komfort) samt tilførsel av utendørs forurensninger som blant annet pollen, støv, partikler og VOC (tids- og stedsavhengig).

### 6.1.4.2 Oppvarmingssystemer – termisk komfort og luftkvalitet

Systemer for romoppvarming har som formål å tilføre nødvendig varmeeffekt til boligen slik at en oppnår tilfredsstillende termisk komfort for beboerne ved varierende klimatiske forhold og intern varmebelastning. Systemene skal ideelt sett ikke ha noen negativ innvirkning på atmosfærisk innemiljø (luftkvaliteten) gjennom for eksempel spredning av støv og forurensninger mellom ulike soner i boligen, helseskadelige endringer av de kjemiske egenskapene til støv i rommene, uttørking av inneluften og forverring av oppfattet luftkvalitet (sensoriske effekter).

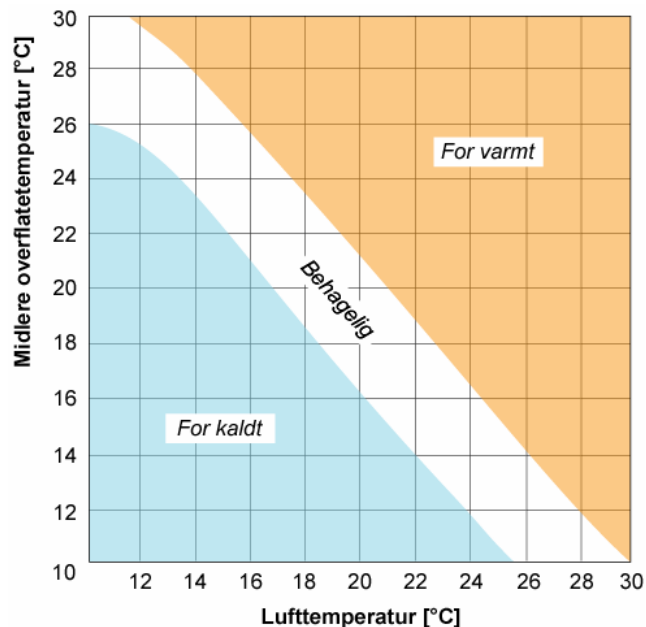
De faktorene som påvirker kroppens varmebalanse og dermed *opplevd temperatur* (termisk komfort) for personer som oppholder seg i et rom omfatter:

- Lufttemperatur – temperaturgradient fra gulv mot tak
- Midlere strålingstemperatur for gulv, tak, vegger, vinduer og møbler
- Lufthastighet (middelverdi) og luftens turbulensgrad (langsomme variasjoner i lufthastighet)
- Luftens relative fuktighet (RH)
- Bekledning og aktivitetsnivå

*Operativ temperatur* brukes som et mål for menneskers opplevde temperatur, og den er en kombinasjon av lufttemperaturen og midlere strålingstemperatur i rommet. Ved lave lufthastigheter (<0,2 m/s) vil operativ temperatur i praksis være lik gjennomsnittet av lufttemperaturen og midlere strålingstemperatur.

Hva som vurderes som tilfredsstillende operativ temperatur ved gitte termiske forhold, aktivitetsnivå og bekledding varierer fra person til person. Det er i den sammenheng utviklet subjektive vurderingsparametre: *PMV* – Forventet middelvurdering (Predicted Mean Vote) og *PPD* – Forventet prosentandel misfornøyde (Predicted Percentage of Dissatisfied). Det er ikke mulig å oppnå en PPD på mindre enn 5%, dvs. at det alltid vil være minst 5% av personene som vil være misfornøyde med de termiske forholdene.

I henhold til den internasjonale standarden ISO 7730, *Ergonomics of the Thermal Environment* (ISO, 2005) bør den operative temperaturen være  $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Figur 6.16 viser sammenhengen mellom midlere overflatetemperatur og lufttemperatur i et rom, og hvilke kombinasjoner som oppfattes som behagelig (god termisk komfort), for kaldt eller for varmt (Streicher et al., 2004).

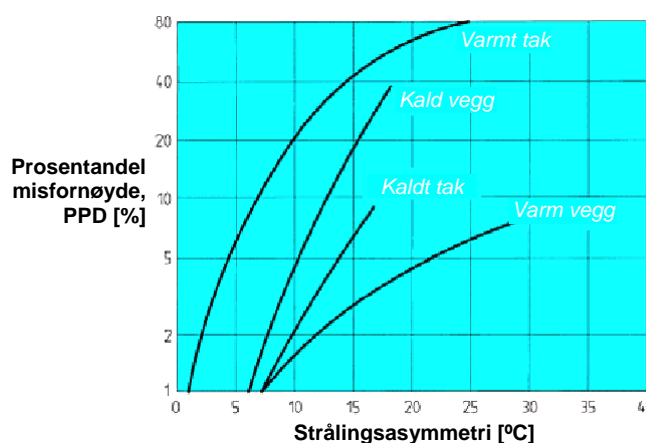


Figur 6.16 Termisk komfort i forhold til lufttemperatur og midlere overflatetemperatur. (Streicher et al., 2004).

Selv om den operative temperaturen er tilfredsstillende må det tas hensyn til den reelle temperaturen på de ulike flatene i rommet, ettersom kroppen har ulik toleranse for stråling fra vegg, gulv og tak. Figur 6.17 viser et eksempel på prosentvis utilfredse (PPD) forårsaket av asymmetrisk varmetråling fra/til tak og vegg ved en lufttemperatur på 21°C (Fanger, 1986).

Variasjonene i operativ temperatur mellom gulv og tak (temperaturgradienten) har også betydning for menneskers termiske komfort. Temperaturgradienten mellom 0,1 og 1,1 meter over gulvet skal i henhold til ISO 7730 være maksimalt 3°C (ISO, 2005).

I boliger er det nødvendig med luftbevegelser i rommene for å få skiftet ut forurenset og fuktig luft og tilføre frisk luft (jfr. [Kapittel 5, Ventilasjonssystemer](#)). Høy lufthastighet vil imidlertid omfattes som ubehagelig "trekk", og lufthastigheten bør derfor ikke overskride 0,13–0,16 m/s ved 20°C lufttemperatur og 20–40% relativ luftfuktighet. Relativ luftfuktighet bør forøvrig ligge innenfor 30–70% (Lundin, 2005).



Figur 6.17 Eksempel på prosentandel utilfredse (PPD) forårsaket av asymmetrisk varmestråling fra tak og vegg. Romtemperaturen er 21°C (Fanger, 1986).

Oppvarmingssystemer for romoppvarming benytter seg av ulike prinsipper for å avgi varmen til rommet, og systemene kan grovt sett deles inn i tre hovedgrupper:

- A) Oppvarmingssystemer hvor varmen i stor grad avgis ved termisk (infrarød) stråling
- B) Oppvarmingssystemer hvor varmen avgis ved en kombinasjon av termisk stråling og oppvarming av romluften (konveksjonsvarme). Ved oppvarming av luft vil en få luftstrømninger i rommet på grunn av tetthetsforskjellen mellom oppvarmet luft og omkringliggende romluft.
- C) Oppvarmingssystemer hvor varmen i stor grad avgis ved oppvarming av romluften (konveksjonsvarme). Varmluftssystemer kan enten være plassert i ett eller flere rom i boligen eller inngå som en del av et balansert ventilasjonssystem ved at tilført friskluft til boligen varmes opp til overtemperatur (25–50°C).

Oppvarmingssystemene som er presentert i [Kapittel 3, Oppvarmingssystemer – teknisk beskrivelse](#) kan klassifiseres som følger (A – hovedsaklig stråling, B – stråling/konveksjon, C – hovedsaklig konveksjon):

#### Frittstående systemer

- B – Elektrisk panelovn
- B – Elektrisk, oljefylt radiator
- C – Elektrisk vifteovn
- A – Elektrisk varmemefolie (i gulv/tak) eller varmekabel (i gulv)
- B – Gasskamin (gulvplassering)
- B – Gassovn (veggplassering)
- B – Gasspeis
- B – Vedovn uten vannmantel
- B – Pelletskamin uten vannmantel
- C – Luft/luft-varmepumpe
- C – Ventilasjonsluft/luft-varmepumpe

### *Sentrale systemer – varmedistribusjon via vann/luft*

Vannet i distribusjonssystemet varmes med el.kassett, elementkjel, elektrodjekjel, gassfyrte kjel, vedovn med vannmantel, pelletskamin med vannmantel, vedkjel, pelletskjel, solfanger, varmepumpe eller varmeveksler tilkoblet fjernvarme-/nærvarmesystem. Aktuelle varmeavgivere er:

- B – Radiatorer
- C – Viftekonvektorer
- A – Gulvvarmesystemer
- A – Takvarmesystemer
- A – Veggvarmesystemer
- C – Varmebatteri i balansert ventilasjonsanlegg

#### **6.1.4.3 Gjennomførte vitenskapelig studier og brukerundersøkelser**

I det følgende er det presentert resultater fra vitenskapelig studier og nylig gjennomførte spørreundersøkelser for å se på hvordan ulike typer oppvarmingssystemer påvirker inneklimate i boliger.

- I en finsk studie (Hirvonen et al., 1990) ble det anbefalt at overflatetemperaturen på varmekilder ikke bør overskride 70°C for å unngå endring av de kjemiske egenskapene til støv.
- I en norsk doktorgradsstudie (Mathiesen, 2004) er det sett på de biologiske effektene av oppvarmet støv ved temperaturer ned mot 100°C, temperaturer som er vanlige for en del oppvarmingssystemer i Norge, for eksempel elektriske vifteovner og gjennomstrømmingsovner. Ved oppvarming av støv vil det dannes toksiske stoffer, og graden av toksisitet øker med overflatetemperaturen. Hovedkonklusjonen fra studien er at forurensninger fra oppvarmet støv sannsynligvis vil kunne forverre luftkvaliteten og føre til økte helseplager.
- I en svensk doktorgradsstudie (Engvall, 2003) er det blant annet sett på hvordan ulike oppvarmingssystemer kan påvirke innemiljøet i boliger. Det ble sendt ut spørreskjema til 14.200 boligeiere i Stockholm (tilfeldig utvalg). 84% av boligene hadde ikke mekanisk ventilasjonsanlegg, 65% av boligene (9230) ble varmet opp med fjernvarme, 27% (3830) hadde oljekamin, 5% (710) hadde vedovner, 3% (420) hadde elektriske panelovner og 2% (280) hadde varmepumper med ekstern varmekilde. I boligene med elektrisk oppvarming og vedovner ble det rapportert om en generell økning med hensyn til øyesymptomer, nesesyntomer, halsirritasjon, hoste, irritasjon av ansiktshud, hodepine og tretthet. Et tilsvarende mønster ble også observert i boligene med varmepumpe. En svakhet ved undersøkelsen er at oppvarmingssystemene er svært dårlig beskrevet. Blant annet er type anlegg og varmedistribusjonssystem ikke beskrevet for varmepumpeinstallasjonene.
- I en norsk studie er det sett på hva som skjer med støv som eksponeres mot varme flater i temperaturområdet 50 til 150°C (Pedersen et al., 2002). Når støv varmes opp vil en få oksidasjon av adsorberte komponenter samt en nedbrytning av støvet. Emisjonene er lave i temperaturområdet 50 til 100°C, men det er målt en økning i antall submikrone partikler i samme temperaturområde. Ved temperaturer mellom 150 til 200°C vil en få dannet aldehyder og ketoner. For å unngå disse uheldige prosessene anbefales det at ingen flater i rommet har en temperatur som overstiger 150°C.
- I en Canadisk studie for perioden 1988-1993 (Bakke, 2004) ble det påvist at romoppvarming med elektriske oppvarmingssystemer var en risikofaktor for astma når det var kontrollert for andre kjente årsaker. Risikoen for astma var mer enn fordoblet.

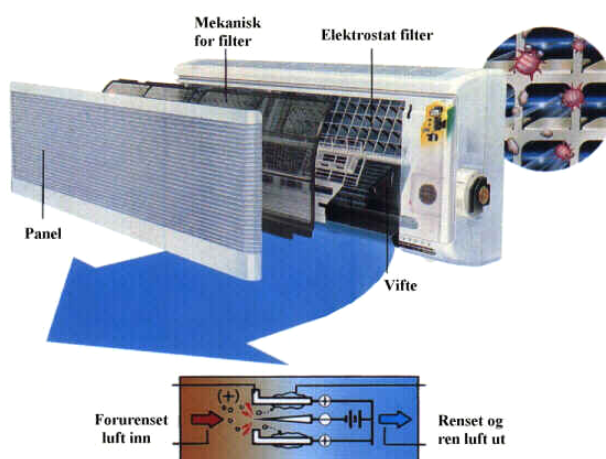
- I en studie fra Connecticut, USA for perioden 1998-2000 (Bakke, 2004) ble det påvist at i hjem oppvarmet med elektriske panelovner var det en høyere forekomst av piping i pusten sammenliknet med hjem med andre oppvarmingssystemer. Resultatene er imidlertid sparsomt kommentert og beskrevet og vanskelige å tolke.
- I en Canadisk studie (Benoit et al., 2001) ble det sett på hvordan vedovner påvirker inneklimate i boliger. Målingene og brukerundersøkelsen omfattet 89 hus hvor det ikke fantes røkere, og hvor det kun ble brukt vedovner for romoppvarming. Konsentrasjonen av formaldehyd, nitrose oksider, karbonmonoksid og respirabelt finstøv ble målt, samtidig som det ble sett på hyppigheten av luftveislidelser blant barn og voksne. Det ble kun målt lave konsentrasjoner av de nevnte stoffene, og det var ingen direkte sammenheng mellom økt hyppighet av luftveislidelser og bruken av vedovn. Det ble konkludert med at vedovner kun utgjør en helseisiko hvis installasjonene ikke brukes eller vedlikeholdes riktig.
- I 2003 ble det gjennom Olje- og energidepartementets strakstiltaksordning gitt tilskudd til investering i luft/luft-varmepumper, pelletskaminer og elektriske styringssystemer. I ettertid har tilskuddsordningen blitt evaluert (Bjørnstad et al., 2005). Brukerundersøkelsen kartla blant annet opplevd komfort og inneklimate hos brukere av 640 luft/luft-varmepumper og 195 pelletskaminer. Resultatene kan oppsummeres som følger:
  - Luft/luft-varmepumper (640 brukere)
    - Ca. 85% av brukerne syntes varmepumpen ga god varmefordeling
    - Ca. 93% av brukerne syntes varmepumpen gjorde det enkelt å holde jevn temperatur
    - Ca. 9% av brukerne synes varmepumpen førte til ubehagelig trekk
    - Ca. 17% av brukerne synes varmepumpen ga økt følelse av tørr inneluft
    - Ca. 17% synes det var sjenerende støy fra varmepumpens innedel
    - Ca. 91% opplevde en viss eller betydelig forbedring av termisk komfort og inneklimate etter installasjon av luft/luft-varmepumpe, mens 7% mente at det ikke var noen endring
  - Pelletskaaminer (195 brukere)
    - Ca. 98% av brukerne syntes at pelletskaminen ga god varmekomfort
    - Ca. 92% av brukerne syntes pelletskaminen gjorde det enkelt å holde jevn temperatur
    - Ca. 10% av brukerne syntes pelletskaminen ga økt følelse av tørr inneluft
    - Ca. 11% syntes at støy fra pelletskaminen ga redusert kvalitet på innemiljøet
    - Ca. 90% opplevde en viss eller betydelig forbedring av termisk komfort og inneklimate etter installasjon av pelletskaamin, mens 9% mente at det ikke var noen endring
- I Lindås Park utenfor Gøteborg er det bygd 20 rekkehusleiligheter i fire enheter (2 x 4 og 2 x 6) med lavenergi-/passivhus-standard. Leilighetene har balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning og elektrisk ettervarmebatteri samt solfanger og elektriske varmekolber for varmtvannsberedning. Det har blitt gjennomført detaljerte målinger av blant annet elektrisitetsforbruk, lufttemperatur, operativ temperatur og gulvtemperatur i leilighetene (Ruud og Lundin, 2004).
  - Målt midlere elektrisitetsforbruk i leilighetene var ca. *8.300 kWh/år*, derav 49% til husholdningsapparater (komfyr, vaskemaskin, oppvaskmaskin osv.), 22% til ettervarming av varmtvann, 21% til ettervarming av ventilasjonsluft og 8% til vifter.



- Varmesystemet ga ingen mulighet for individuell temperaturregulering i de enkelte rom, og på grunn av den relativt store følsomheten for variasjoner i interne varmelaster var målt variasjon i lufttemperatur ( $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ) større enn i tradisjonelt oppvarmede hus. En spørreundersøkelse blant beboerne viste imidlertid at de fleste ikke opplevde temperaturvariasjonene som ubehagelige i nevneverdig grad.
- Målt operativ temperatur og midlere gulvtemperatur i leilighetene varierte mellom henholdsvis  $19\text{--}27^{\circ}\text{C}$  og  $19\text{--}25^{\circ}\text{C}$ . Prosentvis andel utilfredse (PPD, [Kapittel 6.1.4.2](#)) ble ut i fra disse målingene beregnet til 5–17%, dvs. 83–95% var fornøyde.
- Styringssystemet til ventilasjonsaggregatene fungerte ikke tilfredsstillende i måleperioden, og dette kan blant annet ha medført redusert termisk komfort i leilighetene.
- Hovedkonklusjonen fra studien er at det er mulig å bygge lavenergiboliger uten et tradisjonelt romoppvarmingssystem i nordisk klima og samtidig oppnå god luftkvalitet/termisk komfort.

#### 6.1.4.4 Luft/luft-varmepumper og inneklime i boliger

Luft/luft-varmepumper for boliger sirkulerer og varmer opp inneluften gjennom en eller flere innedeler. Maksimalt utgående lufttemperatur er i størrelsesorden  $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ , mens temperaturen på de varmeste overflatene på inne-enheten ikke overstiger  $50\text{--}55^{\circ}\text{C}$  (Jakobsen, 2005). Ettersom anleggene blåser overtemperert luft ut i boligen vil støv som normalt ligger i ro på ulike flater kunne bli virvlet opp og øke støvkonsentrasjonen i luften. Dette vil kunne ha en negativ innvirkning på luftkvaliteten. Luft/luft-varmepumper er imidlertid utstyrt med grovfilter og finfilter som i større eller mindre grad fjerner husstøv, pollen og tobakksrøyk i luften som suges gjennom innedelen. se Figur 6.18. Mange aggregater har også et filter som fjerner lukt og/eller deaktiverer virus og bakterier, eventuelt en ionegenerator som ioniserer luften.



Figur 6.18 Eksempel på luft-/luft-varmepumpe med mekanisk grovfilter og elektrostatisk finfilter.

Til grovfilter brukes gjerne kunstfiberfilter, mens zeolittfilter, karbonfilter og elektrostatfilter brukes som finfilter. Sistnevnte type er oppgitt å fjerne partikler ned til  $0,01\ \mu\text{m}$ . Til luftfjerning brukes blant annet karbonfilter og zeolittfilter, mens for eksempel bio/enzym-filter og katekin-filter brukes til deaktivering av virus og bakterier. For å opprettholde filterytelsen er det viktig at filtrene rengjøres og byttes i henhold leverandørens anvisninger. På tross av at luft/luft-varmepumper er et varmluftssystem, dog med relativt lav utblåsningstemperatur ( $<30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ ), vil bruken av filter kunne redusere/eliminere problemene og endatil bidra til å bedre opplevd luftkvalitet i boligen (Bjørnstad et al., 2005). Det er imidlertid ikke gjennomført noen vitenskapelige undersøkelser som viser hvordan denne typen anlegg faktisk påvirker atmosfærisk og termisk innemiljø i boliger.

#### 6.1.4.5 Generelle uttalelser vedrørende oppvarmingssystemer og termisk/atmosfærisk innemiljø

Ulike vitenskapelig fagmiljøer har på grunnlag av sin forskning kommet med følgende *generelle uttalelser* vedrørende oppvarmingssystemer og termisk/atmosfærisk miljø i boliger:

- God luftkvalitet i fyringssesongen krever at lufttemperaturen holdes relativt lav:
  - Å senke lufttemperaturen 2–3°C, fra 23–24°C til 21°C kan forbedre opplevd luftkvalitet med en faktor på to (Fanger, 2003)
  - Høy lufttemperatur reduserer luftkvaliteten med økt tørrhet og irritasjon av luftveiene som resultat (Andersson og Lindvall, 1993, Fang et al. 1998/2004, Wyon, 2004)
  - Lufttemperaturen bør ligge lavere enn operativ temperatur, og helst ikke over 21–22°C. Høyere lufttemperaturer medfører økte klager på ”tørr luft” og flere symptomer hos personer med allergi og overfølsomhet i luftveiene (Bakke, 2005). Mulige årsaker er:
    - Økt forurensning ved høyere temperatur
    - Økte negative sensoriske effekter
    - At den relative luftfuktigheten synker med økt elektrostatisk spenning og mer finfordeling av støv som resultat
- God operativ temperatur sammen med relativt lav lufttemperatur krever at mest mulig av varmen tilføres som lavtemperatur strålevarme samt at lufthastigheten i oppholdssonen er lav. Luftoppvarming krever at lufttemperaturen må ligge over den operative temperaturen for å kunne tilføre varme til bygningen, og er derfor prinsipielt uheldig (Bakke, 2005).
- Andre mulige uheldige effekter av luftoppvarmingssystemer er (Bakke, 2005):
  - Fare for viftestøy
  - Ved mangelfull filtrering, vedlikehold og renhold kan det spres forurensninger og støv
  - Luftsirkulasjon kan medføre at forurensninger fra ulike kilder spres til hele sonen
- Ved oppvarming av støv vil det dannes toksiske stoffer, og graden av toksisitet øker med overflate-temperaturen. Forurensninger fra oppvarmet støv vil sannsynligvis kunne forverre luftkvaliteten og føre til økte helseplager (Mathiesen, 2004). Overflatetemperaturen på varmekilder bør ikke overskride 70°C (Hirvonen et al., 1990), mens ingen flater i rommet bør ha en temperatur som overstiger 150°C for å unngå oksidering og nedbrytning av støv (Pedersen et al., 2002).
- Elektriske panelovner, vedovner, pelletskaminer, gassovner og gasspeiser er punktvarmekilder som plasseres i tilknytning til inner- eller yttervegger. Ettersom strålingsvarmen vil være relativt beskjedent bare noen meter fra kilden må dette kompenseres for med å heve lufttemperaturen tilsvarende. Den sterkt konvektive varmeavgivelsen gir dermed relativt store temperaturforskjeller mellom tak og gulv (ref. [Kapittel 4.3.4, Gulvvarmesystemer](#)). Punktvarmekilder med høy overflate-temperatur bidrar derfor lite til å heve gulvtemperaturen og til å minske strålingsasymmetrien i rommet forårsaket av varmetap gjennom yttervegger og vinduer (Gundersen, 1998).
- Varmeavgivelsen fra lavtemperatur gulv-, tak- og veggvarmesystemer er stort sett termisk stråling, og temperaturforskjellen mellom gulv og tak blir derfor vesentlig mindre enn for oppvarmingssystemer som helt eller delvis baserer seg på luftoppvarming (konveksjonsvarme). Lavtemperatur strålevarmesystemer muliggjør dessuten en reduksjon i lufttemperaturen, noe som fører til høyere relativ luftfuktighet og mindre avgassing fra materialer (Gundersen, 1998).

## **7 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID**

Ved utarbeidelse av denne rapporten har det blitt identifisert en del spørsmålsstillinger og teknologiske utfordringer som er knyttet til oppvarming av norske lavenergiboliger og boliger med passivhus-standard:

1. Analyse av aktuelle oppvarmingssystemer for lavenergiboliger og passivhus ved norske rammebetingelser med hensyn til systemoppbygging (komplette systemløsninger) for ulike bygningskategorier (eneboliger, flermannsboliger, rekkehus, blokkleiligheter, bofellesskap), årsvirkningsgrader, investeringskostnader, driftskostnader, vedlikeholdskostnader og lønnsomhet
2. Undersøkelse av hvordan ulike oppvarmings- og ventilasjonssystemer påvirker termisk og atmosfærisk innemiljø i norske lavenergiboliger
3. Utvikling av energieffektive, enkle og kostnadseffektive alternativer til helelektrisk oppvarming i norske lavenergiboliger og boliger med passivhus-standard. En aktuell anleggstype er såkalte kompaktaggregater bestående av luft/luft-varmeveksler, tillufts-/avtrekksvifter, avtrekksluft-varmepumpe, solfanger og varmtvannstank for bruk i boliger med balansert ventilasjon.

## 8 REFERANSELISTE

1. Andresen, I., 2005: *Effekt- og energidata for lavenergiboliger og passivhus*. SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Arkitektur og byggteknikk.
2. Annex 37, 2004: *Heating and Cooling of Buildings with Focus on Increased Energy Efficiency and Improved Comfort – Guidebook, Summary Report*. VTT, Finland. ISBN 951-38-6488-X.
3. Andersson, J., Lindvall, T., 1993: *Luftvärmesystem. Fördelar og nackdelar. Funktionskrav på FT-system för ventilation og värmning av rum til tilluft*. Byggeforskningsrådet, Stockholm.
4. Balke, K., Flataker, S.A., 2002: *Gass til oppvarming – spesielt til boligoppvarming*. Hovedoppgave utført ved Avdeling for teknologi, Institutt for maskinteknikk. Høgskolen i Sør-Trøndelag.
5. Bakke, J.V., 2004: *Luft-luft-varmepumper og helse*. Artikkel i Norsk VVS 1/2004, pp. 28-29.
6. Bakke, J.V., 2004: *Inneklima, luft-til-luft varmepumper, el.varme og andre varmekilder*. Artikkel i Norsk VVS 7/2004, pp. 23.
7. Bakke, J.V., 2005: *Termisk inneklima for å sikre god luftkvalitet, godt inneklima og effektiv bruk av frisk luft og energi*. Artikkel i Norsk VVS 3/2005, pp. 28-33.
8. Benoit, L., Allaire, S., Gauvin, D., Koutrakis, P., Gingraz, S., Rhainds, M., Homme, H.P., Duchesne, J.F., 2001: *Wood-Burning Appliances and Indoor Air Quality*. The Science of the Total Environment. Volume 281, Issues 1-3, pp. 47-62. Canada.
9. Berner, M., Hanssen, S.O., 2005: *Ventilasjonsluft som oppvarmingskilde*. Arbeidsnotat – under NTNU-SINTEFs Smartbygg-program (2002-2006). SINTEF Energiforskning AS.
10. Bjørnstad, E., Grande, J., Sand, R., Wendelberg, C., 2005: *Evaluering av tilskuddsordningen til varmepumper, pelletskaminer og styringssystemer*. Nord-Trøndelags-forskning. NTF-rapport 2005:2. ISBN 82-7732-136-8.
11. Breembroek, G., Dieleman, M., 2001: *Domestic Heating and Cooling Distribution and Ventilation Systems and their Use with Residential Heat Pumps*. IEA Heat Pump Centre Analysis Report HPC-AR8. ISBN 90-72741-40-8
12. Bühring, A., 2005: *Development and Measurement of Compact Heating and Ventilation Devices with Integrated Exhaust Air Heat Pump for High-Performance Houses*. Proceedings fra 8. IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, USA, May 30 – June 2, 2005.
13. Byggeforsk, 2002: *El.konvertering – vannbåren varme i eksisterende småhus – utvikling av nye løsninger for lavtemperatur vannbåren varme for småhus med direkte elektrisk oppvarming*. Norges byggeforskningsinstitutt (NBI).
14. DSB, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2005. *Informasjon fra hjemmeside: <http://www.dsb.no/>*
15. Dokka, T.H., Mahlum, G., 2003: *Valgte tekniske løsninger og simulering av energibruk og inneklima ved Husby amfi*. Rapport STF22 03508. SINTEF Teknologi og samfunn, Arkitektur og byggteknikk.

16. EC, 2002: *Directive 2002/91/EC* of the European Parliament and the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (EUs direktiv om bygningers energiytelse). [http://europa.eu.int/comm/energy/demand/legislation/buildings\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/energy/demand/legislation/buildings_en.htm)
17. Efam Arkitektkontor, 2003: *Hus uten varmesystem*. 20 energisnåla radhus i Göteborg.
18. Engvall, K., 2003: *A Sociological Approach to Indoor Environment in Dwellings*. Dr. avhandling ved Uppsala Universitet. ISBN 91-554-5677-4.
19. Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O., 1998: *Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures*. Proceedings fra Indoor Air Quality Conference 1998, (B), 8: pp. 276-284.
20. Fang, L., Wyon, D.P., Clausen, G., Fanger, P.O., 2004: *Impact of Indoor Air Temperature and Humidity in an Office on Perceived Air Quality*. Proceedings fra Indoor Air Quality Conference 2004, Canada, 14: pp. 74-81.
21. Fanger, P.O., 1986: *Asymmetrisk stråling*. Dansk VVS-teknisk tidsskrift.
22. Fanger, P.O., 2003: *Providing Indoor Air of High Quality: Challenges and Opportunities*. Proceedings fra Healthy Buildings 2003, Singapore, Vol. 1, pp. 1-10 (2003)
23. Fehrm, M., 2005: *The Exhaust Air Heat Pump – A Rational Way of Heating Low-Energy Houses*. Proceedings fra 8. IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, USA, May 30 – June 2, 2005.
24. FHI, 2005: Spørsmål og svar om legionella. Folkehelseinstituttet. <http://www.fhi.no>
25. Foku, 2005: *Forum for kuldebrukere (FOKU)*. <http://www.foku.org/fokus-2-2005.html>
26. Forbrukerrapporten, 2004: *Finn riktig varmepumpe*. 9/04, pp. 11-15.
27. Friedl, M.J., 2005: *Space Heating and Hot Water Heating System with a Transcritical CO<sub>2</sub> Heat Pump*. Proceedings fra 8. IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, USA, May 30 – June 2, 2005.
28. Gassmag, 2005: *Nyhetsmagasin om energi og gass*. <http://www.gassmagasinet.no>
29. Gilli, P.V., Streicher, W., Halozan, H., Breembroek, G., 1999: *Environmental Benefits of Heat Pumping Technologies*. Analysis Report HPC-AR6. ISBN 90-73741-33-5. IEA Heat Pump Centre, Nederland.
30. Grini, G., 2004: *Energibruk i bygninger*. Notat med Miljøstiftelsen Bellonas synspunkter vedr. energibruk i bygninger. <http://www.bellona.no/no/energi/energieffektivisering/36366.html>
31. Grönli, M.G., Livik, K., Andresen, I., Stang, J., Stene, J., Sæther, S., Thyholt, M., 1999: *Varme-produksjon i bygninger. Delrapport i Klimatek-prosjektet "Framtidens energisystemer i eksisterende og nye bygninger – en overordnet analyse med vekt på status og scenarier*. SINTEF-rapport TR A4910. SINTEF Energiforskning AS.
32. Grönli, M.G., 1999: *Forbrenningsteknologi for biobrensler*. Bionett, Temablad 3. SINTEF Energiforskning AS.
33. Gundersen, P., 1998: *Energieffektive varmeanlegg med vannbåren lavtemperaturvarme*. Norsk VVS, Teknisk magasin, 6/98, pp. 33-42.

34. Gundersen, P., 2002: *Energifleksible lavtemperatur varmeanlegg*. Prosjektrapport 317-2002, Norsk Byggforskningsinstitutt. ISBN 82-536-0754-7 h.
35. Gundersen, P., 2002: *Lavtemperatur varmeanlegg – takvarme i ny og eksisterende bebyggelse*. Prosjektrapport 337-2002, Norsk Byggforskningsinstitutt. ISBN 82-536-0799-2 h.
36. Gundersen, P., Schild, P.G., 2005: *Low Exergy Ceiling Heating/cooling Systems for Future Buildings*. 7th Nordic Symposium on Building Physics, Reykjavik, Island, 12-15 June, 2005.
37. Hihara, E., Hirofumi, I., 2004: *Performance Test of CO<sub>2</sub> Heat Pump with Combined Domestic Hot Water Heating and Floor Heating*. Japanese Country Report to IEA Heat Pump Programme Annex 28 – Test Procedure and Seasonal Performance Calculation for Residential Heat Pumps with Combined Space and Domestic Hot Water Heating (2002 – 2005).
38. Hirvonen, A., Savolainen, T., Ruuskanen, J., Tarhanen, J., Pasanen, P., 1990: *Thermal Desportion of Settled Dust*. Proceedings fra Indoor Air Quality Conference, Toronto, Canada, 1990.
39. HPC, 2005: *Information on heat pumps in low-energy houses*. <http://www.heatpumpcentre.org>
40. Hubacher, P., 2004: *Field Analysis of Heat Pump Installations – the FAWA Project*. IEA Heat Pump Centre Newsletter, volume 22, 2/04, pp. 15-18.
41. Husbanken, 2005: *Hjemmeside om lavenergiboliger i Norge*: <http://www.lavenergiboliger.no>
42. Haakonsen, G., Kvingedal, E., 2001: *Utslipp til luft fra vedfyring i Norge. Utslippsfaktorer, ildstedbestandighet og fyringsvaner*. Statistisk sentralbyrå. ISBN 82-5374994-5.
43. IEA, 2005: *Key World Energy Statistics 2005*. International Energy Agency. <http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/nppdf/free/2005/key2005.pdf>
44. Inneklima. 2005: *Hjemmeside med informasjon om inneklima*. <http://www.inneklima.com>
45. ISO, 2005: *ISO 7730 – Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standardization , november 2005.
46. Jakobsen, A., Stene, J., 2003: *Luft/luft-varmepumper – Teknologisk status og erfaringer i Norge*. Rapport TR A5918. ISBN 82-594-2601-3. SINTEF Energiforskning AS.
47. Jakobsen, A., 2005: *Målinger på luft/luft-varmepumper*. SINTEF Energiforskning AS.
48. Kaan, H.F., Boer, B.J.de, 2005: *Passiv Houses – Achievable Concepts for Low CO<sub>2</sub> Housing*. Energy Research Centre of the Netherlands, Petten.
49. Karlson, F., Axell, M., Fahlen, P., 2003: *Heat Pumps in Sweden – Country Report for IEA Annex 28*. SP AR 2003:01. Swedish National Testing and Research Institute (SP).
50. Karlsvik, E., 2005: *Hvorfor bør vi satse på ved?* SINTEF Energiforskning AS.
51. Karlsvik, E., 2005. *Informasjon om gassfyrte og biobrenselfyrte anlegg for boliger*.
52. Kompakt, 2005: *Informasjon fra produsenter av kompaktaggregater – integrerte systemer med ventilasjonsaggregat, avtrekksluft-varmepumpe, solfanger og varmtvannssystem*.

53. Ludin, L., 2005: *Termisk komfort*. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP).
54. Lund, H., 2005: *Målinger på luft/luft-varmepumper*. <http://www.varmepumpesiden.no>
55. Mathiesen, M., 2004: *Indoor dust and hot surface contact: Biological effects in vitro of heated dust and heat-generated emissions*. Dr.avhandling 2004:13 ved Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), ISBN 82-471-6225-3.
56. Myhre, L., Dokka, T.H., 2004: *Energieffektive løsninger for småhus – Redusert oppvarmingsbehov og bedre inneklima*. Norges byggforskningsinstitutt, anvisning 40, 2004. ISBN 82-536-0854-3.
57. NFF, 2005: *Info fra Norsk Fjernvarmeforening*. <http://www.fjernvarmeforeningen.org/index.jsp>
58. NFR/NVE, 2001: *Nye, fornybare energikilder – revidert utgave*. Norges forskningsråd (NFR) i samarbeid med Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Produsert av KanEnergi AS. ISBN 82-12-01621-8. Hefтет tilgjengelig i pdf-format – <http://www.kanenergi.no/>
59. Nobio, 2005: *Norsk bioenergiforening*. <http://www.nobio.no>
60. Nogas, 2005: *Informasjon om naturgass og gassmiljøer i Norge*. <http://www.gass.no>
61. Novakovic, V., Hanssen, S.O., Thue, J.V., Skarstein, Ø., Gjerstad, F.O., 1998: *ENØK i bygninger – effektiv energibruk*. Universitetsforlaget, Oslo. ISBN 82-00-42307-7.
62. Novakovic, V. m.fl., 2000: *Energi i Norge – Ressurser, teknologi og miljø*. Rapport TR A5171. ISBN 82-594-1781-4. SINTEF Energiforskning AS.
63. Nosol, 2005: *Strategi for å fremme solvarme i Norge – forprosjekt*. Norsk solenergiforening. <http://www.solenergi.no>
64. Novap, 2005: *Norsk varmepumpeforening*. <http://www.novap.no>
65. NS-EN 832, 2005: *Bygningers termiske egenskaper – Beregning av bygningers energibehov til oppvarming – Boliger* (Thermal Performance of Buildings – Calculation of Energy Use for Heating – Residential Buildings). Standard Norge. Utgave 1, 05.05.1999.
66. OED, 1998: *Energi- og kraftbalansen mot år 2020*. NoU 1998:11, Statens forvaltningstjeneste. ISBN 82-583-0456-3. <http://odin.dep.no/oed/norsk/publ/utredninger/NOU/026005-020001/>
67. Oikos Nomos, 2005: *Fremtidsrettede byboliger*. <http://www.byggforsk.no/prosjekter/oikosnomos/>
68. Pedersen, L., 2003: *Analyse av energiforsyning til boligområde*. Hovedoppgave ved NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk. H-03-38.
69. Pedersen, E.K., Bjørseth, O., Syversen, T., Mathiesen, M., 2002: *Emissions from Indoor Dust*. Environment International. Volume 27, Issue 7, pp. 579-587.
70. Pettersen, T., Myhre, L., Wigenstad, T., Dokka, T.H., 2005: *Energimerking av boliger*. Rapport fra Norsk Byggforskningsinstitutt. Kvalitetssikret av SINTEF Bygg- og miljøteknikk.
71. Prenørk, 2005: *Gass til oppvarming*. VVS-bransjens håndbok i vannbåren energi. Utgitt av Skarland Press AS.

72. Prenøk, 2005: *Vannbåren gulvvarme*. VVS-bransjens håndbok i vannbåren energi. Utgitt av Skarland Press AS.
73. Rodevelt, S., Jarlsby, E., Seglem, P., 2003: *Naturgass til Egersund – muligheter for anvendelse av naturgass forsynt som LNG*.
74. Roracher, H., 2002: *User Friendly Heating Systems for Low-Energy- and Passive Houses*. Institute for Thermal Engineering, Graz University, Østerrike.
75. Ruud, S., Lundin, L., 2004: *Bostadshus utan traditionelt oppvarmningssystem – Resultat från två års mätningar*. Rapport 2004:31. Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut.
76. Råd&Rön, 1998: *Test – fläktkonvektorer*. R&R 5/1998. <http://www.radron.se>
77. Råd&Rön, 2001: *Värmepumpar för luftburen varme*. R&R 4/2001. <http://www.radron.se>
78. Råd&Rön, 2002: *Test – pelletskaminer*. R&R 10/2002. <http://www.radron.se>
79. Råd&Rön, 2004: *Test – pelletsbrännare*. R&R 7/2004. <http://www.radron.se>
80. Råd&Rön, 2004: *Test – luft-luftvärmepumpar*. R&R 7/2004. <http://www.radron.se>
81. Råd&Rön, 2004: *Test – pelletskvalitet*. R&R 7/2004. <http://www.radron.se>
82. Råd&Rön, 2005: *Test – luft-luftvärmepumpar*. R&R mars 2005. <http://www.radron.se>
83. Råd&Rön, 2005: *Test – pelletspannor*. R&R oktober 2005. <http://www.radron.se>
84. Sakellari, D., Lundqvist, P., 2005: *Modelling and simulation results for a domestic exhaust-air heat pump heating system*. International Journal of Refrigeration (IIR/IIF). Article in Press. Elsevier. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
85. SBE, Statens Bygningstekniske Etat, 1997: *Ren teknisk 1997. Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven*. <http://www.be.no/beweb/regler/veil/REN2003/000tekveilinnh.html>
86. Shell, 2005: *Informasjon om bruk av propan som boligass*.
87. Shecco, 2005. *Info fra Shecco Technology om CO<sub>2</sub>-varmepumper*. <http://www.shecco.com>
88. Solarnor, 2005. *Informasjon fra Solarnor AS*. <http://www.solarnor.no>
89. SolUVE, 2002: *Passiv solvarme i nyere danske boligbyggerier – erfaringsopsamling og anbefalinger*. Den danske energistyrelsens UVE-program. ISBN 87-987599-3-0.
90. SSB, 2005: *Informasjon fra Statistisk Sentralbyrå*. <http://www.ssb.no>
91. Stiebel Eltron, 2005: *Thermal Solar Systems. Planning and Installation*. 1/7766-HD.
92. Statoil, 2005: *HMS datablad for propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)*.
93. Stene, J., 1998: *Guidelines for Design and Operation of Compression Heat Pump, Air Conditioning and Refrigerating Systems with Natural Working Fluids*. IEA Heat Pump Program report. No. HPP-AN22-4. ISBN 90-73741-31-9.

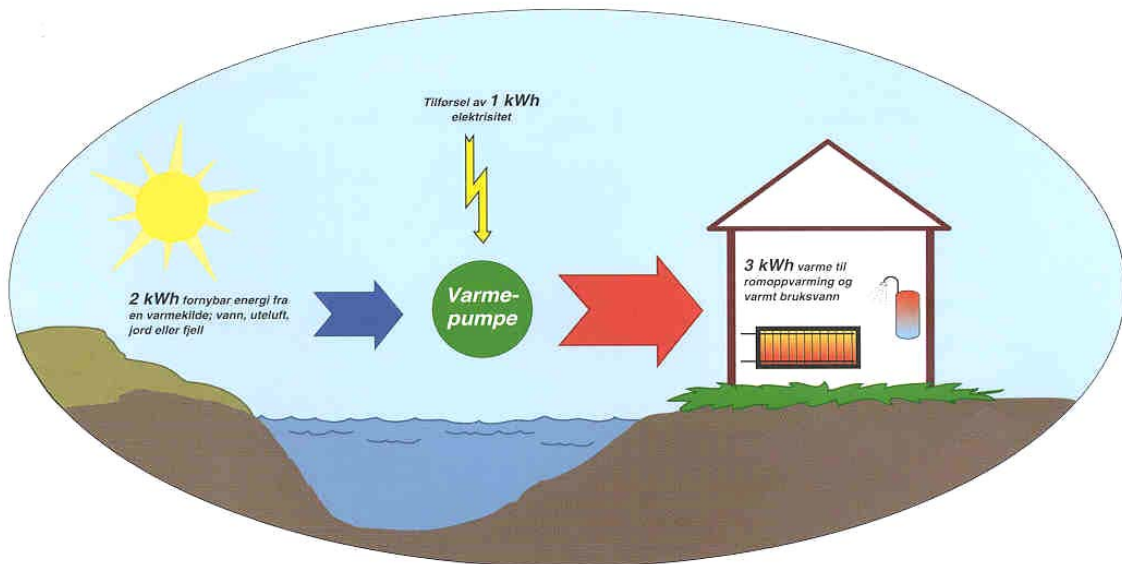


94. Stene, J., Brånås, M., 2003: *Temahefte – Varmepumper i boliger*. Rapport TR A5703. ISBN 82-594-2369-3. SINTEF Energiforskning AS.
95. Stene, J., 2004: *Residential CO<sub>2</sub> Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating*. Dr.avhandling ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), Institutt for energi- og prosesssteknikk, 2004:53. ISBN 82-471-6316-0.
96. Streicher, W., Mach, T., Schweyer, K., Heimrath, R., Kouba, R., Thür, A., Jähnig, D., Bergmann, I., Suschek-Berger, J., Rohracher, H., Krapmeier, H., 2004: *Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergi- und Passivhäuser - Endbericht* (User Friendly Heating Systems for Low energy and Passive Multi Family Buildings). Ein Projektbericht im Rahmen Der Programmlinie "Haus der Zukunft". Technical University Graz, Østerrike, januar 2004. <http://www.hausderzukunft.at/publikationen.htm>
97. Teknologirådet, 2003: *Framtidens boligoppvarming – i en presset energisituasjon – hva er alternativene i de tusen hjem?* Nyhetsbrev nr. 6, juni 2003.
98. Thyholt, M., Andresen, I., Matusiak, I., 1999: *Bygningskroppen i livsløpsperspektiv – status og tiltak. Delrapport i Klimatek-prosjektet "Framtidens energisystemer i eksisterende og nye bygninger – en overordnet analyse med vekt på status og scenarier*. Rapport STF22 A99500. SINTEF Bygg og miljøteknikk.
99. Thyholt, M., Dokka, T.H., 2003: *Nye forskriftskrav til bygningers energibehov*. Rapport STF A03524. ISBN 82-14-03073. SINTEF Teknologi og Samfunn, Arkitektur og byggteknikk, desember 2003.
100. Ulnæss, M., 2003: *Solvarme i kombinasjon med gass/biobrensel*. Miniseminar om solenergi, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), oktober 2003.
101. Varmeinfo, 2005: *Opplysningskontor for fleksible oppvarmings syst.* <http://www.varmeinfo.no>
102. Viessman, 2005: *Informasjon fra Viessmann Werke GmbH*, Tyskland
103. VKON, 2005: *Produktinformasjon fra produsenter av viftekonvektorer*.
104. Wolff, D., Teuber, P., Budde, J., Jagnow, K., 2004: *Feldtuntersuchung – Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkessel*. Fachhochschule Braunschweig Wolfebüttel, Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Tyskland.
105. Wyon, D.P., 2004. *The effects of Indoor Air Quality on Performance and Productivity*. Proceedings fra Indoor Air Quality Conference 2004, Canada, 14: pp. 92-101.

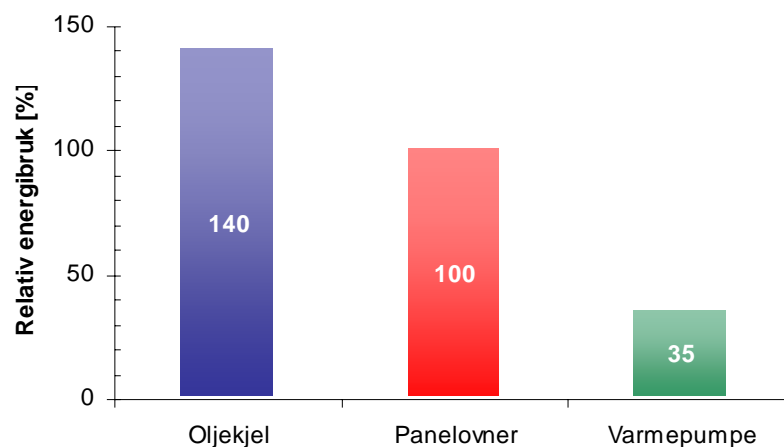
## 9 VEDLEGG A – VARMEPUMPER

### 9.1 VARMEPUMPENS PRINSIPP

En boligvarmepumpe utnytter gratis lavtemperatur varme fra omgivelsene (uteluft, vann, fjell, jord – fornybar energi) eller en spillvarmekilde (avtrekksluft, avløpsvann), og oppgraderer denne varmemengden til et høyere temperaturnivå slik at den kan brukes til ulike oppvarmingsformål. For at dette skal være mulig må varmepumpen tilføres høyverdig drivenergi (elektrisitet). Ettersom varmepumpen utnytter en eksternt og fritt tilgjengelig varmekilde reduseres behovet for høyverdig energi (primærenergi) med typisk 50 til 80% i forhold til bruk av konvensjonelle oppvarmingssystemer basert på elektrisitet eller petroleumprodukt. Varmepumpens prinsipp er illustrert i Figur 9.1, mens Figur 9.2 viser et prinsipielt eksempel på relativt primærenergibehov for ulike oppvarmingssystemer for boligoppvarming – oljekjel, elektriske panelovner og varmepumpe. Relativt primærenergibruk for panelovner er satt som referanse, dvs. 100%.



Figur 9.1 Illustrasjon av varmepumpens prinsipp (Stene og Brånås, 2003).



Figur 9.2 Eksempel på relativt primærenergibehov for ulike oppvarmingssystemer for boligoppvarming.

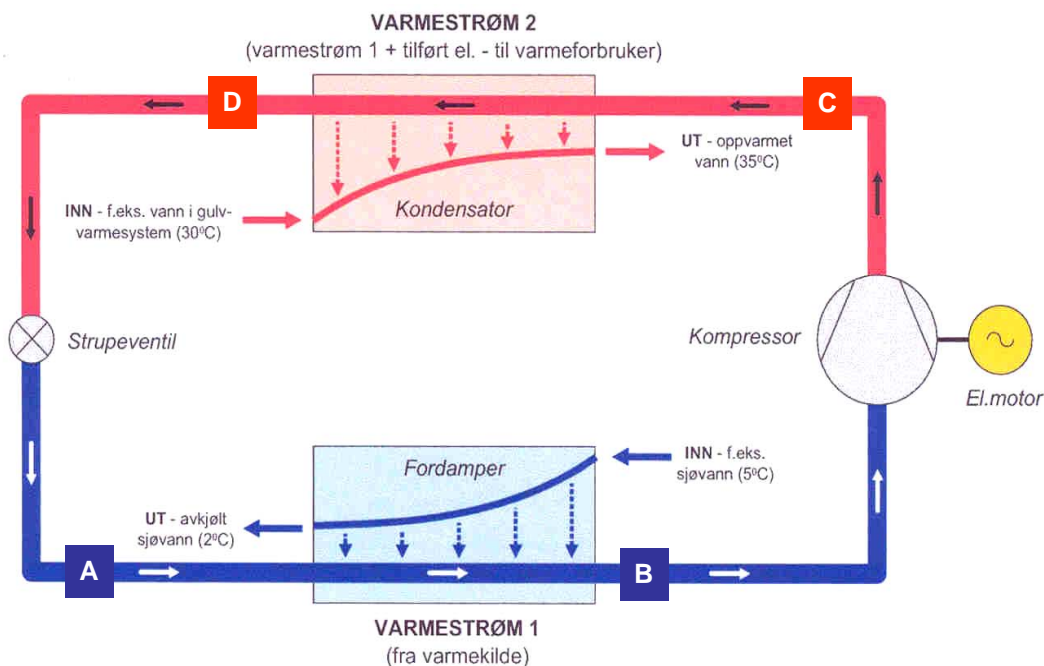
Avhengig av type varmepumpe, kan varmen som leveres fra anlegget brukes til romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og til oppvarming av varmt forbruksvann.

## 9.2 VARMEPUMPENS HOVEDKOMPONENTER OG VIRKEMÅTE

En varmepumpe består prinsipielt av fire hovedkomponenter:

- Fordamper – varmeveksler for varmeopptak fra varmekilden
- Kompressor – trykkøkende komponent
- Kondensator – varmeveksler for varmeavgivelse til varmekonsumer
- Strupeventil – trykkreduserende komponent

Komponentene er bundet sammen med en lukket rørkrets, og i kretsen sirkulerer et prosessmedium (*arbeidsmedium*) som transporterer energi/varme fra varmekilden til varmekonsumer, dvs. varmesystemet i huset. Vanlige arbeidsmedier i boligvarmepumper er R-404A, R-407C, R-410A, R-134a og R-290 (propan). Karbondioksid (CO<sub>2</sub>) er regnet som et lovende alternativ, men denne typen varmepumpeanlegg er foreløpig ikke kommersielt tilgjengelig i Norge. Figur 9.3 viser prinsipielt hvordan hovedkomponentene i et varmepumpeanlegg er koblet sammen, og hvor varmeopptaket og varmeavgivelsen skjer.



Figur 9.3 Prinsippkisse av et varmepumpeanlegg (Stene og Brånås, 2003).

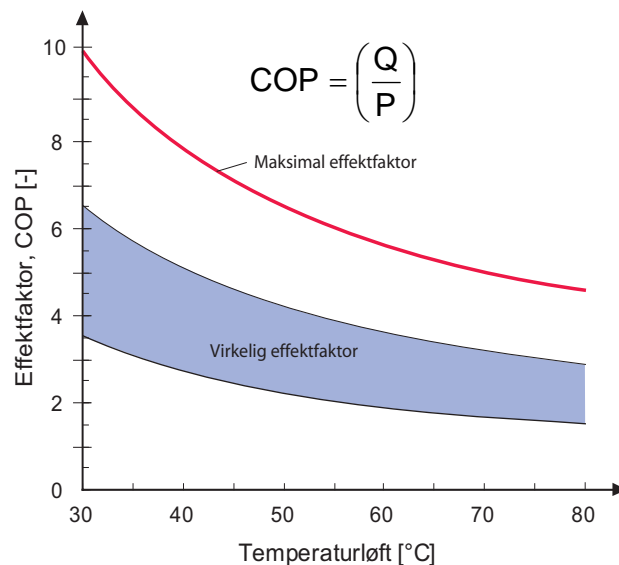
I den kontinuerlige kretsprosessen gjennomgår arbeidsmediet ulike tilstandsforandringer:

- Ved innløpet til *fordamperen* (A) er arbeidsmediet i væskefase, og metningstrykket holdes så lavt at mediet har lavere temperatur enn varmekilden. Temperaturforskjellen fører til at varme strømmer fra varmekilden til arbeidsmediet, som begynner å fordampe. Ved utløpet av fordamperen (B) har all væske fordampet, og varmemengden som har blitt overført fra varmekilden har økt energiinnholdet i arbeidsmediet (væske → gass).
- Arbeidsmediet i gassfase (B) suges inn i *kompressoren*. Kompressoren øker trykket og dermed gassens temperatur (C). Det meste av energimengden som tilføres kompressoren går med til å øke energiinnholdet i gassen. Kompressoren bidrar dessuten til å opprettholde så lavt metningstrykk i fordamperen at metningstemperaturen på arbeidsmediet blir lavere enn temperaturen på varmekilden, slik at varme kan overføres fra varmekilden til arbeidsmediet.

- Arbeidsmediet i gassfase ved høyt trykk og høy temperatur (**C**) strømmer over i *kondensatoren*. Ettersom arbeidsmediet holder en høyere temperatur enn det mediet som skal varmes opp, for eksempel vann i et gulvvarmesystem, overføres varme til gulvvarmekretsen. Under varmeavgivelsen kondenserer arbeidsmediet, og ved utløpet av kondensatoren (**D**) er alt arbeidsmediet i væskefase (gass → væske).
- Arbeidsmediet i væskefase ved høyt trykk og høy temperatur (**D**), strømmer til *strupeventilen* (trykkreduksjonsventil). Der senkes trykket og temperaturen på mediet til henholdsvis fordampningstrykk og fordampningstemperatur. Arbeidsmediet i væskefase strømmer til fordampere (**A**), og kretsløpet gjentas på nytt.

### 9.3 VARMEPUMPENS ENERGIEFFEKTIVITET

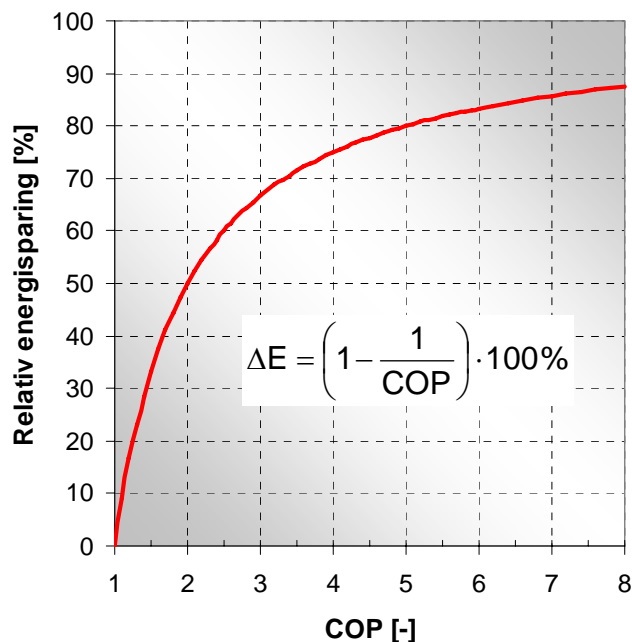
Varmepumpens energieffektivitet eller evne til å spare høyverdig energi (primærenergi) ved ulike driftstilstander uttrykkes ved hjelp av *effekt faktoren* (COP, Coefficient of Performance). Denne størrelsen angir forholdet mellom avgitt varmeeffekt fra kondensatoren ( $Q$ ) og tilført elektrisk effekt til kompressoren ( $P$ ), og skal være så høy som mulig. Effektfaktoren er svært avhengig av varmpumpens temperaturløft, det vil si differansen mellom anleggets kondenserings- og fordampningstemperatur. Figur 9.4 viser at *jo lavere temperaturløft, desto høyere effekt faktor*. En derfor oppnår høyest energisparing i de anleggene der en kan utnytte en varmekilde med relativt høy temperatur, og hvor varmen leveres til et varmedistribusjonssystem med moderate temperaturkrav.



Figur 9.4 Effektfaktoren (COP) vist som funksjon av temperaturløftet for den ideelle varmpumpeprosessen (rød linje) og virkelige varmpumpeanlegg (blått felt).

Varmepumpens effektivitet gjennom en hel fyringssesong uttrykkes ved hjelp av *årsvarmefaktoren* (SPF, Seasonal Performance Factor). Denne angir forholdet mellom årlig avgitt varmemengde fra kondensatoren og tilført elektrisk energi til kompressoren. *Årsvarmefaktoren skal være så høy som mulig*. For komplette varmpumpeanlegg med spisslastenhet, eventuelle pumper osv. vil årsvarmefaktoren typisk ligge 10 til 30% lavere enn for selve varmpumpeaggregatet.

Figur 9.5 viser hvor stor prosentvis energisparing en varmpumpe ved ulike effekt faktor (COP) gir i forhold til elektriske oppvarmingssystemer. Eksempelvis vil en COP på 2 gi 50% energisparing, mens en COP på 4 gir 75% energisparing.



Figur 9.5 Prinsipiell sammenheng mellom varmepumpens effektfaktor (COP) og prosentvis energisparing i forhold til elektriske oppvarmingsystemer.

## 9.4 VARMEKILDER FOR VARMEPUMPER

Uteluft, ventilasjonsluft, grunnvarme (fjell/grunnvann), jord og sjøvann er de mest aktuelle varmekildene for boligvarmepumper i Norge, Tabell 9.1.

Tabell 9.1 Aktuelle varmekilder for varmepumper med typiske temperaturer.

Varmekilde	Temperaturnivå ved DUT <sup>1</sup>	Temperaturvariasjon over fyringssesongen
Uteluft	-10 til -40°C	0 til 50°C
Ventilasjonsluft	18 til 25°C	Relativt konstant
Grunnvarme (fjell/grunnvann)	-2 til 8°C	Avhengig av bl.a. vanntilsig
Jord	0°C	Utfrysing av vann ved 0°C
Sjøvann	3 til 8°C	4 til 5°C

*Dimensjonerende utetemperatur (DUT). Laveste tre-døgnsmiddel for uteluft-temperaturen.*

### 9.4.1 Varmeuttak fra uteluft



På grunn av god tilgjengelighet er uteluft en aktuell varmekilde i norske boligvarmepumper. Uteluft har imidlertid en åpenbar ulempe ved at temperaturen er i motfase med romoppvarmingsbehovet i boligen. Det vil si at temperaturen er lav når romvarmebehovet er stort, og både varmepumpens varmeytelse og effektfaktor (COP) avtar når uteluft-temperaturen reduseres. Ettersom luft har relativt lav spesifikk varmekapasitet, lav tetthet og relativt dårlige varmeoverføringsegenskaper, dimensjoneres fordampere for uteluftbaserte anlegg med relativt stort varmevekslerareal, og viftene utformes for å transportere relativt store luftmengder over fordampere. De fleste boligvarmepumpene som utnytter uteluft som varmekilde er såkalte luft/luft-varmepumper.

### Fordeler – ulemper – merknader

- Varmekilden er tilgjengelig overalt
- Moderate investeringskostnader ettersom varmeopptakssystemet er en integrert del av anlegget
- Luft/luft-varmepumper kan brukes til klimakjøling
- Varmepumpen har lavest effektfaktor og lavest varmeytelse når varmebehovet er størst, og behovet for tilleggsvarme fra andre varmesystemer er derfor større enn ved bruk av andre typer varmekilder
- Når overflaten på fordampere er 0°C eller lavere vil fuktigheten i luften felles ut som rim på fordampere, og avriming er derfor nødvendig. Ved avriming vil anleggets effektfaktor reduseres med typisk 10 til 20% i forhold til drift uten avriming
- Fuktig og saltholdig luft kan forkorte levetiden for varmepumpens fordampere

### 9.4.2 Ventilasjonsluft – varmeuttak fra avtrekksluft i ventilasjonsanlegg



Avtrekksluft fra ventilasjonsanlegg, det vil si anlegg med balansert ventilasjon eller avtrekksventilasjon, har høy og tilnærmet konstant temperatur året rundt, og kan utnyttas som varmekilde for varmepumper. Denne typen anlegg benyttes til oppvarming av ventilasjonsluft (frisk tilluft), oppvarming av varmt forbruksvann og eventuelt til romoppvarming i boligen. Ventilasjonsluft er velegnet som varmekilde i lavenergiboliger der varmetapet gjennom bygningskonstruksjonen er lite i forhold til ventilasjonstapet.

I boliger med *balansert ventilasjon* benyttes to separate kanalsystemer for tilførsel av friskluft og fjerning av forurenset inneluft, og kanalsystemene har hver sin vifte. Prinsipielt sett bør varmen i avtrekksluften først gjenvinnes ved varmeveksling, og deretter utnyttes i en varmepumpe. For boliger vil det de i de fleste tilfeller bli for kostbart å investere i både varmeveksler og varmepumpe, slik at en må velge en av delene. En varmepumpe vil kreve høyere investeringer enn en varmeveksler (kammerveksler, kryssveksler e.l.), men bidrar til høyere energisparing. Valg av varmegjenvinningssystem må derfor vurderes i hvert enkelt tilfelle, og det er i den sammenheng viktig å kartlegge tilgjengelig mengde energi i avtrekksluften.

Ved *avtrekksventilasjon* tilføres frisk luft til boligen via spalteventiler over vinduene eller separate veggventiler. Alle innvendige dører i boligen har spalter i over- eller underkant, og all luften suges gjennom våtrom/bad/WC før den ledes over varmepumpens fordampere og ut av boligen.

### Fordeler – ulemper – merknader

- Ventilasjonsluften holder typisk 20 til 24°C hele året, og dette fører til relativt høy årsvarmefaktor (COP) for varmepumpen på grunn av høy fordampningstemperatur
- Relativt moderate investeringskostnader
- Det er begrenset hvor mye varme som kan tas fra ventilasjonsluften
- Forutsetter kontinuerlig ventilasjon året rundt
- I balanserte ventilasjonsanlegg bør installasjon av konvensjonell varmeveksler alltid vurderes
- Avtrekksluft fra kjøkken bør ikke brukes som varmekilde på grunn av fett som vil danne et isolerende lag på varmepumpens fordampere

### 9.4.3 Grunnvarme – varmeuttak fra fjell/grunnvann



Fjell/grunnvann (grunnvarme) er en velegnet varmekilde for boligvarmepumper ettersom temperaturnivået dypere enn 10 meter under bakkenivå tilsvarer omlag midlere årsmiddeltemperatur for uteluften på stedet (2 til 8°C). Varmeuttaket skjer fra en eller flere energibrønner, som hver består av et 80 til 200 meter vertikalt borehull med en diameter på 12 til 15 cm. Varmeopptakssystemet utføres som et indirekte system ved at det føres ned en helsveist plastslange (PEM/Ø40 mm) i borehullet som kobles til varmepumpens fordamper. I den lukkede kollektorkretsen sirkuleres en frostvæske (for eksempel denaturert sprit), som transporterer varme fra borehullet til varmepumpens fordamper. Overflatevann og løsmasser holdes ute fra brønnen ved hjelp av foringsrør i stål, som settes ned i fast fjell.

Typisk verdi for mulig varmeuttak fra en energibrønn er 40 W per meter borehull, med variasjoner fra 20 til 80 W/m. Varmeopptaket og følgelig nødvendig borehullsdybde er i tillegg til varmepumpens varmeytelse (fordamperytelse) avhengig av blant annet type bergarter, berggrunnens oppsprekking, nedslagsfeltets størrelse og terrengets helning. Det største varmeuttaket får en ved oppsprukket fjell og godt grunnvannstilsig. I tørre brønner med liten eller ingen vannmengde fylles borehullet med vann, borkaks eller en blanding av bentonitt og kvartssand for å bedre varmeledningen mellom fjellet og kollektorslangen.

Det er også mulig å benytte *grunnvann* direkte i boligvarmepumper såfremt det er tilstrekkelig grunnvannstilsig i brønnen. I tillegg er det meget viktig at vannkvaliteten er så god at en ikke får problemer med utfelling av jern og mangan i fordampere og sirkulasjonspumpen. Brønnsystemet vil enten bestå av forbruksbrønn og infiltrasjonsbrønn eller én resirkulasjonsbrønn.

#### Fordeler – ulemper – merknader

- Varmepumpen har relativt konstant varmeytelse og oppnår høy effektfaktor (COP) på grunn av stabil og høy temperatur på varmekilden gjennom fyringssesongen
- Anlegget tar minimal plass utendørs, men det kreves tilstrekkelig plass til boreriggen
- Varmeopptakssystemer har høy driftssikkerhet og lang levetid
- Kan brukes til frikjøling ved at frostvæsken sirkuleres til en viftekonvektor i boligen
- En komplett energibrønn har relativt høye investeringskostnader
- Uegnet varmekilde i områder med stor overdekning av jord, løsmasser eller leire på grunn av høye kostnader for installasjon av foringsrør ned til fast fjell
- Krever korrekt brønndimensjonering/-utforming. Ved tørre brønner med lite eller intet grunnvannstilsig eller ved boring av for grunne brønner i forhold til dimensjonerende varmeuttak, vil varmeytelsen og effektfaktoren (COP) avta på grunn av redusert fordampningstemperatur

### 9.4.4 Jordvarme – varmeuttak fra jord eller myr



En jordvarmepumpe utnytter solenergi som akkumuleres i det øvre jordlaget gjennom sommerhalvåret. En eller flere helsveiste plastslanger (PEM, Ø40 mm) graves ned på 60 til 120 cm dybde og med en innbyrdes avstand på typisk 1 til 2 m. Gjennom slangene pumpes en frostvæske, som tar opp varme fra jordmassen og avgir den i varmepumpens fordamper. Det finnes også direkte systemer hvor fordamperrørene legges i jorden, men disse er lite utbredt i Norge på grunn av faren for lekkasje av arbeidsmedium.

Jordens beskaffenhet avgjør hvor mye varme som kan tas ut og hvor energieffektiv varmpumpen blir. Typisk varmeuttak er 15 til 20 W per meter kollektorslange. Det er gunstig med høy fuktighet, og myrjord er derfor den beste varmekilden mens drenert sandjord er dårligst. I fuktig jord vil det meste av varmeopptaket skje ved at vannet i jorda fryser. Frostsonen rundt rørene vil øke utover i fyringssesongen, men i løpet av sommeren vil solvarmen smelte isen og varme opp jordsmonnet. Siden varme hentes fra jorden vil vekstsesongen bli noe forkortet, og kollektorslangen bør derfor ikke legges helt inntil busker og trær.

Jordvarmeanlegg har lavere investeringskostnader enn grunnvarmesystemer, men vil ikke oppnå like høy effektfaktor (COP) fordi varmekildens gjennomsnittlige temperatur i fyringssesongen blir noe lavere. Det har også vist seg at anlegg med jordvarme som varmekilde oftere har driftsproblemer enn grunnvarmeanlegg, ettersom anleggene er lettere å feildimensjonere.

#### Fordeler – ulemper – merknader

- Varmepumpen har relativt konstant varmeytelse og oppnår relativt høy effektfaktor (COP) på grunn av stabil og høy temperatur på varmekilden gjennom fyringssesongen
- Moderate investeringskostnader
- Krever relativt stor tomt – fortrinnsvis med fuktig jordsmonn
- Er følsom med hensyn til dimensjonering av kollektorsystemet. Ved underdimensjonering vil for stor utfrysning føre til lavere varmeytelse og effektfaktor for anlegget, mulig hevinger i terrenget og i verste fall permafrost i bakken.
- Gjentatt frysing og tining av jorda vil kunne gi luftlommer mellom jorda og kollektorslangen. Dette vil føre til redusert varmeytelse og lavere effektfaktor (COP) for varmpumpen.

#### **9.4.5 Varmeuttak fra sjøvann og ferskvann (innsjø, elv)**



Mens sjøvann har en relativt stabil og høy temperatur vinterstid, vil vann fra innsjøer og elver ha temperaturer ned mot nullpunktet, og derfor være lite egnet som varmekilde for boligvarmpumper. På samme måte som i jordvarmebaserte anlegg overføres varmen fra varmekilden (sjøvannet) til varmpumpens fordamper via et kollektorsystem (PEM, Ø40 mm) med sirkulerende frostvæske. Plastrørene legges gjerne i bunnslammet og i stor nok dybde til at rørene får ligge i ro for is og bevegelser i vannmassene, og de påmonteres ballast (betonglodd e.l.) for at de skal ligge stabilt og ikke flyte opp ved eventuell påfrysing.

#### Fordeler/ulemper – merknader

- Varmepumpen har relativt konstant varmeytelse og oppnår høy effektfaktor (COP) på grunn av stabil og høy temperatur på varmekilden gjennom fyringssesongen
- Relativt moderate investeringskostnader.
- Forutsetter at boligbygget ligger relativt nært strandsonen.
- Eventuell begroing og ispåfrysing på kollektorslangen vil redusere varmpumpens varmeytelse og effektfaktor. Ispåfrysing skyldes ofte at kollektorslangen er underdimensjonert, dvs. at varmeuttaket er for høyt i forhold til tilgjengelig varmevekslerflate (rørlengde) og temperatur på sjøvannet.
- Kollektorslangen er utsatt for vær og vind. Den må dessuten legges slik at den ikke kommer i konflikt med ankringsplasser.



## 10

## VEDLEGG B – ISOLASJONSSTANDARD OG ÅRLIG VARMEBEHOV FOR LAVENERGIBOLIGER OG PASSIVHUS


**Husbanken**

**Lavenergiboliger og Passivhus - Skjematisk oversikt over kriterier og typiske egenskaper**  
 Dette er en forenklet og skjematisk framstilling. Beregning og kontroll av totalt energibehov eller oppvarmingsbehov pr m<sup>2</sup> i konkrete boligtyper må gjøres i samsvar med beregningsmodell og anvisninger som beskrevet i SINTEF-rapporten *Energimerking av nye boliger – Hovedprosjektrapport*. Rapporten kan lastes ned gratis på Husbankens nettsted [www.lavenergiboliger.no](http://www.lavenergiboliger.no). Å bygge boliger som i praksis oppfyller disse kravene til energibehov krever kunnskap og omtanke ved planlegging og bygging. Bl.a. er riktig detaljering for å unngå kuldebroer og luftlekkasjer svært viktig. Mer om dette finnes i *Anvisning nr 40 Energisjefkrive løsninger i småhus fra Byggforsk*.

Lavenergiboliger og Passivhus - Skjematisk oversikt over kriterier og typiske egenskaper	Normal bolig	Lavenergibolig	Passivhus
Årlig totalt energibehov	Typisk 170 kWh/m <sup>2</sup>	Krav: under 100 kWh/m <sup>2</sup>	Typisk: ca 65 kWh/m <sup>2</sup>
Årlig oppvarmingsbehov (Oslo-klima)	Typisk 80 kWh/m <sup>2</sup>	Typisk: under 30 kWh/m <sup>2</sup>	Krav: 15 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Typiske tiltak/egenskaper for å oppnå dette:</b>			
Yttervegg	15 cm isolasjon (U = 0.25 - 0.28 W/m <sup>2</sup> K)	20 - 25 cm isolasjon (U = 0.16 - 0.20 W/m <sup>2</sup> K)	35 - 45 cm isolasjon (U = 0.10 - 0.08 W/m <sup>2</sup> K)
Yttertak	25 - 30 cm isolasjon (U = 0.16 - 0.13 W/m <sup>2</sup> K)	30 - 35 cm isolasjon (U = 0.14 - 0.11 W/m <sup>2</sup> K)	45 - 50 cm isolasjon (U = 0.09 - 0.07 W/m <sup>2</sup> K)
Gulv på grunn	15 - 20 cm isolasjon (U = 0.18 - 0.14 W/m <sup>2</sup> K)	20 - 25 cm isolasjon (U = 0.14 - 0.11 W/m <sup>2</sup> K)	25 - 35 cm isolasjon (U = 0.11 - 0.08 W/m <sup>2</sup> K)
Vinduer	2-lags energi super (U = 1.4 W/m <sup>2</sup> K)	3-lags superisolerert vindu (U = 1.0 - 1.1 W/m <sup>2</sup> K)	Passivhus standard (U < 0.8 W/m <sup>2</sup> K)
Ventilasjon, virkningsgrad gjenvinner	0 % (avtrekksventilasjon)	70 - 80 % varmegjenvinning (balansert ventilasjon)	80 - 90 % varmegjenvinning (balansert ventilasjon)
Ventilasjon, årlig viftenergi	1.5 kWh/m <sup>2</sup>	6 kWh/m <sup>2</sup>	4 kWh/m <sup>2</sup>
Tetthet bygningskropp	Samme som forskriftskrav (N50 = 4.0 oms/t)	4 ganger bedre enn forskriftskravet (N50 = 1.0 oms/t)	8 ganger bedre enn forskriftskravet (N50 = 0.5 oms/t)
Energiforsyning	Elektrisitet	Elektrisitet	Bruk av fornybar energi i form av sol, biobrensel eller varmepumpe.
Belysning og utstyr	Normale hvitevarer og belysning.	Lavenergi hvite- og brunevarer og belysning anbefales.	Lavenergi hvite- og brunevarer og belysning er sterkt anbefalt.