

TORE WIGENSTAD, PETER G. SCHILD, MICHAEL KLINSKI OG  
INGEBORG SIMONSEN

# Ventilasjons- og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov

Prosjektrapport 110

2012



SINTEF Byggforsk

Tore Wigenstad, Peter G. Schild, Michael Klinski og Ingeborg Simonsen

# **Ventilasjons- og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov**

Prosjektrapport 110 – 2012

Prosjektrapport nr. 110  
Tore Wigenstad, Peter G. Schild, Michael Klinski, Ingeborg Simonsen  
**Ventilasjons- og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov**

Prosjektnr.: 3B0367

Emneord:  
Energi, ventilasjon, oppvarming

ISSN 1504-6958  
ISBN 978-82-536-1317-8(pdf)

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2012

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

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

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 124 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 22 96 55 55  
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

## **Forord**

Redusert energibruk til drift av våre bygninger er en nasjonal målsetting. Energibruk til oppvarming og ventilasjon av boliger utgjør store energiposter, og skjerpede krav til varmebehov gjennom Byggeteknisk forskrift (TEK10), samt bygging av lavenergi- og passivhus, er et bidrag til å oppnå målsettingen.

Oppvarming og ventilasjon, med fellesbetegnelse klimatisering, besørgeres av systemer som gjennom sin funksjon skal tilfredsstille flere klimakrav. Systemene kan være løst på ulikt vis, og historien viser at det hersker en viss uenighet når det kommer til hvilke systemer som er "best". Dette være seg basert på evne til å skape et godt inneklime, energibruk, eller eksempelvis betjeningsvennlighet. Installasjonskostnader er tradisjonelt også et diskusjonstema.

Boliger som krever mindre effekt og energi, kan påvirke løsning av klimatiseringssystemet. Det er imidlertid viktig at inneklimate ikke ofres på energibrukens alter, men at ting sees i sammenheng.

Med utgangspunkt i kjente løsninger er målet med denne rapporten å peke på de mest relevante muligheter som finnes, gitt nye effekt-, og energibehov for boligene. Det fokuseres ikke på problemstillinger knyttet til elektrisk kontra vannbåren oppvarming, utover valg av eksempler som har en overvekt av det siste.

Vi takker Husbanken som har bidratt med økonomisk støtte til prosjektet.

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
1.1	Bakgrunn.....	5
1.2	Målet for denne rapporten.....	5
<b>2</b>	<b>Krav til inneklime</b>	<b>6</b>
2.1	Termisk komfort.....	6
2.1.1	Operativ temperatur.....	6
2.1.2	Golytemperatur.....	7
2.1.3	Strålingstemperatursymmetri.....	7
2.1.4	Optimal fordeling mellom lufttemperatur og strålingsvarme.....	8
2.2	Luftmengder.....	9
2.2.1	Dimensjonering av luftmengder.....	9
2.2.2	Infiltrasjon og ventilasjonsluftmengder.....	11
2.2.3	Utetemperatur-kompensert luftmengde.....	11
2.2.4	Bygningsmaterialers innvirkning på luftmengder.....	11
2.3	Støy fra installasjoner.....	12
<b>3</b>	<b>Dimensjonerende energi- og effektbehov</b>	<b>13</b>
3.1	Varmtapstall (transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon).....	13
3.1.1	Luftmengder.....	13
3.2	Varmt bruksvann.....	14
3.2.1	Direkte oppvarming.....	14
3.2.2	Akkumulering.....	15
3.3	Samlet effekt-, og energibehov til oppvarming og varmt bruksvann.....	16
3.3.1	Effektbehov.....	16
3.3.2	Energibehov.....	16
<b>4</b>	<b>Systemløsninger</b>	<b>17</b>
4.1	Tradisjonell ventilasjon.....	17
4.1.1	Ventilasjonsprinsipper.....	17
4.1.2	Aggregatplassering og luftdistribusjon.....	18
4.1.3	Ventilasjon av de enkelte rom.....	22
4.1.4	Generelle energiltak for ventilasjon.....	24
4.2	Oppvarming.....	25
4.2.1	Oppvarming via ventilasjonsanlegget.....	26
4.2.2	Oppvarming via lokale heteflater.....	28
4.2.3	Oppvarming via gulvvarme.....	32
4.2.4	Radiator og gulvvarme i kombinasjon.....	34
4.2.5	Generelle energiltak for oppvarming.....	35
4.3	Kombinasjonssystem: Oppvarming og varmt forbruksvann.....	36
4.3.1	Mekanisk avtrekksanlegg. Varmegjenvinning via varmepumpe.....	36
4.3.2	Balansert ventilasjonsanlegg. Varmegjenvinning via varmepumpe.....	37
4.4	Nye løsningsprinsipper for oppvarming.....	37
4.4.1	Lavtemperatur takvarme.....	37
4.4.2	Veggvarme.....	39
<b>5</b>	<b>Detaljer og komponenter</b>	<b>40</b>
5.1	Ventilasjon.....	40
5.1.1	Aggregater.....	40
5.1.2	Kanaler.....	43
5.1.3	Ventiler.....	44
5.1.4	Overstrømningsåpninger.....	45
5.1.5	Luftinntak og avkast.....	47
<b>6</b>	<b>Eksempler</b>	<b>48</b>
6.1	Eksempel 1: Enebolig på 180 m <sup>2</sup> .....	48
6.2	Eksempel 2: 4-roms leilighet på 100 m <sup>2</sup> .....	50
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>52</b>

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Mindre energibruk<sup>1</sup> i bygninger og energiforsyning via fornybare energikilder, er en uttrykt nasjonal målsetning. For å øke oppmerksomheten samt fremme kompetanse gis det bl.a. gjennom ENOVA statlige bidrag for å bygge lavenergi og passivhus. Det samme foretaket gir også tilskudd til økt utbygging av fornybar energi(forsyning). Husbanken må også nevnes som en pådriver i arbeidet med miljøvennlige bygninger med lavt energibruk

Nasjonale energimålsetninger underbygges av krav stilt via byggeforskrifter. Forskriftskravene (TEK 10) omhandler i praksis alle komponenter som påvirker energibruken i en bygning. Her blir det eksempelvis stilt krav til de ulike elementenes energiegenskaper, eventuelt krav til hele byggets spesifikke energibehov. Ofte innehar de ulike elementene flere funksjoner, og ofte står elementene i en energi-, og funksjonsmessig relasjon til hverandre. Eksempelvis kan ett av tiltakene for å redusere energibehovet være å redusere den ukontrollerte luftlekkasjen ut og inn av bygget. Boligen bygges derved tettere. For å kompensere for den (nå) manglende utskiftingen av luft i bygningen, installeres gjerne et ventilasjonssystem. Rådende løsning er basert på et mekanisk ventilasjonsanlegg hvor vifter sørger for at frisk luft tilføres bygget og dets brukere, og at tilsvarende luftmengde fjernes. Energiinnholdet i ventilasjonslufta som trekkes ut av boligen gjenvinnes via en varmegjenvinner. I praksis har en innført en komponent (ventilasjonsanlegget) som varmer opp uteluft til komforttemperatur, før denne tilføres ulike rom i bygget. I framveksten av passivhus, erfarer vi at en mye brukt oppvarmingsmetode internasjonalt er å varme opp ventilasjonslufta ytterligere slik at denne også kompenserer for varmetapet i bygget. Ventilasjonsanlegget vil etter dette få 3 funksjoner: (a) Tilføre frisk luft til beboerne, (b) ventilere/fjerne fukt fra bygget, og (c) holde komforttemperatur i bygget. Ventilasjonsanlegget har altså erstattet det konvensjonelle oppvarmingssystemet.

Oppvarming via ventilasjonsluften er imidlertid lite utbredt i Norge i dag. Dette bl.a. fordi metoden tilfører rommene med til dels svært høy lufttemperatur, noe som er ansett å bidra til dårlig inneklimate (Bakke, 2007). Innenfor boligkategorien småhus, er det i stedet vanlig å benytte punktkilder (panelovner/radiatorer) eller gulvvarmesystemer for å dekke oppvarmingsbehovet. Hovedvekten er basert på direkte elektrisk energiforsyning til disse varmeelementene. I systemer med vannbåren varme, vil energiforsyningen ofte være basert på en akkumulatortank hvor denne får sin oppvarming via direkte elektrisk energi. I dette tilfellet har en imidlertid mulighet for seinere konvertering til en fornybar energikilde. Eventuelt er det vannbårene systemet tilknyttet et fjernvarmenett.

Henvendelser til utbyggere og boligprodusenter viser at motivet for å velge energitilførsel basert på kun elektrisitet, begrunnes i økonomi. Organisasjoner for rørbransjen har hevdet at manglende kompetanse hos rørlegger/grossist også kan være en grunn til at løsninger basert på vannbåren oppvarming ikke velges. Som en følge av dette siste har bransjen selv fått utarbeidet en veileder som presenterer løsningsforslag basert på forenklete anlegg med vannbåren varme tilpasset nye energikrav.

## 1.2 Målet for denne rapporten

Framtidens tekniske forskrifter vil trolig komme med stadige skjerpelser til energikravene for bygningskropp og ventilasjonssystemet. Etablering av lavenergiklasser og passivhus skjerper kravnivået ytterligere. I dette ligger det en utfordring, men også muligheter. Enkle og lite omfangsrige klimatiseringssystemer er en av disse. Med utgangspunkt i kjente løsninger er målet med denne rapporten å peke på de mest relevante muligheter som finnes, gitt nye effekt-, og energibehov for boligene. Det fokuseres ikke på problemstillinger knyttet til elektrisk kontra vannbåren oppvarming, utover valg av eksempler som har en overvekt av det siste.

---

<sup>1</sup> Energibruk sidestilles her med begrepet «kjøpt energi». Iht. NS 3031 er den presise betegnelsen «levert energi»

## 2 Krav til inn klima

### 2.1 Termisk komfort<sup>2</sup>

Menneskekroppen bruker energi for å opprettholde kroppstemperaturen. Dette energiforbruket påvirkes av flere parametre, inkludert bekledding, aktivitetsnivå, omgivelsens lufttemperatur og strålingstemperatur.

#### 2.1.1 Operativ temperatur

Operativ temperatur kombinerer lufttemperatur og strålingstemperatur og defineres som den ensartede temperaturen på luft og omgivende flater, som gir samme varmeavgivelse fra mennesket som de faktiske (uensartede) omgivelsene. Vanligvis kan operativ temperatur,  $t_{op}$ , beregnes som aritmetisk middel av gjennomsnittlig strålingstemperatur og lufttemperatur.

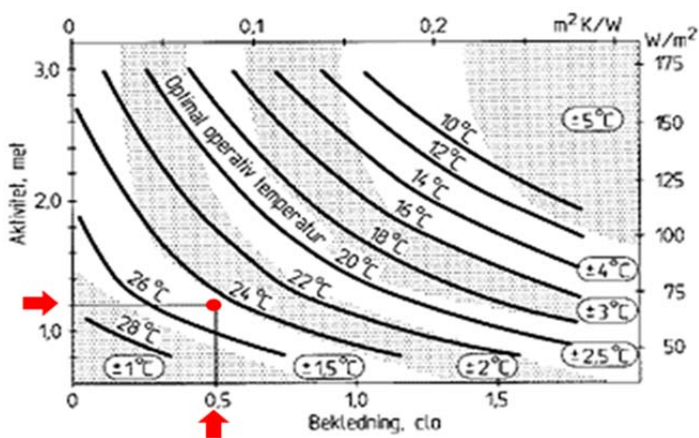
$$t_{op} = 0,5 \cdot (t_a + t_r) \quad (1)$$

hvor

$t_a$  = lufttemperatur

$t_r$  = gjennomsnittlig strålingstemperatur fra omhylningsflatene

Operativ temperatur kan måles direkte. Under vises et diagram for optimal operativ temperatur ved ulike bekledding og aktivitet.



De heltrukne kurvene viser tilstander der  $PMV^3$  er null for en gitt temperatur (optimal operativ temperatur). De skraverte og hvite feltene markerer temperaturintervaller rundt optimal operativ temperatur der ventet gjennomsnittlig vurdering,  $PMV$ , ligger i intervallet  $\pm 0,5$ . Dette tilsvarer mindre enn 10 % misfornøyde.

Figur 2.1 Optimal operativ temperatur, avhengig av temperatur og bekledding

Eksempel på bruk av diagrammet:

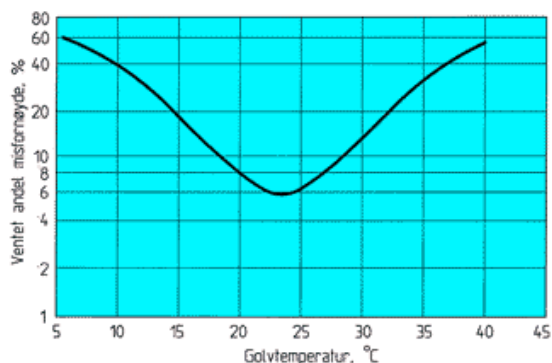
Gitt en aktivitet med varmeproduksjon 1,2 met og en bekledding med isolasjon 0,5 clo (lette sommerklær). Optimal operativ temperatur kan da grovt avleses til 24,5 °C. Samtidig ser man at punktet ligger i et hvitt felt der temperaturintervallet er angitt til  $\pm 1,5$  °C. Med den gitte aktiviteten og bekleddingen vil altså mindre enn 10 % være misfornøyde dersom operativ temperatur ligger i området  $24,5 \pm 1,5$  °C.

<sup>2</sup> Underlaget til dette kapittelet er hovedsakelig hentet fra Byggedetaljer 421.501. For nærmere studie av temaet henvises til dette, samt lignende kilder.

<sup>3</sup>  $PMV$ -indeksen angir ventet gjennomsnittlig vurdering av termisk klima på grunnlag av en 7-punkts skala: +3 heft +2 varmt +1 noe varmt 0 nøytralt -1 noe kjølig -2 kjølig -3 kaldt

## 2.1.2 Golvtemperatur

Varme eller kalde golv kan føre til at føttene føles for kalde eller for varme. Varmeutvekslingen mellom føtter og golv er avhengig av golvtemperatur, golvmateriale og fottøy. Med normalt innendørs fottøy betyr golv-materialet lite, og overflatetemperaturen vil være avgjørende for komforten.



Figur 2.2 Prosent misfornøyde som funksjon av golvtemperatur for mennesker med lett, innendørs fottøy

Golv materialet spiller imidlertid stor rolle for hva som oppfattes som komfortabel temperatur der folk går barføtt.

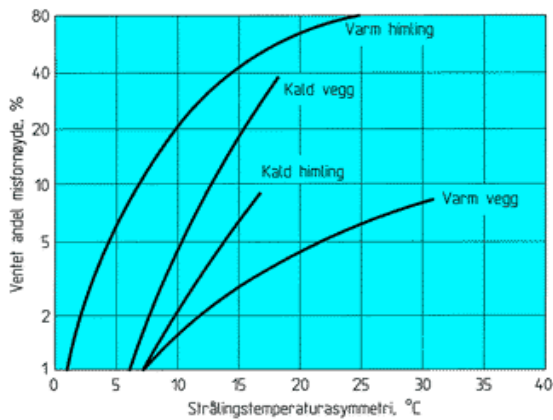
Tabell 2.1 Komforttemperaturer for forskjellige golvmaterialer for mennesker med nakne føtter

Golvbelegg	Komfortabelt temperaturintervall [°C]
Fliser, betong	27 – 30
Linoleum, PVC	25 – 29
Tre, kork	23 – 28
Tekstil, teppe	21 – 28

## 2.1.3 Strålingstemperaturasymmetri

Strålingsutveksling med omgivende flater i rommet står for en stor del av varmetapet fra kroppen. Strålingstemperaturasymmetrien indikerer forskjellen mellom strålingstemperatur fra to motstående plan flater. Strålingstemperaturasymmetri brukes for å karakterisere asymmetrien i den strålingen et menneske utsettes for, f.eks. fra en kald vegg. Figuren under viser sammenhengen mellom strålingstemperaturasymmetri og utilfredshet.





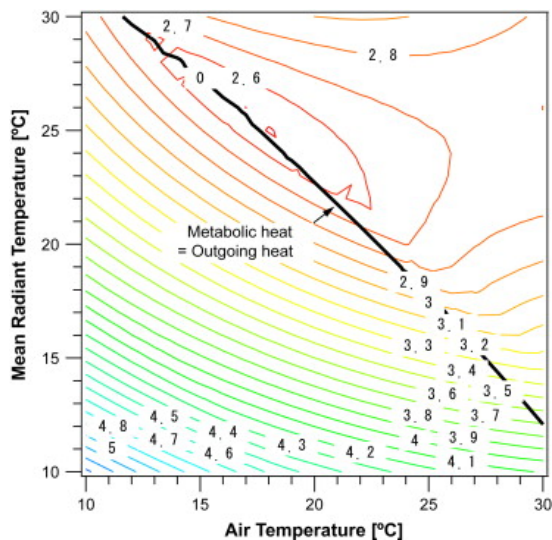
Figur 2.3 Forventet %-andel misfornøyde som funksjon av strålingstemperatursymmetrien

#### 2.1.4 Optimal fordeling mellom lufttemperatur og strålingsvarme

En nyere japansk studie <sup>(Shukuya, 2009)</sup> forsøker å være mer presis i å beskrive optimal fordeling mellom lufttemperatur og strålingsvarme. Resultatet er beskrevet i figuren under.

Den heltrukne svarte linjen viser forholdet mellom rommets lufttemperatur og strålingstemperatur som gir mest termisk behag. Helningen på linjen kan forstås slik: for at mennesket skal kunne opprettholde termisk behag ved et bestemt aktivitetsnivå og bekleddning, kan rommets lufttemperatur reduseres når strålingstemperaturen øker.

Nedre-venstre hjørne i figuren representerer kalde omgivelser hvor kroppens forbrenning er høy, mens øvre-høyre hjørne representerer varme omgivelser med høy svetteproduksjon. De fargede kurvene i figuren representerer ulike nivåer av kroppens eksergiforbruk (energiforbruk) for å opprettholde varmembalanse. De blå kurvene representerer høyest eksergiforbruk, mens de røde kurvene representerer lavest eksergiforbruk. Lavest eksergiforbruk skjer omtrent hvor den svarte linjen passerer lufttemperaturene 18–20 °C og middels strålingstemperaturer 25–23 °C. Dette tyder på at bruk av lavtemperatur strålevarme kan være vel så behagelig for menneskekroppen som bruk av konvektiv oppvarming for oppvarmingsformål. Dette kan oppnås med moderat strålevarme kombinert med øvrige lavenergi- og passivhus løsninger, dvs. god termisk isolasjon og varmegjenvinning av ventilasjonsluft.



Den svarte linjen, som går ned fra øvre-venstre hjørne til nedre-høyre hjørne, angir termisk nøytral tilstand (PMV= 0). Kurven gjelder vintersituasjon med 0 °C ute, vanlig bekledding 0.9 clo, innendørs luftfartighet 0.1 m/s, 40 %RF, og rolig aktivitet 1.1 MET.

Reprodusert med tillatelse fra Masanori Shukuya (Shukuya, 2009)

Figur 2.4 Forholdet mellom rommets lufttemperatur, middels strålingstemperatur, og menneskekroppens eksergiforbruk ( $W/m^2$ ).

Det gjenstår å bekrefte med feltstudier om forholdet vist i figuren over gir utslag i preferanser. Likevel er den i kvalitativt overensstemmelse med erfaring (Shukuya, 2009), og styrker grunnlaget for bruk av strålevarmesystemene beskrevet i kapittel 4.4. Slike systemer har høyere investeringskostnad enn oppvarming via ventilasjonssystemet i passivhus, men åpner opp for strålingsvarmesystemer som et alternativ til punktvarmekilder og tradisjonell golvvarme.

## 2.2 Luftmengder

Vi ventilerer boligene våre hovedsakelig av to grunner, for å oppnå god luftkvalitet og fjerne fukt.

Med god luftkvalitet mener vi at luften oppleves som frisk og behagelig og ikke bidrar til helseplager. Ventilasjon tilfører boligen frisk luft og fjerner inneluft som er forurenset av mennesker, dyr, materialer og virksomhet inne. Innendørs overskuddsvarme kan også betraktes som en 'forurensning', som man ønsker å fjerne ved å ventilere.

Fukt produsert i bygget, av mennesker og prosesser, fjernes for å unngå fuktskader i form av mugg og soppskader og eventuelt andre ugunstige forhold.

Det vil i regelen være behov for å fjerne uønskede utendørs partikler fra tilførselsluften. Dessuten vil man ønske å unngå kald trekk ved å temperere friskluften som tilføres boligen. Et velfungerende mekanisk ventilasjonssystem, med filtrering av friskluften og varmegjenvinning av avkastluften er den enkleste, mest driftsstabile og økonomiske måten å gjøre dette på.

### 2.2.1 Dimensjonering av luftmengder

Byggteknisk forskrift (TEK10) krever at boligen skal ha ventilasjon som sikrer et forsvarlig inneklima, samt at ventilasjonen skal være tilpasset det enkelte roms funksjon. Disse kravene er utdypet i veiledningen i form av:

- (a) minimum luftvekslinger i boenheden som helhet
- (b) minimum tilluftsmengde på soverom og rom som ikke er beregnet for varig opphold
- (c) minimum avtrekksmengder fra kjøkken, våtrom og wc ved normal bruk og forsert bruk (økt luftmengde)

Det vil si at man kan beregne luftmengdebehov på tre forskjellige måter. Den største luftmengden vil være dimensjonerende for ventilasjonsanleggets kapasitet ved normal bruk. Se kapittel 6 for eksempler.

Energikravene i TEK10 gjør at man i de fleste tilfeller må velge balansert ventilasjon. SINTEF Byggforsk anbefaler at ventilasjonsanlegg generelt kjøres balansert med lik massestrøm i tilluft og avtrekk. Det er to grunner til dette:

Å ha 10 % mindre tilluftsmengde, for å få et svakt undertrykk i boligen, reduserer ikke eksfiltrasjon (luftlekkasje ut av bygget) nevneverdig, og dermed heller ikke risikoen for fuktskader. Dessuten vil et undertrykk øke innstrømning av eventuell radon fra grunnen.

Mer tillufts- enn avtrekksmengde øker bygningens energiforbruk betraktelig, fordi varmegjenvinnerens virkelige virkningsgrad da synker.

For avtrekksbehov regnes normalventilasjon, ikke forsert ventilasjon. Kanaler derimot, dimensjoneres ut fra luftmengder ved forsert ventilasjon.

#### (a) Minimum luftvekslinger i boenheten som helhet

TEK10 stiller krav til minimum luftomsetning på  $1,2 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$  [tilsvarer 0,5 luftomsetninger per time] i rom for varig opphold (inkludert kjøkken og våtrom) når boligen er i bruk. Ved ekstra belastninger (tørking av tøy, ekstra mange personer etc.) bør luftmengden kunne økes (forseres) etter behov. Likedan, ved redusert belastning (boenheten ikke i bruk) kan luftomsetning reduseres til  $0,7 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$  [0,3 oms/t].

Grunnventilasjonen skal da kun forhindre fuktskader og ventilere bort avgassing fra inventar. Mye av fuktproduksjonen avtar når beboere forlater huset i lengre perioder.

#### (b) Minimum tilluftsmengde på soverom og rom som ikke er beregnet for varig opphold

TEK10 stiller spesifikk krav til tilførsel av uteluft på soverom tilsvarende  $26 \text{ m}^3\text{/h}$  per person [tilsvarer 7  $\ell\text{/s}$  per pers.] i rommet.

Andre rom, som ikke er beregnet for varig opphold (f.eks. bod) skal sikres en friskluftomsetning på  $0,7 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$  [0,3 oms/t]. SINTEF Byggforsk mener at dette ikke behøver å være friskluft, men kan være et avtrekkpunkt med overstrømning av luft fra tørre oppholdsrom.

#### (c) Minimum avtrekksmengder fra kjøkken, våtrom og WC ved normal bruk og forsert bruk

Minimum avtrekksluftmengde fra kjøkken, våtrom og WC blir dimensjonerende for ventilasjonsbehovet ved normal bruk og forsert bruk i boenheter under  $60 \text{ m}^2$  BRA. Anbefalte avtrekksluftmengder i henhold til Veiledning til TEK10 er vist i tabellen under.

Tabell 2.2 Avtrekksbehov for boliger. Omregningsfaktoren er:  $1 \ell\text{/s} = 3,6 \text{ m}^3\text{/h}$

Rom	Avtrekksvolum <sup>(1)</sup>	
	[ $\ell\text{/s}$ ]	[ $\text{m}^3\text{/h}$ ]
Kjøkken <sup>(2)</sup>	10 (30)	36 (108)
Bad/dusjrom (med/uten WC) <sup>(3)</sup>	10 (30)	36 (108)
Separat WC (med/uten servant)	10	36
Vaskerom/tørkerom <sup>(4)</sup>	10 (20)	36 (72)

(1) Tall i parentes betyr forsert ventilasjon

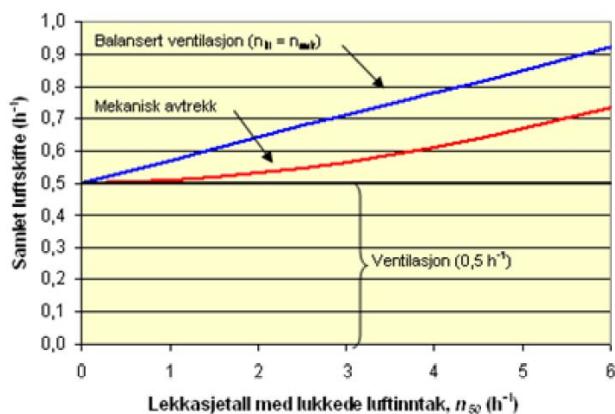
(2) Forsert avtrekk fra kjøkken forutsetter kjøkkenhette med gunstig utforming og minst  $30 \ell\text{/s}$ . Se kapittel 4.1.3, om dimensjonering av kjøkkenhetter

(3) Forsert avtrekk kan være fra åpent vindu eller fra mekanisk avtrekk

(4) Forsert avtrekk fra tørkerom med tørketrommel uten kondensator eller tørkeskap som ikke har direkte avtrekk. Ellers ikke behov for forsert avtrekk

## 2.2.2 Infiltrasjon og ventilasjonsluftmengder

Infiltrasjon er lekkasje og i utgangspunktet utilsiktet ventilasjon av bygninger grunnet utettheter i bygningskroppen. I energiregnskapet regnes den iht. NS3031, inn i oppvarmingsbehovet. Vanligvis regnes infiltrasjonsmengden altså ikke inn som en del av ventilasjonsmengden.



Figur 2.5 Samlet luftskifte som funksjon av lekkasjetall ( $n_{50}$ ). Med samme lekkasjetall for bygningskroppen, vil resulterende infiltrasjon bli forskjellig for hhv. avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon. Årsaken til dette er at de to systemene etablerer ulike trykkforhold i bygningen

## 2.2.3 Utetemperatur-kompensert luftmengde

Om vinteren synker innendørs relativ fuktighet i takt med uteluftens fuktinnhold. God ventilasjon og få personer i en stor bolig, kan i lange kalde perioder gi fuktighet under 20 % RF inne. Dette gjelder ikke minst boliger med balansert ventilasjon. For det meste utgjør dette bare et komfortproblem, men det har fra medisinsk hold blitt hevdet at uttørring av slimhinner påvirker motstandsdyktigheten mot sykdom. Ideelt anbefaler man at den relative fuktigheten innendørs om vinteren bør ligge i området 25~40 % (Sterling, Arundel, & Sterling, 1985) (Wyon, et al.). Generelt anbefales ikke luftfuktere bl.a. på grunn av risiko for kondens og muggvekst. En mer skånsom og økonomisk løsning er såkalte fuktgjenvinnende varmegjenvinnere, som gjenvinner fuktighet i tillegg til varme. En annen løsning er å redusere luftmengden. Dette siste er også benyttet som en strategi i forbindelse med hybrid ventilasjon av skoler i Norge og Sverige, jfr. ”årstidstilpasset ventilasjon”. Denne strategien kan velges i boliger under følgende forutsetninger:

- (i) At man reduserer luftmengden bare når innendørs RF er under 25 %, og
- (ii) At man ikke underskrider 0,5 oms/t når boligen er i bruk.

Denne mengdereguleringen kan eksempelvis løses ved å utstyre aggregatet med automatikk for lineær utetemperaturkompensasjon av luftmengden fra normal luftmengde ved  $-5$  °C og ned til minimum  $[0,5 (m^3/h)/m^2]$  ved  $-10$  °C ute. (Alternativ trinnvis regulering for enklere aggregater). I tillegg til redusert energibruk, medfører tiltaket normalt at varmebatteriet enklere lar seg regulere ved at nødvendig maksimal effekt ved DUT blir lavere.

## 2.2.4 Bygningsmaterialers innvirkning på luftmengder

Bruk av dokumenterte lavemitterende byggematerialer medfører i utgangspunktet *ikke* at man kan dimensjonere lavere luftmengder enn minstekravene for boliger i TEK10. Man bør likevel tilstrebe å velge lavemitterende byggematerialer.

## 2.3 Støy fra installasjoner

Veiledningen til TEK angir at forskriftens intensjon er oppfylt dersom man tilfredsstiller grenseverdiene i klasse C i NS 8175 <sup>(NS 8175:2008)</sup>, det vil si  $L_{A, maks} = 32$  dB i oppholdsrom ved normalventilasjon. I soverom, hvor det ofte ikke er bakgrunnsstøy, er terskelen for hva som er uønsket lyd lavere enn i andre oppholdsrom. For soverom bør man derfor legge klasse B,  $L_{A, maks} = 27$  dB, til grunn ved valg av løsninger og prosjektering av anlegget. Dette er krevende å oppnå og strengere enn det som anses å oppfylle TEK10. Tiltak som må iverksettes er bruk av lydfeller, lave lufthastigheter i kanalnettet, og støysvake tilluft - og avtrekksventiler.

### 3 Dimensjonerende energi- og effektbehov

Ved valg av løsning for oppvarmings- og ventilasjonssystemet må en først kartlegge behovet. Behovet vil her være relatert til nødvendig varmeeffekt for å holde en bestemt innnetemperatur og en bestemt ventilasjonsluftmengde som skal sørge for et tilstrekkelig luftskifte i boligen. (kapittel 2.2)

Byggteknisk forskrift (TEK10) angir ikke spesifikke krav til termisk innneklima. Vi har i denne veiledningen tatt utgangspunkt i en romtemperatur på 21 °C.

Spesifikke krav til luftmengde er gitt i forskriften, med et generelt minimumskrav på 1,2 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> når boenheten er i bruk. I dokumentasjon etter *energitiltaksmetoden* er det i tillegg også krav til virkningsgrad for varmegjenvinner<sup>4</sup>. NS 3700 (NS 3700:2010) er mer spesifikk når det gjelder minste ventilasjonsluftmengder. I tillegg er ulike krav mht. varmetap spesifisert for lavenergiboliger klasse 1 og 2 (LE1 og LE2) samt passivhus.

Denne rapporten har dette som utgangspunkt når 3 typer boliger benyttes som eksempel:

- Enebolig á 180 m<sup>2</sup>
- Blokkleilighet á 100 m<sup>2</sup> (4 roms)
- Blokkleilighet á 50 m<sup>2</sup> (2 roms)

#### 3.1 Varmtapstall (transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon)

Krav til maksimalt varmetapstall for de ulike klassene hentes fra NS 3700:

Tabell 3.1 Krav til øvre verdi for varmetapstall, H'' [W/m<sup>2</sup> K]

Energiklasse		Enebolig 180 m <sup>2</sup>	Leilighet 100 m <sup>2</sup>	Leilighet 50 m <sup>2</sup>
Lavenergihus	LE 2	0,95	0,80	0,80
	LE 1	0,75	0,65	0,65
Passivhus		0,55	0,50	0,50

Det kan være verdt å merke seg at kravnivået i NS 3700 er basert på areal pr. boligbygning. En slik bygning kan bestå av flere leiligheter. I vårt tilfelle regnes begge leilighetstypene å være en del av en større boligbygning (blokk) med Afl > 250 m<sup>2</sup>. Spesifikke verdier er følgelig en gjennomsnittsverdi for alle leiligheter i blokka.

##### 3.1.1 Luftmengder

Via metodene beskrevet i kap. 2, kan luftmengder (utover infiltrasjon) bestemmes:

Tabell 3.2 Gjennomsnittlige ventilasjonsluftmengder [ant. Luftskifter /time].

Energiklasse		Enebolig 180 m <sup>2</sup>	Leilighet 100 m <sup>2</sup>	Leilighet 50 m <sup>2</sup>
Lavenergihus	LE 2	1,20	1,50	1,70
	LE 1	1,20	1,50	1,70
Passivhus		1,20	1,50	1,70

<sup>4</sup> Bruk av varmegjenvinner er ikke et absolutt forskriftskrav. Dersom denne komponenten ikke benyttes må energiytelse oppnås via kompensasjon fra andre tiltak.

NS 3700 spesifiserer *minstekrav* til ventilasjonsluftmengder. Mengdene i tabellen over ligger noe over disse og er et resultat av mer nøyaktige beregninger basert på funksjonskrav og planløsning. (Se eksempler fra planløsning i kapittel 6)

Oppvarming av ventilasjonsluften regnes etter at denne er passert varmegjenvinneren. Det er forøvrig stilt forskjellige krav til dennes virkningsgrad for de ulike energiklassene iht. NS 3700. Effektbehov til oppvarming av ventilasjonsluften kan (forenklet) beregnes etter denne formelen:

$$P = 0,33 \cdot \dot{V} \cdot (1 - \eta) \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \quad (2)$$

Hvor

$\dot{V}$  luftmengde  $[(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2]$

$\eta$  virkningsgrad til varmegjenvinner [-]

Med innsatte luftmengder fra Tabell 3.2 i formelen over, kan varmetapstallet for hhv. ventilasjon og oppvarming beregnes og fordeles:

Tabell 3.3 Varmetapstall,  $H''$ , fordelt på hhv. romoppvarming og ventilasjonsvarme  $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

Boligtype	Energi-klasse	Oppvarming (NS 3700)	Oppvarming, fordelt	
			Transmisjon + infiltrasjon	Ventilasjon
Enebolig 180 m <sup>2</sup>	LE 2	<b>0,95</b>	0,83	0,12
	LE 1	<b>0,75</b>	0,65	0,10
	Passiv	<b>0,55</b>	0,47	0,08
Blokkleilighet 100 m <sup>2</sup>	LE 2	<b>0,80</b>	0,66	0,14
	LE 1	<b>0,65</b>	0,54	0,11
	Passiv	<b>0,50</b>	0,41	0,09
Blokkleilighet 50 m <sup>2</sup>	LE 2	<b>0,80</b>	0,63	0,17
	LE 1	<b>0,65</b>	0,51	0,14
	Passiv	<b>0,50</b>	0,39	0,11

En kan her merke seg at varmetapstallet grunnet ventilasjon utgjør en relativ liten andel av det totale varmetapstallet.

## 3.2 Varmt bruksvann

Varmt forbruksvann skaffes vanligvis til veie enten via direkte oppvarming av strømmende kaldtvann (direkte veksling), eller via en akkumulatortank (varmtvannsbereder) hvor vannet har blitt varmet opp over noe tid.

### 3.2.1 Direkte oppvarming

Effektbehov via direkte oppvarming kan regnes ut av formelen:

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

hvor

$\dot{m}$  sirkulert vannmengde  $[\ell/\text{s}]$

$c_p$  spesifikk varmekapasitet for vann  $[4,2 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}]$

$\Delta t$  temperaturheving i gjennomstrømmende vannmengde  $[\text{C}]$

I denne formelen er tappevannsmengden (gjennomstrømmende vannmengde) en ukjent størrelse. Denne finnes ved å summere størrelse (l/s) og antall tappepunkt som skal forsynes, og korrigere for samtidighet. En vanlig tommelfingerregel er å ta utgangspunkt i summert mengde fra de to største tappestedene i boenheten.

**Eksempel:**

Badekar + kjøkkenarmatur: 0,15 l/s + 0,1 l/s = 0,25 l/s (100 % samtidighet).  
Inngangstemperatur kaldtvann: 10 °C

$$P = 0,25 \cdot 4,2 \cdot 50 = 52,5 \quad [\text{kW}]$$

Som vi ser av resultatet kreves det store effektmengder, om enn for en kortere (tappe)periode, dersom direkte oppvarming velges.

### 3.2.2 Akkumulering

Ikke minst for å redusere effektbelastningen, er det vanlig å benytte akkumulering av varmt vann. Energiinnholdet i en slik akkumulatortank er gitt av formelen:

$$E = \frac{V \cdot c_p \cdot \Delta t}{60 \cdot 60} \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

hvor

$V$  vannvolum [liter]

**Eksempel:**

Varmtvannsbereder: 200 liter, temperatur oppvarmet tappevann: [60 °C]

$$E = \frac{200 \cdot 4,2 \cdot 50}{60 \cdot 60} = 11,7 \text{ kWh}$$

Med en (eventuell) uttappingsmengde på 0,25 l/s, varer dette magasinet ca. 13 minutter.  
Med en ladeeffekt på (eksempelvis) 2 kW, tar det i underkant av 6 timer å fullade tanken på ny.

I energibudsjettet regnes ikke varmt forbruksvann som ”oppvarming”. I løsningen for oppvarmingssystemene kan imidlertid produksjon av forbruksvann inngå. Et typisk eksempel kan være bruk av akkumulatortank hvor deler av varmen benyttes til oppvarming og deler til tappevann. Slike løsninger benyttes gjerne i forbindelse med varmepumper, solfangeranlegg og kombinerte el-baserte anlegg.

I det videre velges en installert effekt for varmt forbruksvann på 2 kW.



### 3.3 Samlet effekt- og energibehov til oppvarming og varmt bruksvann

#### 3.3.1 Effektbehov

Samlet effektbehov for de to boligtypene og ulike klassene blir etter dette (forutsatt  $DUT=-20\text{ °C}$ ):

Tabell 3.4 Effektbehov til oppvarming ved dimensjonerende forhold, samt varmt forbruksvann. [W]

Boligtype	Energi-klasse	Oppvarming (NS 3700)	Oppvarming, fordelt		Varmtvann (VVB)	SUM
			Transmisjon + infiltrasjon	Ventilasjon		
Enebolig 180 m <sup>2</sup>	LE 2	7.011	6.134	877	2.000	9.011
	LE 1	5.535	4.804	731	2.000	7.535
	Passiv	4.059	3.475	584	2.000	6.059
Blokkleilighet 100 m <sup>2</sup>	LE 2	3.280	2.671	609	2.000	5.280
	LE 1	2.665	2.158	507	2.000	4.665
	Passiv	2.050	1.644	406	2.000	4.050
Blokkleilighet 50 m <sup>2</sup>	LE 2	1.640	1.295	345	2.000	3.640
	LE 1	1.333	1.045	288	2.000	3.333
	Passiv	1.025	795	230	2.000	3.025

#### 3.3.2 Energitbehov

For oversiktens skyld er også tilhørende energibehov til oppvarming og varmt forbruksvann beregnet:

Tabell 3.5 Energitbehov til oppvarming samt varmt forbruksvann. [kWh/år]

Boligtype	Energi-klasse	Oppvarming (NS 3700)	Oppvarming, fordelt		Varmtvann	SUM
			Transmisjon + infiltrasjon	Ventilasjon		
Enebolig 180 m <sup>2</sup>	LE 2	9.759	8.679	1.080	5.400	15.159
	LE 1	6.683	5.783	900	5.400	12.083
	Passiv	3.561	2.841	720	5.400	8.961
Blokkleilighet 100 m <sup>2</sup>	LE 2	4.692	3.992	700	3.000	7.692
	LE 1	3.132	2.532	600	3.000	6.132
	Passiv	1.584	1.084	500	3.000	4.584
Blokkleilighet 50 m <sup>2</sup>	LE 2	2.346	1.946	400	1.500	3.846
	LE 1	1.566	1.216	350	1.500	3.066
	Passiv	792	492	300	1.500	2.292

## 4 Systemløsninger

### 4.1 Tradisjonell ventilasjon

Valg av ventilasjonsløsning for boliger har vært gjenstand for store diskusjoner opp gjennom årene. Et bredt spekter av fagmiljøer har engasjert seg, og det kan synes som om frontene er ganske steile. Konsensus er imidlertid etablert om at boligen og menneskene som bebor denne har behov for en viss ventilasjonsmengde. Noe uenighet kan spores rundt hvilken ventilasjonsmengde som er nødvendig for å skape god komfort, og ikke minst; i hvilken grad denne luftmengden skal tilføres bygget via et *naturlig avtrekksystem*, et mekanisk *avtrekksystem*, eller et mekanisk *balansert* system. I boligblokker har en ved valg av mekanisk balansert system, videre en diskusjon om dette systemet skal være et felles anlegg, eller basert på en individuell løsning. Systemer som kombinerer naturlig avtrekk og mekanisk avtrekk med varmegjenvinning, (*hybridsystemer*), er også installert, gjerne som pilotanlegg og oftest da i skolebygg og barnehager.

#### 4.1.1 Ventilasjonsprinsipper

##### Naturlig avtrekksventilasjon

Dette er et passivt avtrekksystem der drivkreftene er termisk oppdrift og vindsug ved munningen av ventilasjonskanalen over tak. Vindtrykk/vindsug ved friskluftinntakene bidrar også. Friskluft blir tilført gjennom ventiler og utettheter i bygningskonstruksjonen. Naturlig avtrekksventilasjon er rimelig å installere, og krever lite vedlikehold. Systemet produserer heller ingen støy. De viktigste negative egenskapene er stort ventilasjonsvarmetap (ved anbefalt luftmengde), upålitelig og mangelfull ventilasjon, dårlig komfort (trekk) og dårlig totaløkonomi. Med denne løsningen kan det være vanskelig å oppnå energikravet i teknisk forskrift, med mindre kompenserende tiltak gjennomføres.

##### Mekanisk avtrekksventilasjon

Dette er et aktivt avtrekksystem der vifter suger avtrekksluften ut fra våtrom og kjøkken. Friskluft tilføres gjennom ventiler og utettheter i bygningskonstruksjonen. Systemet er i prinsipp det samme som ved naturlig avtrekk, bare med den forskjell at det er vifter som er hoveddrivkraften. De viktigste fordelene er lav installasjonskostnad og god regulering av avtrekksmengde. Ulempene er dårlig komfort (trekk fra tilluftsventiler og utettheter), stort ventilasjonsvarmetap ved anbefalt luftmengde, dårlig totaløkonomi, og støy dersom anlegget har mangelfull lyddemping. Totaløkonomien bedres ved bruk av avtrekksvarmepumpe. (se kap 4.3.1) Iht. TEK10 kan imidlertid ikke avtrekksvarmepumpe regnes inn som tiltak som reduserer boligens netto varmebehov. På samme måte som for det naturlige systemet, er det vanskelig å oppnå energikravet i forskriften via denne løsningen.

##### Balansert mekanisk ventilasjon

Ved balansert ventilasjon sørger vifter for både tilførsel og avtrekk av omtrent like store mengder ventilasjonsluft. Innvendige kanaler fordeler friskluften (uteluft) rundt i bygningen. Friskluften tilføres rommene gjennom spesielle tilførselsorganer (ventiler). Riktig dimensjonert, utført og installert gir systemet god komfort og tilførsel med mengde etter behov.<sup>5</sup>

Balansert ventilasjon gir i tillegg følgende fordeler framfor naturlig eller mekanisk avtrekksventilasjon:

- Filtrering av tilført uteluft
- Kontroll på tilluftsmengder og lufthastigheter til de enkelte rom
- Redusert lydgjennomgang fra utsiden (ingen spalteventil i vindu/yttervegg)
- Mulighet for å varme opp lufta før den tilføres rommene

---

<sup>5</sup> Byggedetaljer 552.303.

- Lite ventilasjonsvarmetap (mulighet for å overføre varmen i avtrekksluften til tilluften i en varmegjenvinningsenhet)
- God totaløkonomi

Ulempene med balansert ventilasjon i forhold til mekanisk avtrekksventilasjon og naturlig ventilasjon er:

- Noe økt vedlikeholdsbehov
- Større risiko for betydelig funksjonssvikt ved manglende vedlikehold
- Støy dersom anlegget har mangelfull lyddemping og/eller ugunstig plassering av ventilasjonsaggregat, gjerne kombinert med høy hastighet i kanalnett

### **Temperaturnivå i balansert ventilasjon**

Fra passivhusmiljøer i (særlig) Tyskland, ser en ofte eksempler på at oppvarming av boligen er løst via ventilasjonsanlegget hvor rommene tilføres varm (opp i mot 40 °C) ventilasjonsluft. I Norge er denne metoden stort sett møtt med skepsis, basert på følgende forhold:

For å oppnå et godt inn klima ønsker man at tillufttemperaturen skal være en tanke lavere enn romtemperaturen. Dette sikrer god omrøring av ventilasjonsluften i rommet. Dermed hindres kortslutning av luft fra tilluftsventiler til avtrekksventiler. Samtidig ønsker man å unngå trekk forårsaket av for kald tilluft. Derfor er aggregater tradisjonelt utstyrt med et ettervarmebatteri som varmer tilluften opp til 19-20 °C vinterstid.

Generelt er vi i Norge vant til lavere temperatur i soverom enn de andre oppholdsrommene i boligen. Feltstudier i bygninger med avtrekksventilasjon tyder på at foretrukket soveromstemperatur kan være så lavt som ned i mot 16 °C. Soverommet krever ventilasjon, men altså på langt nær så høy temperatur som romoppvarming via sentralt ventilasjonsaggregatet legger opp til vinterstid.

Om sommeren ønsker man å unngå overtemperatur forårsaket av varmegjenvinning. I aggregater med plategjenvinner, kan gjenvinneren byttes ut med sommerkasset. Andre aggregater gir mulighet for trinnløs styring av tillufttemperaturen (f.eks. trinnløs bypass spjeld, eller vanligere, redusere rotasjonshastigheten av roterende varmegjenvinner). Ved en slik løsning vil tillufttemperaturen ved behov kunne reguleres til ikke å være høyere enn utelufttemperaturen.

### **4.1.2 Aggregatplassering og luftdistribusjon**

#### **Småhus**

Man kan spare installasjonskostnader ved å samle våtrom og kjøkken i en «teknisk kjerne» av boligen. Alle installasjoner, inkludert ventilasjonskanaler, kan da legges samlet i en sjakt eller installasjonsvegg<sup>6</sup>. Det bør også tilstrebes å få til løsninger hvor hoveddelen av tilluften tilføres i soverommene og går via stue til avtrekkspunkter på kjøkken og bad, slik at den direkte lufttilførselen til stua kan begrenses. Man trenger ikke å dimensjonere for stor personbelastning i stue og soverom samtidig. Gunstig plassering av ventilasjonsaggregatet er avgjørende for god funksjon.

Viktige momenter er:

- God tilgjengelighet for filterskift og annen inspeksjon og vedlikehold.
- Sørg for avstand til soverom på grunn av støy.
- Eventuelt avløp, enkelte varmegjenvinnere avgir kondens.
- Mulighet for rengjøring av varmegjenvinner med gjennomspyling. Små ventilasjonsaggregater har som oftest gjenvinner som kan tas ut og rengjøres på bad.
- Kort avstand og ryddig føringsvei fra luftinntak og til luftavkast, samt alle rommene som skal betjenes.

---

<sup>6</sup> Byggetaljer 472.321

Eksempel på en gunstig plassering er i vaskerom som ikke ligger vegg i vegg med soverom og som er sentralt plassert i boenheten. Aggregatet bør i alle tilfeller plasseres *innenfor* boligens isolasjonssjikt.



Figuren til venstre viser tilluftspunkt som blå piler. Videre overstrømning og fri strømning som gule piler fram til avtrekkspunkt (røde piler)

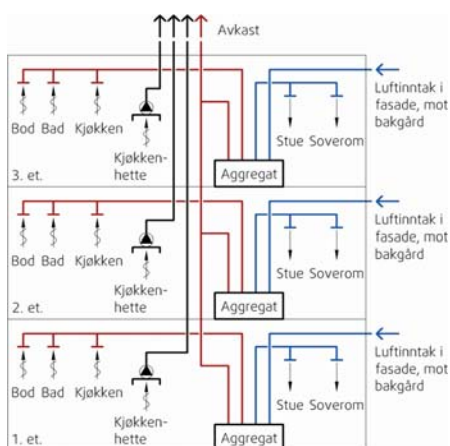
Figur 4.1 Ventilasjonsluftens gang ved balansert ventilasjon

## Leiligheter

Det er to prinsipielt forskjellige løsninger for balansert ventilasjon av leiligheter – individuelle anlegg og sentrale anlegg.

### Individuelle anlegg

Individuelle anlegg har normalt ett aggregat for hver leilighet, se figur 4.2, og utføres i prinsippet på samme måte som anlegg i småhus<sup>7</sup>. Ved bruk av individuelle anlegg vil hver leilighet disponere ett aggregat og et kanalnett som er helt uavhengig av ventilasjonssystemet i de øvrige leilighetene. Aggregatet bør plasseres på vegg i våtrom (vaskerom eller bad) fordi enkelte gjenvinnere har kondensavløp og enkelte ventilasjonsaggregat er tilrettelagt for spyling ved vedlikehold. Alternative plasseringer er i bod, over himling ved inngangen eller i et skap på kjøkkenet avhengig av type ventilasjonsaggregat og krav til drift og vedlikehold.



Figur 4.2 viser en prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon og individuelle anlegg. Luftinntak til hver leilighet skjer gjennom fasade. Avkastet fra leiligheten går i egen kanal i en felles sjakt og sendes ut over tak.

Figur 4.2 Prinsippskisse for en boligblokk med individuelle ventilasjonsanlegg for balansert ventilasjon

<sup>7</sup> se Byggedetaljer 552.303

Med individuelle anlegg har hver bruker kontroll over sitt ventilasjonsanlegg. De store utfordringene er å løse luftinntaket i fasade, unngå støy fra aggregatet, samt ikke minst å få brukerne til å vedlikeholde ventilasjonsanlegget. Dette gjør at anlegg for leilighetsventilasjon må være spesielt robuste og enkle å operere og vedlikeholde.

#### Fordele

- Løsningen kan kreve mindre sjaktareal enn et sentralt anlegg hvis man får til tilfredsstillende luftinntak i fasade. Det er heller ikke behov for et plasskrevende felles teknisk rom.
- Luftmengder er ikke påvirket av de øvrige leilighetene.
- Løsningen forårsaker ingen overhøring eller luktoverføring fra en leilighet til en annen
- Mulighet for behovsstyrt avtrekk.
- Individuell regulering av luftmengder.
- Styring av egen tilluftstemperatur.

#### Ulemper

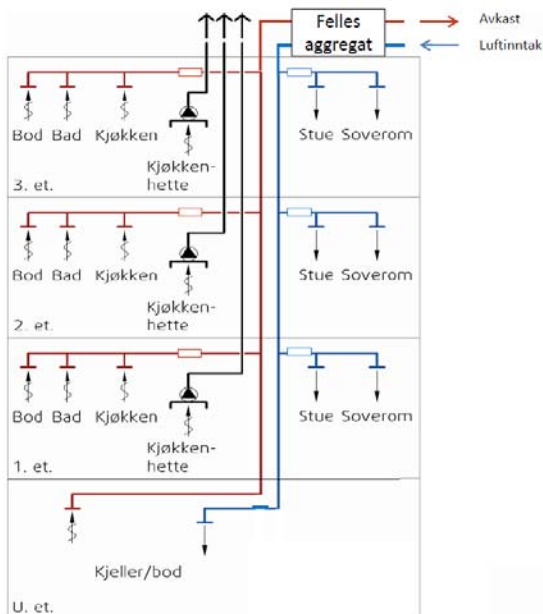
- Lange kanalføringsveier for tilluft dersom man ikke får til tilfredsstillende luftinntak i fasade.
- Lange føringsveier kan gi økt risiko for uønsket temperaturstigning, stort trykkfall og vanskelig tilgjengelig kanalnett for renhold.
- Løsningen krever plass til kanalføringer for luftinntak, tilluftskanaler og avtrekkskanaler, samt skaplass til selve aggregatet inne i leiligheten.
- Aggregatet kan forårsake støy og/eller vibrasjon i leiligheten.
- Anlegget kan være vanskelig tilgjengelig for vedlikehold og service foretatt av eksternt firma (gunstig å ha felles avtale for boligblokken/ boligsameiet).
- God funksjon over tid forutsetter riktig vedlikehold. Dette innebærer en viss innsats av beboer (for eksempel filterskifte).

#### Viktige utførelsesdetaljer ved individuelle anlegg

- Gunstig plassert luftinntak i fasade i forhold til solbelastning og luftkvalitet, med kort føringsvei frem til ventilasjonsaggregat [Byggdetalj 552.360].
- Ventilasjonskomponenter og kanalisolasjon som gir minimal uønsket temperaturstigning på tilluften (godt isolerte friskluft- og tilluftkanaler).
- Støysvakt aggregat med tilstrekkelig avstand til soverom.
- Lydfeller ut fra aggregat.
- Avkast plassert på tak.
- Spirokanaler med god tetthetsklasse (EUROVENT klasse B eller bedre), lavt trykkfall, og tilrettelagt for lett vint inspeksjon og rengjøring.
- En sameieavtale som sikrer jevnlig vedlikehold av ventilasjonsanlegget i hver leilighet.
- Behovsstyrt varmegjenvinning. Hver beboer kan styre tillufttemperatur etter eget ønske (f.eks. kontrollpanel med settpunkt for tilluft som regulerer roterende varmegjenvinner med trinnløs rotasjonshastighet).

### Sentrale anlegg

Ved balansert ventilasjon med sentralt anlegg er det ett ventilasjonsaggregat som dekker flere leiligheter. Luftinntak og avkast er felles for alle leiligheter. Ventilasjonsaggregatet kan stå i teknisk rom på tak/loft (Figur 4.3), eller kjeller. Se Byggdetaljer 379.310 for ulike plasseringer.



Figur 4.3 Prinsippskisse for en boligblokk med sentralt anlegg for balansert ventilasjon

### Fordeler

- Det er enklere å plassere luftinntaket gunstig med tanke på luftkvalitet og solbelastningen. Luftinntaket kan for eksempel plasseres på tak eller øverst på yttervegg, lengst borte fra gateplan og bileksos, og vendt mot nord.
- Det er god mulighet for riktig gjennomført vedlikehold, som kan utføres av vaktmester eller fagfolk. Vedlikehold er enkelt å ivareta med en driftsavtale.
- Systemet er lett tilgjengelig for vedlikehold. I bygninger med utleieleiligheter er det spesielt gunstig med sentrale anlegg, med tanke på mulighet for felles vedlikehold og tilgang til vifte.
- Mulighet for behovsstyrt avtrekk.
- Mulighet for å ventilere felles arealer (trappoppgang, kjeller, bod) fra samme aggregat.
- Mulighet for fjernovervåking.

### Ulemper

- Plasskrevende teknisk rom og sjakter.
- Kan forårsake sjenerende støy selv om anlegget tilfredsstiller klasse C i TEK10.
- Kan forårsake overhøring mellom leiligheter.
- Kan forårsake overføring av lukt mellom leiligheter.
- Sentral styring av temperaturen, og derved lik temperatur på tillufta til alle leiligheter.

## Viktige utførelsesdetaljer ved sentralanlegg

- Gunstig plassert luftinntak i forhold til solbelastning og luftkvalitet.
- Ventilasjonskomponenter og kanalisolasjon som gir minimal uønsket temperaturstigning på tilluften (godt isolerte friskluft- og tilluftkanaler, og alle kanaler i sjakt).
- Lydfeller ut fra aggregat og kanallydfelle mellom leiligheter.
- Trykkstyring av luftmengder slik at brukeratferd ikke påvirker luftfordelingen mellom leilighetene og tilstrekkelig luftmengdekapasitet i forhold til maksimal samtidig forsering i flere leiligheter.
- Tilgjengelige reguleringsspjeld inn til hver leilighet for innregulering, men også til kontroll og justering av luftmengde senere i driftsfasen.
- Separat avtrekk fra kjøkkenhette fra hver leilighet.
- Automatisk regulering av varmegjenvinning med utetemperaturkompensert settpunkt for tilluft.
- Spirokanalsystem med god tetthetsklasse (EUROVENT klasse B eller bedre), lavt trykkfall, og system som er tilrettelagt for lett vint inspeksjon og rengjøring.

### 4.1.3 Ventilasjon av de enkelte rom

#### Kjøkken

Damp- og matlukt som oppstår ved koking og steking er de viktigste forurensningene på kjøkkenet. I tillegg til et grunnavtrekk er det en selvfølge å benytte kjøkkenhette over komfyren, med fettfilter som kan tas ut og vaskes. Man bør kun bruke hetter som har dokumentert oppsamlingseffektivitet på minst 90 % (stekeos), målt i henhold til europeisk teststandard <sup>(NEK IEC 61591:2005)</sup>.

Avtrekksluft fra kjøkkenhette bør ikke føres til varmegjenvinner. Dette grunnet avsetning av fettsmuss og fare for luktoverføring til friskluften. Kjøkkenavtrekket løses etter dette på to måter:

*Kjøkkenhette med eget vifteavtrekk separat fra resten av ventilasjonsanlegget.*

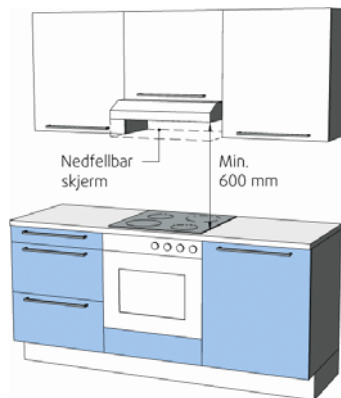
Dette er tryggest og gir best luftkvalitet. Når hetten forseres, får leiligheten et undertrykk som øker ventilasjonsvarmetapet. For å kompensere for forsering av kjøkkenavtrekk bør balanserte ventilasjonsanlegg planlegges med mulighet for å øke tilført luftmengde når avtrekket øker (slavestyrte tilluftsvifte).

*Resirkulerende kjøkkenhette med kullfilter.*

Disse har ingen problemer med erstatningsluft, og øker heller ikke boligens ventilasjonsvarmetap. Totaløkonomien er omtrent lik konvensjonelle avtrekkshetter, siden kostnaden ved regelmessig utskiftning av kullfilter kompenseres med energibesparelsen. Det er imidlertid store variasjoner i pris for kullfilter.

*Funksjon til avtrekkshette*

Ytelsen til kjøkkenavtrekk er en kombinasjon av hettas evne til å fange opp stekeos, og evne (luftmengde) til å transportere denne vekk. Oppfangning påvirkes av kjøkkenhettas utforming, spesielt ved lav luftmengde. Det omsettes dessverre mange hetter med dårlig utforming. Best oppfangingssevne fås når kjøkkenhettas horisontale utbredelse helt dekker komfyren, og hetta er forsynt med et relativt stort oppfangingsvolum. Med stor volumdel er ytelseskravene tilfredsstillende ved ca. 30 l/s, og uten volumdel ved ca. 50 l/s. Ytelseskravene er imidlertid lave, og erfaringene tilsier et avtrekksbehov på minst 70 l/s for å oppnå tilfredsstillende oppfangning fra hetter som har relativt gunstig utforming (stor volumdel). Når det fins kun ett avsugingspunkt i kjøkkenet, må kjøkkenavtrekket kunne forseres fra 10 (grunn) til 30 (forsert) l/s). Forsert avtrekk fører til ekstra energiforbruk. Det bør derfor være regulerbart (automatisk) og ikke stå på lenger enn nødvendig.



Figur 4.4 Avtrekkspunkt kjøkken

*Velg kjøkkenhette med dokumentert god evne til å fange matos og matlukt ved aktuell luftmengde og plassering. Nedfellbar skjerm øker volumdelen, og bedrer oppfangingen av matos vesentlig. Figuren gjelder elektrisk komfyr. Ved bruk av gass må avstanden mellom gassbluss og kjøkkenhette være minst 650 mm.*

### *Separat avtrekk eller resirkulasjon?*

De nordiske forbrukerorganisasjonene har utført tredjeparts målinger av oppsamlingsevne for ulike typer kjøkkenhetter, inkludert resirkulerende hetter med kullfilter <sup>(Bråkende luktslukere, 2004) (Feldesignade fettsugere, 2007)</sup>. Når det gjelder evne til å fange opp fett er resirkulerende hetter likeverdige med avtrekshetter. De er derfor minst like trygge i forhold til brannrisiko. Når det gjelder luftfjerning, derimot, er resirkulerende hetter dårligere enn avtrekshetter. Den beste resirkulerende hette reduserer lukt med 74 %, mens den beste konvensjonelle avtrekshette har en luktreduksjon på 98 %. Resirkulerende hetter fjerner ikke fukt, så grunnventilasjon må være tilstrekkelig for å begrense dette, ved f.eks. forsering av totalluftmengden. Det er helt avgjørende at kullfilteret skiftes regelmessig avhengig av hvor mye den er brukt (minst årlig, helst hver 6. måned). Sjeldnere utskifting kan øke brannfaren. For boligsameier kan dette enkelt løses med felles avtale for abonnement/levering av kullfilter inkludert i husleien.

### **Våtrom**

I våtrom plasseres avtrekksventilen høyt oppe på veggen eller helst i himlingen, og så nær fuktighetskilden som mulig. I rom med dusj bør ventilen stå i himling rett på utsiden av dusjsonen.

Tilluften til våtrommet tas som overstrømmet luft fra naborommet. Hvis badet har golvvarme, kan overstrømning gjerne være høyt oppe for å begrense varmetapet fra golvet. Alternative løsninger for overstrømningen er:

- Spalte under døra
- Overstrømningsrist i dør
- Overstrømningsrist i vegg, eller
- Overstrømningskanal via himling.

### **Oppholdsrom og soverom**

Oppholdsrom og soverom bør i tillegg til egen lufttilførsel ha vinduer som kan åpnes. Avtrekksluften føres ut til tilstøtende rom og videre til rommene der avtrekket er plassert, enten gjennom spalte under dør eller spesielle overstrømsventiler, eventuelt med lyddempende egenskaper. Stue og soverom bør sikres en ventilasjon under bruk som er minst 7 l/s pr. person som rommet er beregnet for. Luften til stuen kan være overstrømningsluft fra soverom. Med en slik løsning eksisterer det en konflikt mellom ønsket romtemperatur i soverom nattetid (16–18 °C), og temperatur på ventilasjonsluften (19–20 °C), (kap. 4.1.1). Med varmetap gjennom ytterveggen kombinert med vinduslufting vil en normalt oppnå tilfredsstillende temperatur. For et godt isolert rom vil vinduslufting føre til at temperaturen synker noe i soverommet. Dette betyr at temperaturen på den luften som strømmer fra rommet vil være litt lavere enn om vinduslufting ikke ble utført. Dette representerer noe energitap, i størrelsesorden 3–5 % av oppvarmingsbehovet over året. Som et alternativ til vinduslufting kan en (sentralt) senke temperaturen på ventilasjonsluften nattetid til ønsket nivå. Da vil imidlertid alle andre rom tilføres temperatur styrt av ønsket temperatur i soverommet. (se også kap. 4.2.1)



## Kjeller

Kjeller må ha god ventilasjon med både avtrekks- og friskluftventil for å redusere risiko for fuktskader og inntrengning av eventuell radongass fra grunnen<sup>8</sup>. Dette gjelder både bebodd og ubebodd kjeller.

## Andre rom

Alle rom, også boder, bør ventileres. Ganger og trapperom bør ikke ha for kraftig avtrekk fordi dette kan føre til innsuging av forurenset luft fra andre rom (kjøkken, toalett o.l.).

## Spesielle forhold

*Garasjer og fyrrom.* For å unngå forgiftninger fra karbonmonoksid (CO) skal ventilasjonsanlegg i boliger holdes atskilt fra avtrekk fra garasje eller fyrrom. Mellom slike rom og boligrom må det derfor være gasstette skillekonstruksjoner. Ventilasjonsanlegget må ikke skape så stort undertrykk i fyrrom at forbrenningsgasser blir trukket inn i rommet.<sup>9</sup>

*Avgassing fra materialer.* I nye boliger kan det være ønskelig med høyt kontinuerlig luftskifte det første året fordi emisjonen av forurensninger fra bygningsmaterialene til inneluften er størst da. Dette kan gjøres ved å kjøre ventilasjonsanlegget forsert første driftsåret.

*Ildsteder.* For et lukket ildsted for fast, gassformig eller flytende brensel vil en friskluftkanal med diameter 100 mm være tilstrekkelig. Peis og annet åpent ildsted krever lufttilførsel som tilsvarer uteluftåpninger på minst 300 cm<sup>2</sup><sup>10</sup>. Mekanisk avtrekksventilasjon kan komme i konflikt med lufttilførselen til ildstedet, og må ofte skrues av eller dempes til et minimum for at røygassen skal trekke opp i skorsteinen. Dette kan en unngå ved å montere bakventilert ildsted med frisklufttilførsel gjennom egen kanal, eventuelt pipeløsning med integrert friskluftkanal tilpasset dette. Da slipper man kald trekk i det rommet ildstedet står i.

For systemer med balansert ventilasjon, finnes det i dag aggregater som kan settes i ”peisfyringsmodus” ved at det tilføres mer friskluft enn avtrekk. Aggregatene går altså i ubalanse i den tiden peisen benyttes.

### 4.1.4 Generelle energiltak for ventilasjon

#### Varmegjenvinning

I henhold til TEK10 (energitiltaksmetoden) skal årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg være minimum 70 %<sup>11</sup>. For passivhus er minimumskravet satt til 80 %<sup>(NS 3700:2010)</sup>. Generelt bør en søke anlegg med så høy virkningsgrad som mulig.

#### Vifteeffekt

SFP (specific fan power) er forholdet mellom den elektriske effekten som er nødvendig for å drive viftene og den luftmengden som forflyttes ved hjelp av disse viftene.

Verdien beregnes med følgende formel:

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}} \quad [\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})] \quad (5)$$

hvor:

$\sum P$  summen av alle vifteeffekter [kW]  
 $\dot{V}$  total sirkulert luftmengde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] (Største verdi av tilluft eller avtrekk)

Vifteeffekten  $P$ , er igjen en funksjon av motstand i nettet, luftmengde, samt virkningsgrad til drivverket:

<sup>8</sup> Byggedetaljer 520.706

<sup>9</sup> Byggedetaljer 312.130

<sup>10</sup> Byggedetaljer 552.135

<sup>11</sup> Byggedetaljer 552.340

$$\Sigma P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{totalt}}{\eta_{totalt}} \quad (6)$$

hvor:

$\Delta p_{tot}$  totaltrykkfallet (sum trykkfall i tilluft og avtrekk) i anlegget, [kPa]

$\eta_{tot}$  viftesystemets totale virkningsgrad (sum virkningsgrad i tilluftsvifte og avtrekksvifte, inkl. motor, drivreim etc.)

Med en bestemt luftmengde, betyr dette at for å oppnå en lav SFP-verdi, må motstand i aggregat og kanalnett holdes lavt, i tillegg til at virkningsgraden for vifte og motor holdes høy.

Maksimumskrav til SFP i boliger er 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) ved normal ventilasjon (TEK10). Samme krav gjelder for både individuelle anlegg og sentrale anlegg. I passivhusprosjekter er kravet < 1,5 kW/(m<sup>3</sup>/s). Som en tommelfingerregel oppnås dette ved å gå opp én aggregatstørrelse og én kanaldimensjon (spiro). Anlegget må imidlertid beregnes for å være sikker på at kravet til SFP-verdi oppnås.

### Behovstyring

Ventilasjonsystemer for boliger er vanligvis ikke tilrettelagt for behovstyring utover trinnvis regulering av aggregatets kapasitet. Det finnes imidlertid teknologi tilgjengelig for å lage systemer som tilfører luftmengder i ulike soner/rom avhengig av belastning. En variant vil her være automatiske spjeld styrt av temperatur/tilstedeværelse eller CO<sub>2</sub>. Stenging/åpning kan så gi signal til ventilasjonsaggregatet som leverer tilpasset summert luftmengde. Denne teknologien er mye benyttet i yrkesbygg men lite utbredt for boligsegmentet.

Om nytteverdien av et slikt system står i et fornuftig forhold til et standardisert, trinnstyrt boligsystem, kan diskuteres. Med en god virkningsgrad på varmegjenvinner, og lav SFP-faktor, blir det beregningsmessig svært lite energi som eventuelt reduseres via en slik avansert behovstyring.

### Temperaturstyring

Ettervarmebatteriet i boliganlegg er vanligvis tilrettelagt med en enkelt trinnvis (=elektrisk) eller modulerende (vannbåren varme) kapasitetsregulering. Denne er styrt av en ønsket fast temperatur for ventilasjonsluften (typisk: 19 °C). I dag er det vanlig å installere anlegg hvor beboer selv kan velge mellom eksempelvis 3 ulike temperaturnivå, og i tillegg eksempelvis 3 ulike luftmengder.

Simuleringer SINTEF Byggforsk har gjort for detaljerte styringsstrategier med ulike temperaturnivå, viser at det er lite energibesparelse å hente på finjustering av temperaturstyringen. Setpunkt på 19 °C i vinterhalvåret og 16 °C i sommerhalvåret er nær optimal løsning både med hensyn til energi og inneklima. I tillegg anses en slik enkel styring som robust. Konstant setpunkt på 19 °C året rundt, vil i regelen bidra til overtemperatur i sommerhalvåret, og en bør derfor altså velge et aggregat/styring hvor temperaturen kan senkes i denne perioden.

## 4.2 Oppvarming

For boliger dekkes transmisjon og infiltrasjonstapet vanligvis av elektriske panelovner, radiatorer, eller et elektrisk/vannbasert gulvvarmesystem.

Effektbehov uttrykt som W/m<sup>2</sup> gulvareal, er mye brukt som nøkkelverdier fra leverandører. Ofte benytter bransjen verdier i området 35 – 50 W/m<sup>2</sup> for nye boliger. Våtrom gjerne i området 70–100 W/m<sup>2</sup>

Fra Tabell 3.4 kan vi utlede spesifikt effektbehov for de ulike energiklassene.

**Tabell 4.1 Effektbehov til dekning av transmisjonstap og infiltrasjon [W/m<sup>2</sup>]**

Boligtype	Energiklasse	Trans. + infiltrasjon [W/m <sup>2</sup> ]
Enebolig 180 m <sup>2</sup>	LE 2	34
	LE 1	27
	Passiv	19
Blokkleilighet 100 m <sup>2</sup>	LE 2	27
	LE 1	22
	Passiv	17
Blokkleilighet 50 m <sup>2</sup>	LE 2	26
	LE 1	21
	Passiv	16

Vi ser av Tabell 4.1 at varmetap/effektbehov for kategoriene LE1 og Passivhus er *vesentlig lavere* enn de dimensjoneringsstallene som tradisjonelt har vært benyttet av bransjen fram til i dag.

#### 4.2.1 Oppvarming via ventilasjonsanlegget

Et tradisjonelt, mekanisk, balansert boligventilasjonsanlegg har som oppgave å tilføre og fjerne en gitt luftmengde. I tillegg sørger anlegget for at frisklufta filtreres før den tilføres de ulike rommene. Vanligvis varmes ventilasjonslufta opp til ca. 19 °C. Temperaturen er altså tilpasset komfortnivået, og vil derved virke frisk og svakt kjølede. Dersom romtemperaturen tenderer til å falle under 19 °C, vil ventilasjonsanlegget altså bidra med noe oppvarming.

I etableringen av Passivhusbegrepet slik vi kjenner det fra miljøet rundt Passivhaus-Institut, Darmstadt i Tyskland, peker ordet ”passiv” på en bygning/konsept som ikke trenger et (aktivt) oppvarmingssystem<sup>12</sup>. Aktivt oppvarmingssystem betød i denne sammenhengen vannbåren oppvarming. Et løsningsprinsipp som etter dette er mye benyttet i Passivhauskonseptet, er derfor oppvarming via ventilasjonsanlegget<sup>13</sup>.

#### Tilluftstemperatur ved dimensjonerende varmebehov

Med utgangspunkt i dimensjoneringskriteriene, kan varmetap fra bygningskroppen beregnes. Dette tapet må kompenseres med en kombinasjon av tilført luftmengde og lufttemperatur når oppvarming skal skje via ventilasjonen.

Effektinnhold i ventilasjonsluft med temperatur over romlufta er gitt av formelen:

$$P = \dot{V} \cdot c_p \cdot \Delta t \text{ [kW]} \quad (7)$$

hvor

$\dot{V}$  luftmengde [m<sup>3</sup>/s]

$c_p$  spesifikk varmekapasitet for luft [1,2 kJ/kg °C]

$\Delta t$  temperaturforskjell mellom tillufttemperatur og romluft [°C]

<sup>12</sup> Passivhaus-Institut i Darmstadt i Tyskland, ble etablert i 1996. Med utgangspunkt i et konsept som ikke skulle ha et aktivt oppvarmingssystem, ble utfordringen å designe et bygg inneholdende teknisk infrastruktur og med gitt brukeradferd, slik at dette var termisk akseptabelt gjennom året. Løsningen ble senere konkretisert gjennom en egen kravspesifikasjon.

<sup>13</sup> Skoler som er bygget etter passivhusstandard har oppvarming fra radiatorer, ikke oppvarming via ventilasjonsanlegget.

Eller litt vanligere:

$$P = \dot{V} \cdot 0,33 \cdot \Delta t \text{ [W]} \quad (8)$$

hvor

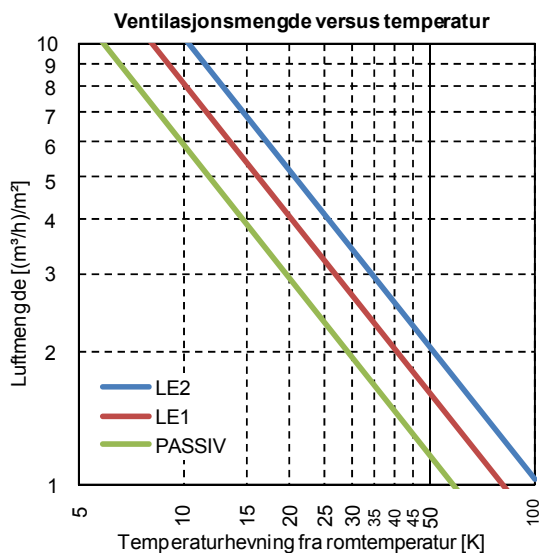
$\dot{V}$  luftmengde [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$\Delta t$  temperaturforskjell mellom tillufttemperatur og romluft [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Varmetapet kan beregnes for ulike energiklasser og tilhørende areal for boligen. Dette tapet kan så kompenseres med tilført varmeeffekt [P] via ventilasjonslufta, gitt av formel over (8)

#### Eksempel. Enebolig

Tabell 3.4 gir typisk varmetap for en enebolig. Basert på dette kan man beregne nødvendig luftmengde og tilhørende temperaturdifferanse mellom tilluft og romluft:

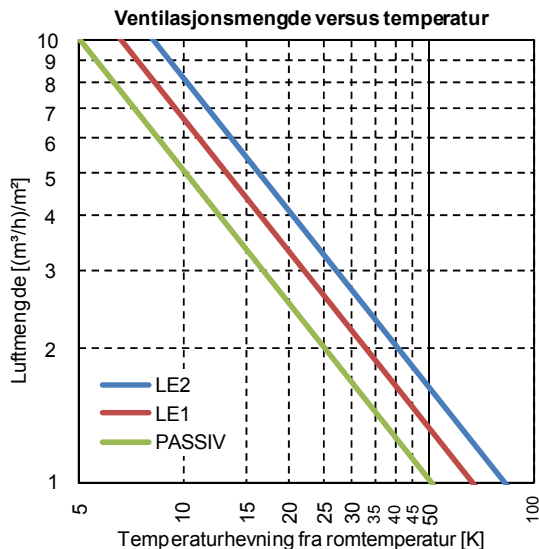


Figur 4.5 Kombinasjon av luftmengde og overtemperatur for å dekke varmetap ved  $DUT = -20^{\circ}\text{C}$  i en enebolig. Energiklasse hhv LE2, LE1 og Passivhus.

Etter Tabell 3.2 ligger minste luftmengde for enebolig på  $1,2 \text{ (m}^3/\text{h)/m}^2$ . Figuren over antyder at med ventilasjonsmengde i denne størrelsesorden, må tillufttemperaturen ligge minst  $45^{\circ}\text{C}$  over romtemperatur for at varmebalansen skal opprettholdes ved dimensjonerende utetemperatur (Passivhus). Denne overtemperaturen avtar selvfølgelig med stigende utetemperatur.

### Eksempel. Blokkleilighet

Tilsvarende beregning kan gjøres for blokkleilighet.



Figur 4.6 Kombinasjon av luftmengde og overtemperatur for å dekke varmetap ved DUT=-20 °C i en blokkleilighet (BRA= 80 m²). Energiklasse hhv LE2, LE1 og Passivhus.

Etter Tabell 3.2 ligger minste luftmengde for blokkleiligheter på 1,50 og 1,70 (m³/h)/m² avhengig av størrelse. På samme måte som for enebolig, viser figuren over at med ventilasjonsmengde i denne størrelsesorden, må tillufttemperaturen ligge 30 °C over romtemperatur for at varmebalansen skal opprettholdes ved DUT. (Passivhus)

### Erfaringer

Figurene over viser sammenhengen ved dimensjonerende forhold, hvor det ikke regnes inn bidrag fra sol og interne varmetilskudd. I tillegg er de basert på statiske beregninger og er følgelig uten termiske lagrings-egenskaper i konstruksjonen. Dette betyr at beregnet effektbehov ved DUT kan være i høyeste laget, og at kombinasjonen luftmengde og temperaturredifferanse kan justeres ned.

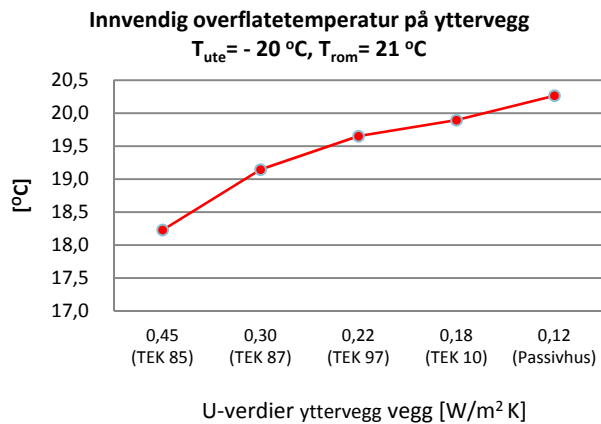
I tillegg til høyt temperaturnivå på ventilasjonslufta, er en annen ulempe med systemet at oppvarming skjer sentralt og tilføres alle rom som av funksjonsmessige årsaker trenger friskluft (soverom og eventuelt stue og kjøkken). Dette skjer selv om det ikke er behov for eller ønskelig med oppvarming i enkelte av disse.

Vi har lite erfaring fra slike systemer i Norge, og kan derfor ikke på generell basis anbefale løsningen før denne er utprøvd og verifisert i større skala. I Norge er det i boligsammenheng installert mange luft-luft varmepumper som lokalt tilfører oppvarmet luft av ca. 50 °C. En installasjon og funksjon mange synes å være fornøyd med, selv om den varme delen av varmepumpa gjerne plasseres i stue, gang, trappeløp o.l.

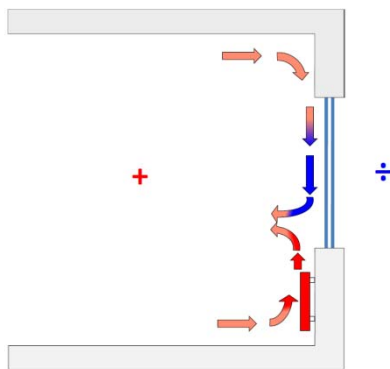
### 4.2.2 Oppvarming via lokale heteflater

Med innvendinger beskrevet i kapittel 4.2.1 anbefales det å følge vanlig løsning, dvs. å dimensjoneres heteflatene (radiatorer, panelovner og golvvarme) slik at disse balanserer varmetapet fra rommet, og komfortabel innetemperatur opprettholdes ved alle utetemperaturer.

Krav til termisk komfort strekker seg imidlertid lenger enn at rommet skal være i effiktmessig balanse. Personene som oppholder seg i rommet skal heller ikke skal utsettes for kald stråling fra ytterflatene. Denne strålingen kan reduseres ved å isolere ytterflatene bedre.



Figur 4.7 Innvendig overflatetemperatur avhengig av U-verdi i yttervegg.



Figur 4.8 Strømningsbilde: Kaldras fra vindu/oppvarming fra varmekilde



Figur 4.9 Varmelement plassert under vindu

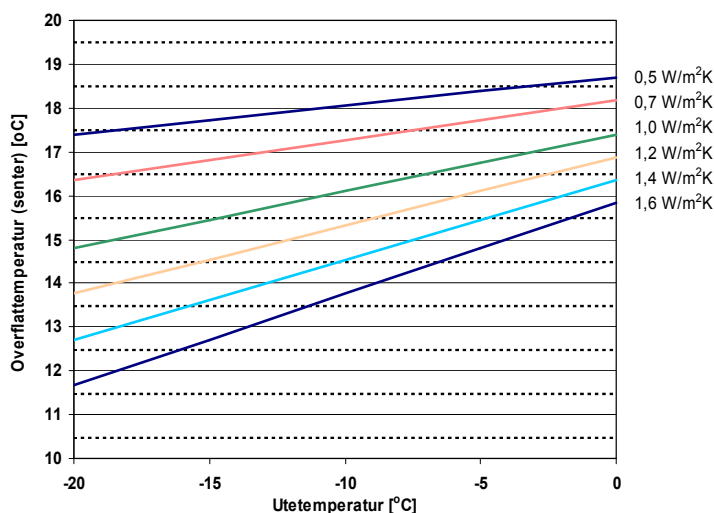
Figuren til venstre viser innvendig overflatetemperatur på yttervegg ved ulike isolasjonsgrader for denne. Det er regnet verdier uten innslag av avkjølede kuldebroer og infiltrasjon. Utetemperatur er satt til  $-20\text{ °C}$  og romlufttemperaturen lik  $21\text{ °C}$ .

Som vi ser av figuren vil kaldstråling fra yttervegg bli merkbar ved U-verdi dårligere(høyere) enn ca.  $0,3\text{ W/m}^2\text{ K}$ . Ofte vil en av komfortensyn kompensere dette ved å holde en høyere lufttemperatur slik at operativ temperatur (kap. 2.1.1) holdes på et komfortabelt nivå.

Vindusfelt vil normalt være de kaldeste punktene på ytterflaten, og som sådan bidrar med mest kaldstråling. Ved å plassere en varmekilde under vinduet oppnås en lokal oppvarming sammen med at virkning av kaldras (trekk) fra vinduet reduseres. Fram til i dag har den varmen som må avgis fra heteflaten for å oppnå denne effekten stått i et balansert forhold til den effekten som må tilføres rommet totalt for å holde en akseptabel innetemperatur.

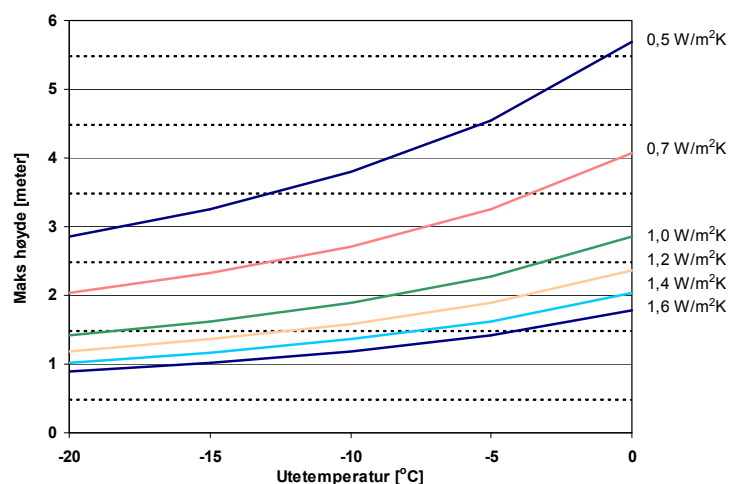
Heteflatene tjener altså to funksjoner som sammen skaper et godt termisk inneklima.

Vanligvis plasseres ett varmeelement under hvert vindu.



Figur 4.10 Beregnet innvendig overflatetemperatur vindu.

Figur 4.10 viser beregnet overflatetemperatur (senter) for vindu avhengig av U-verdi for glasset<sup>14</sup>. Med en U-verdi fra 1,0 W/(m²K) og lavere, ser vi at overflatetemperaturen ligger på ca. 15 °C selv ved – 20 °C ute. Kaldstrålingen fra dette vinduet blir følgelig moderat.



Figur 4.11 Beregnet maksimal høyde på vindu.

Figur til venstre viser tilhørende beregnet maksimal høyde på vindu. Det er her satt som kriterium en maksimal lufthastighet fra kaldraset på 0,15 m/s, målt 0,6 meter ut i rommet fra vindu.

Med en U-verdi for vinduet på 1,0 W/(m²K), ser vi av figuren at en kan tillate en høyde på 1,5 meter, ved utetemperatur på – 20 °C, uten at kaldras-effekten blir vesentlig.

Vinduers varmetekniske kvalitet (U-verdi) og høyder er således viktig parametere når boligens varmeanlegg skal bestemmes.

I takt med bedret isolasjon i yttervegg, redusert infiltrasjon og ikke minst som figurene over viser, bedre isolasjonsegenskaper til vinduer, vil behov for kaldrassikring etter hvert i praksis fall bort. Heteflatene kan etter dette plasseres andre steder i rommet, og generelt reduseres i størrelse/kapasitet. For anlegg med vannbåren oppvarming vil det normalt være kostnadseffektivt å installere heteflatene nært fordelingsentralen. Andre forhold som spiller inn er selvsagt valgt eller sannsynlig, framtidig møblering av rommet.

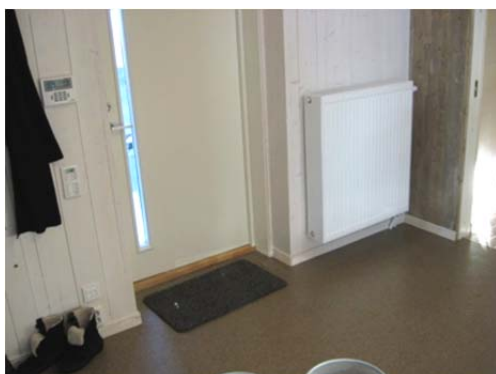
<sup>14</sup> For et vindu vil normalt U-verdi i glassfeltet være lavere enn i rammeverket rundt. Et vindu med eksempelvis U-verdi lik 1,2 W/m² K, vil U-verdien for glasset typisk ligge ca. 10 % lavere.



Figur 4.12 Plassering av varmekilder. Lavenergibolig LE1  
Effektbehov beregnet til ca 1100 Watt



Figur 4.13 Plassering av varmekilder. Passivhus  
Effektbehov beregnet til ca 800 Watt



Figur 4.14 Eksempel på varmekilde i passivhus

### **LE1**

I forhold til forskriftskrav er varmetapet for lavenergiboliger vesentlig redusert. I tillegg velges det ofte vinduer med U-verdi i området  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Figuren til venstre illustrerer hva dette kan bety for plassering og antall varmeelementer.

Framlegg og installasjon til framtidige elementer i øvrige bruksrom bør imidlertid vurderes da planløsning og funksjon kan endres gjennom bygningens livsløp. Sannsynlighetsvurdering for at dette skjer vil bestemme graden av fleksibilitet i løsning.

### **Passivhus**

Passivhus betyr en ytterligere reduksjon av varmetap. I tillegg reduseres U-verdi på vinduer ned til området  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Dette betyr eksempelvis at varmetapet fra et plan på  $50 \text{ m}^2$  ivaretas med en effekt i området 800 Watt.

Det vil videre i praksis ikke være kaldsone ved vinduer.

I sum betyr dette at leilighetens totale varmetap kan dekkes med ett element, plassert på innervegg som figuren til venstre viser et eksempel på.

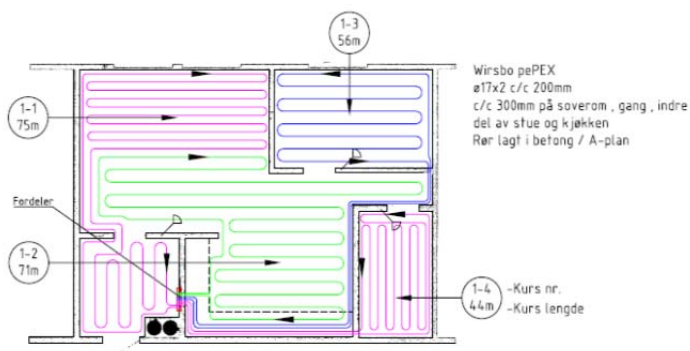
Eksempel på plassering av varmekilde i passivhus. Inngangsparti forsynt med varmekilde. Forøvrig eneste varmekilde på etasjeplanet.



### 4.2.3 Oppvarming via gulvvarme

#### Oppholdsrom

I nyere eneboliger benyttes ofte gulvvarme til å dekke varmetapet. Dette kan være basert på direkte elektrisk eller vannbasert tilførsel. Løsningen oppfattes å gi svært god termisk komfort <sup>(Fossdal, 2005)</sup>, og for vannbåren oppvarming settes gjerne overflatetemperaturen i oppholdsrom til  $25 \pm 1$  °C. Vanntemperaturen ligger på typisk 30 °C. Ved innredning av rommet gir gulvvarme fordeler ved at inventar kan plasseres uavhengig av vegghengte varmeelementer.

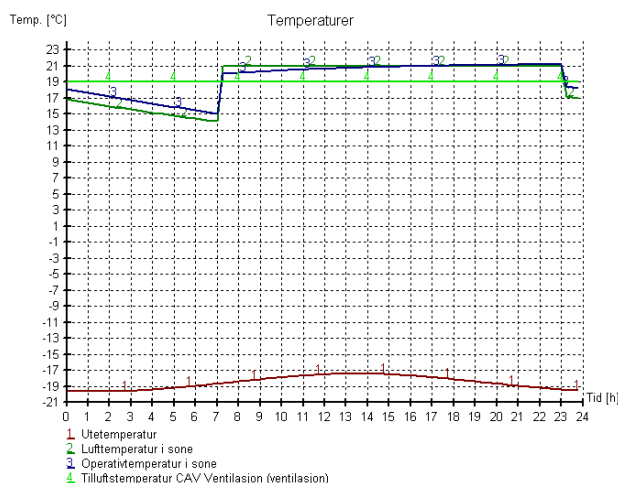


Figur 4.15 Gulvvarme. Standard løsning for vannbåren varme

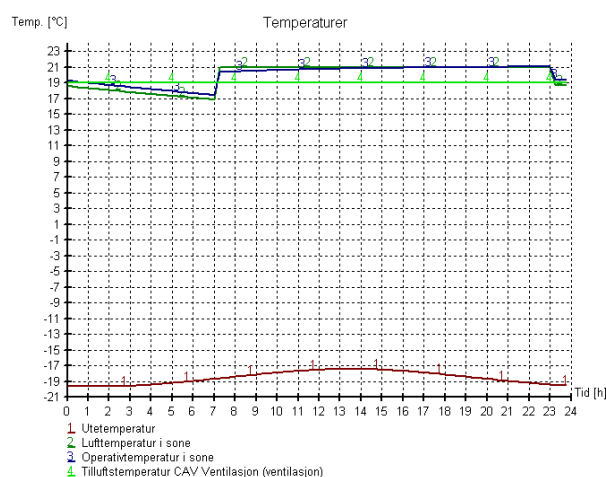
Figuren viser en vanlig måte å løse vannbåren gulvvarme på i dag. All rom er gitt egne soner hvor temperaturen kan settes individuelt. Maksimal effekt på gulvvarmen kan tilpasses de ulike rommene ved å justere avstand mellom rørene noe. Forøvrig ser en av figuren at vann med høyest temperatur tilføres først de kaldeste områdene ved yttervegg.

#### Løsning som følge av mindre varmetap

Ett ankepunkt mot gulvvarme er at systemet gir treg respons på temperaturoendringer i rommet. Ved introduksjon av LE1 og Passivhus blir dette forholdet ytterligere forsterket når varmetapet avtar. En simulering kan belyse forholdet:



Figur 4.16a Enebolig iht. TEK 10. Varmeanlegg slått av nattertid. Temperaturfall inne lik 7 °C, ved DUT



Figur 4.16b Enebolig iht. Passivhus. Varmeanlegg slått av nattertid. Temperaturfall inne lik 4 °C, ved DUT.

Boligene som er simulert har identisk termisk masse. Figurene viser hva som skjer i de to bygningene ved dimensjonerende vinterforhold, og varmeanlegget slås helt av. Temperaturfallet for passivhuset er ca. halvparten av boligen bygget iht. TEK 10.

I motsatt tilfelle hvor eksempelvis et rom i boligen blir påtrykket en varmelast, vil rommet i passivhuset gi rask respons på denne, og føre til temperaturøkning. Denne økningen vil normalt dempes ved at varmeanlegget regulerer ned sin effekt. Dersom denne reguleringen skjer langsomt kan overtemperatur lett opptre. Det finnes i dag lite dokumentasjon på bruk av gulvvarme i kombinasjon med Passivhus. I tillegg til de reguleringstekniske utfordringene, kan dette også skyldes en kost/nytte vurdering hvor en relativ høy investering skal skrives av på et lite energibehov. En metode som kan vurderes er å redusere omfanget av installasjonen til kun å dekke de områdene som faktisk trenger oppvarming. Her unnlater en å legge gulvvarme på en del av midtre areal, da varmetapet i dette området forutsettes å være minimalt. Løsningen nærmer seg en annen benyttet metode; Varmelement integrert i gulvlist.



Figur 4.7 Gulvvarme. Kostnadseffektiv løsning

Denne lokale temperaturskjellen føles veldig lett og oppleves lite komfortabel. Temperaturskjeller mellom område med og uten gulvvarme må imidlertid aksepteres dersom denne løsningen velges.

## Baderom

Ved nybygging og rehabilitering av bad er det i dag vanlig praksis å installeres gulvvarme. Dette i erkjennelsen av at beboere forventer denne komfortstandarden i disse rommene. Et flisbelagt gulv som holder en overflatetemperatur mellom 27–30 °C oppfattes som komfortabelt å oppholde seg barbert på. I tillegg gir gulvvarme sammen med god ventilasjon rask optørking av vannsøl. Nødvendig effekt for å holde en overflatetemperatur på ca. 30 °C beregnes til ca. 65–70 W/m<sup>2</sup> (5 cm isolasjon under varmerør)<sup>15</sup>. Den varme gulvflaten tilfører varme til romlufta. Dersom en forutsetter lite varmetap fra rommet, kan dette føre til at temperaturen stiger over komfortområdet. Dette forholdet motvirkes imidlertid vanligvis ved at generelt avtrekk fra boligen tilføres baderommet, som virker avkjølede på dette. Se også kapittel 5.1.4 om egnede overstrømningsventiler.



Figur 4.18 Eksempel på en moderne håndkleradiator ("towel rail").

Mens gulvvarme har blitt standard i norske bad, er det fortsatt et luksusgode i de fleste andre land, men med noe økende i popularitet. I tyske lavenergi- og passivhus er det vanlig at baderom har en håndkleradiator som varmekilde (Figur 4.). De har en kapasitet på 0,3–1,0 kW avhengig av størrelsen. Det finnes modeller som benytter varmtvann eller elektrisitet, og kombimodeller ("duel fuel") som kan veksles mellom varmtvann i fyringssesongen og elektrisitet om sommeren.

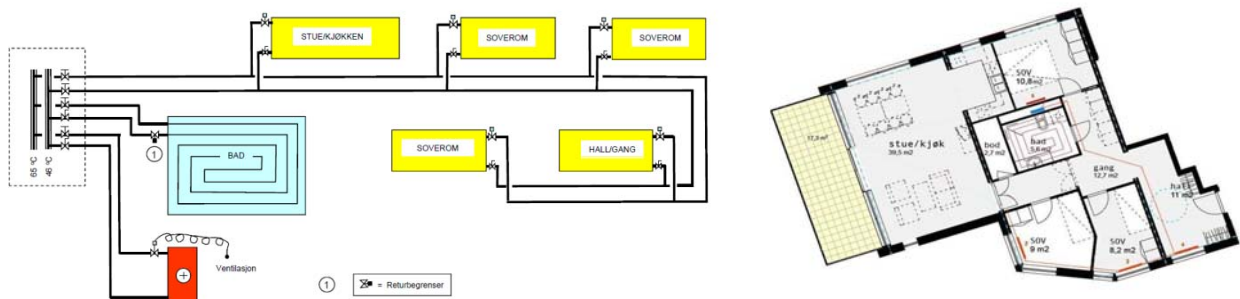
<sup>15</sup> Gulvvarme-beregningsprogrammet "LowExCalc". SINTEF Byggforsk

#### 4.2.4 Radiator og golvvarme i kombinasjon.

Elektriske panelovner i kombinasjon med elektrisk golvvarme på bad har fram til i dag stått som det rimeligste alternativet når energiforsyningssystem skal velges. Selv om panelovner må sies å være en svært fleksibel installasjon, gir løsningen ingen valgmuligheter når det gjelder energikilde. Denne mangelen på fleksibilitet (beredskapshensyn) og miljøkonsekvensene ved produksjon av elektrisk energi, gjør at ledende politikk i Norge i dag legger opp til redusert bruk og avhengighet av denne energiformen. Dette arter seg bl.a. i ønsket om økt satsning og utbredelse av systemer basert på vannbåren oppvarming. Privatøkonomisk gir mangel på fleksibilitet at en også er bundet til gjeldende priser for elektrisk energi.

Kombinasjonen radiator og vannbasert oppvarming av golvvarme er etter dette en miljøvennlig kombinasjon som svarer på de utfordringene direkte elektrisk gir. Dog forutsetter det at vannet ikke varmes opp via elektrisk eller fossil energi. På installasjonssiden har vanlig praksis vært å installere en radiator under hvert vindu (av en viss størrelse). Vanntemperaturen i radiatorsystemet (bolig) har videre tradisjonelt ligget i området 60–80 °C. Denne temperaturen har i regelen vært for høy til å føre inn på golvvarmesystemet, noe som tradisjonelt er blitt løst ved å blande (shunte) temperaturen ned til 35–40 °C. Shuntinstallasjonen medfører ventiler og ekstra pumpe, en investering som bidrar til økte kostnader i forhold til et direkte elektrisk system.

I prosjektveilederen ”Forenklet anlegg for vannbåren oppvarming av boliger” (Wigenstad, 2009) er det gitt forslag til hvordan radiator, golvvarme og varmebatteri på en forenklet og kostnadseffektiv måte kan koples på samme system. For nærmere studie av forutsetninger for de ulike systemløsningene henvises det til denne.



Figur 4.19 To-rørsanlegg for fireromsleilighet. Radiatorer koblet i parallell. Golvvarme koblet i parallell med radiatorsystemet, men på samme fordelingsstokk.



Figur 4.20 Ett-rørsanlegg for fireromsleilighet. Passivhus. Radiator koblet i serie med golvvarme.

#### 4.2.5 Generelle energiltak for oppvarming

##### Isolering

For anlegg basert på vannbåren oppvarming, vil dette ha varmetap i alle rørstrekk fram til det punkt hvor varmen skal avgis. En generell senkning av vanntemperaturen i rørrettet sammen med isolasjon av dette er tiltak som reduserer tapet.

##### Pumpeeffekt

SPP (specific pump power) er analogt til SFP for ventilasjonsanlegget, og uttrykker altså forholdet mellom den elektriske effekten som er nødvendig for å drive pumpene og den vannmengden som forflyttes. Det foreligger pr. dato ingen forskriftskrav til denne, men NS3031 - Tillegg I, oppgir en verdi i størrelsesorden 0,5 [kW/l<sub>s</sub>]. Verdier under dette bør være en målsetning for gode anlegg.

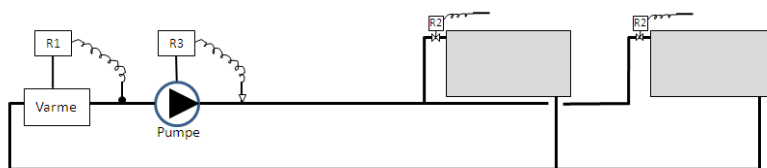
##### Behovstyring

Energiinnholdet i vannet som sirkulerer i et anlegg med vannbåren oppvarming er gitt av ”mengde” x ”temperatur”. Som prinsipp gjelder at en ikke vil tilføre mer energi enn det som trengs i et oppvarmingspunkt. Et vanlig reguleringsprinsipp er basert på temperaturregulering av hovedkrets (utetemperatur kompensert turvannstemperatur) og etterfølgende mengderegulering via termostatventil i oppvarmingspunktet. Ved å tilpasse temperaturnivået i turvannkretsen, vil sirkulert vannmengde generelt være høy – også ved lite varmebehov. Dette betyr at SPP-verdien i anlegget bør være lav. Imidlertid vil temperaturen ikke være høyere enn nødvendig og bidrar derfor til redusert energitap i rørrettet fram til oppvarmingssted.

Stadig oftere ser vi nå bruk av kapasitetsregulerende pumper. Disse virker på den måten at sirkulert mengde reduseres etter hvert som motstanden øker i rørkretsen. Denne trykkstigningen skjer når termostatventiler stenger.

Behovstyringen er altså basert på tre ulike hendelser:

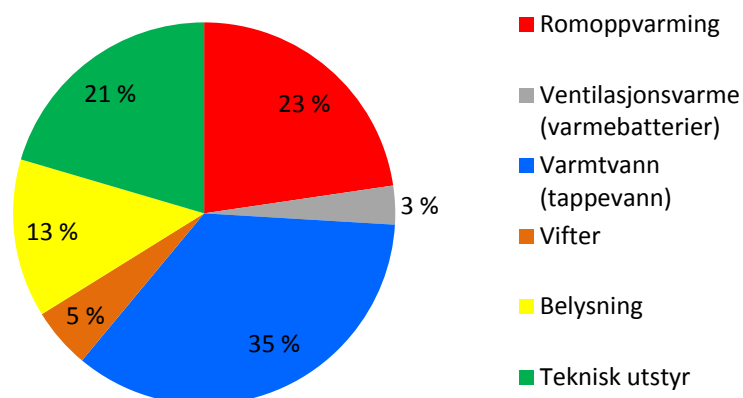
1. Tilpasset temperatur på turvannet (R1)
2. Regulert mengde inn på radiator/golvvarme (R2)
3. Tilpasset mengde på hovedsirkulasjonskretsen (R3)



Figur 4.21 Styringsstrategi for vannbåren oppvarming.

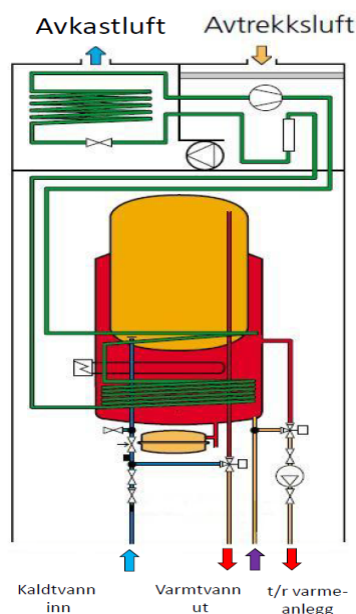
### 4.3 Kombinasjonssystem: Oppvarming og varmt forbruksvann

Kapittel 3.3 omhandler effekt-, og energibehov for ulike bygningskategorier. For passivhus utgjør energibruk til tappevann omlag 60 % av samlet termisk energibehov. Det kan derfor være aktuelt å vurdere ulike løsninger hvor energiforsyning til å dekke termisk behov (oppvarming + tappevann) sees i sammenheng.



Figur 4.22 %-vis fordeling av energibehov i et passivhus

#### 4.3.1 Mekanisk avtrekksanlegg. Varmegjenvinning via varmepumpe.



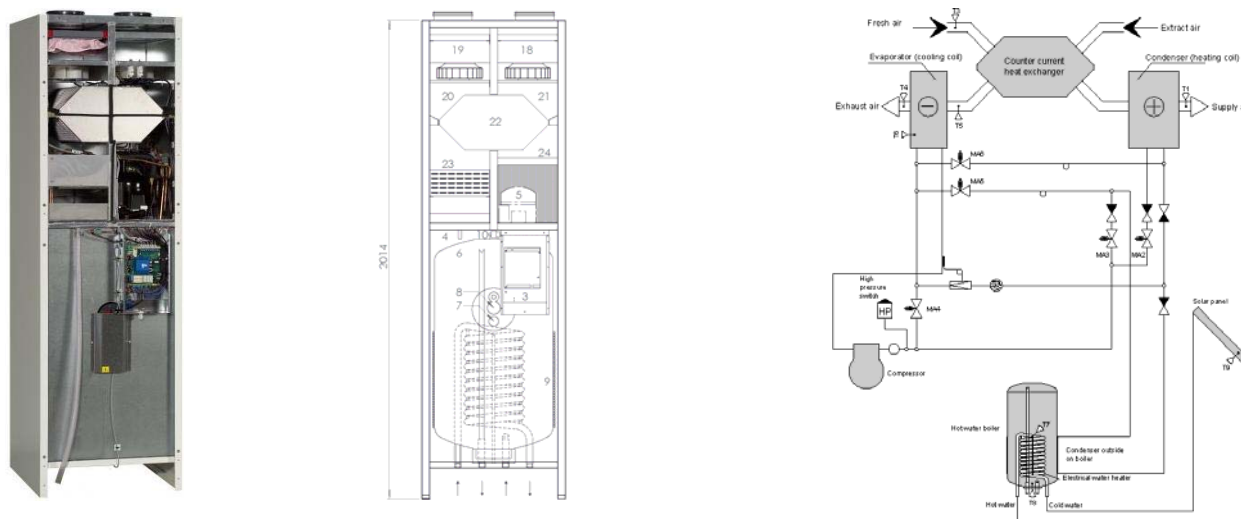
Figur 4.23 Prinsipløsning for avtrekksaggregat med integrert varmepumpe og varmtvannsbereder. Kilde IVT.

Denne løsningen er basert på mekanisk avtrekksventilasjon. Energiinnholdet i avtrekkslufta utnyttes ved å kople denne til en varmepumpe. Figur 4.23 viser prinsipløsning for systemet. Avtrekkslufta kan kjøles mye lengre ned enn tilsvarende luft/luft varmegjenvinner i et balansert system, og vil når en kun betrakter temperaturene i luftstrømmene, oppnå en virkningsgrad langt over 100 %. Mye av energien som leveres ut på varmeanlegget går med til å varme opp uteluften som suges inn i bygget, og innføring av varmepumpe-enheten gir derfor mulighet til å hente ut denne energien og levere den tilbake via romoppvarming (t/r varmeanlegg i figur). Overskuddsenergien går med til forvarming av varmt tappevann. Hele prosessen drives altså av en varmepumpe som på sin side trenger elektrisk energi til sitt maskineri.

### 4.3.2 Balansert ventilasjonsanlegg. Varmegjenvinning via varmepumpe.

Denne løsningen er basert på balansert, mekanisk ventilasjonsanlegg. Energiinnholdet i avtrekkslufta etter varmegjenvinner utnyttes ved å kople denne til en varmepumpe. Forøvrig er systemet likt det som er beskrevet over.

Figur 4.24 viser bilder og prinsipløsning for systemet. I tilknytning til akkumulatortanken, er det imidlertid også koplet på et termisk solfangersystem. Systemet blir derved ganske komplisert, og prisgitt et avansert og automatisert styringssystem. På den annen side leveres aggregatene som kompakte fabrikkbygde og godt testede enheter



Figur 4.24 Prinsipløsning av s.k. "kompaktaggregat". Kilde: Genvex Combi 185

## 4.4 Nye løsningsprinsipper for oppvarming

### 4.4.1 Lavtemperatur takvarme

Lavtemperatur takvarme må ikke forveksles med høytemperatur takvarme som tidligere ble benyttet. Høytemperatur takvarme er ikke optimal mht. termisk komfort; den har en varmeintensitet på ca. 60–80 W/m<sup>2</sup>, og en ubehagelig stråletemperatur på over ca. 30 °C (se Figur 2.3, side 8).

Lavtemperatur takvarme gir hovedsakelig strålingsvarme. Strålingen varmer opp gulvet (og andre flater) indirekte. Som konsekvens kan lufttemperaturen reduseres noe, som kan gi energigevinst. Dessuten kan denne løsning være mer behagelig enn konvensjonell konvektiv oppvarming (se side 9).

SINTEF Byggforsk har beregnet at ved installert effekt under 40 W/m<sup>2</sup>, gir takvarme og golvvarme tilnærmet samme termisk komfort, med samme temperaturgradient i oppholdssonen (Figur 4.25a) <sup>(Krog & Gundersen, 2006)</sup> (Gundersen, Lavtemperatur i varmeanlegg: Takvarme i ny og eksisterende bebyggelse, 2002). Ventilasjonsoppvarming har imidlertid ikke like gunstig temperaturgradient (Figur 4.25).

Lavtemperatur takvarme kan med fordel kombineres med tilluftsventiler i taket eller høyt på vegg. Ventilasjonsluften blir da varmet i det den stryker over takvarmeplatene. Fordelen med dette er at luftbevegelsen øker den konvektive varmeoverføringen fra taket. Dette reduserer strålingstemperaturen og kan gi bedre varmeoverføring enn golvvarme.

Takvarme er byggeteknisk mindre utfordrende enn golvvarme. Løsningen er mindre utsatt for skader, og det stilles ikke samme krav til styrke og stivhet. Dette har to følger:

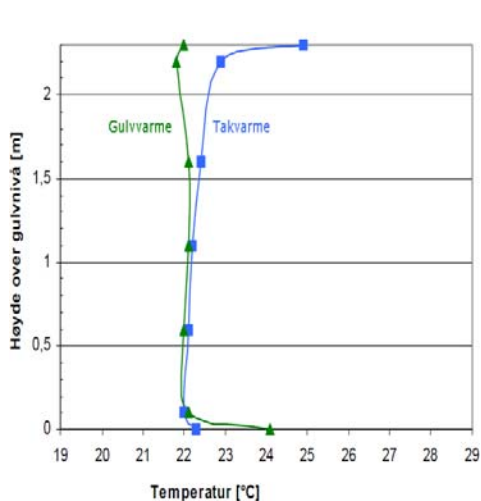
- (a) En lettere konstruksjon enn golvvarme gjør at takvarme har raskere oppvarmingstid/responstid enn golvvarme og dermed bruker mindre energi ved endringer av inne-/utetemperatur.

- (b) Himlingsplater kan være tynnere og har derfor lavere termisk motstand, enn gulvdekker. Dette gjør at takvarme kan være mer energieffektiv.

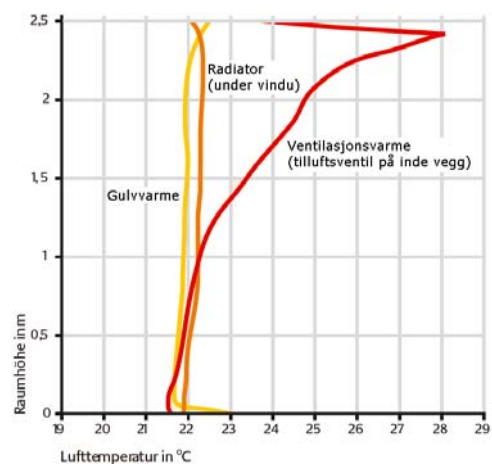
Takvarmesystemer kan også tenkes brukt til frikjøling med kaldt vann. Denne type kjøling er veldig effektiv og mer effektiv enn gulvkjøling. Dette kan være viktig i bygninger med høy risiko for overtemperatur om sommeren.

Takvarme kan være prefabrikkert eller bygningsintegrert. Begge løsninger byr på spennende utviklingsmuligheter for byggevareprodusenter. Takvarmeløsninger kan også ha fordelaktige akustiske egenskaper, dvs. luftlydsdemping (alternativ til trinnlydsdemping).

Byggeprosessen blir enklere med takvarme enn med gulvvarme. Gulvvarme må installeres tidligere i byggeprosessen og innebærer flere begrensninger. Ved bruk av takvarme er man friere til å velge tidspunkt for installasjon.

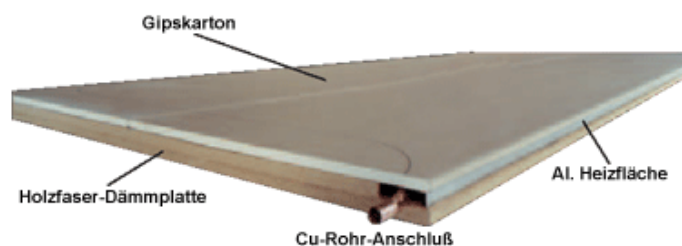


(a) Studie med takvarme sammenlignet med gulvvarme (Krog & Gundersen, 2006)



(b) Ventilasjonsoppvarming sammenlignet med gulvvarme og radiator (Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus: Teil 1: Winterliche Verhältnisse, 2007)

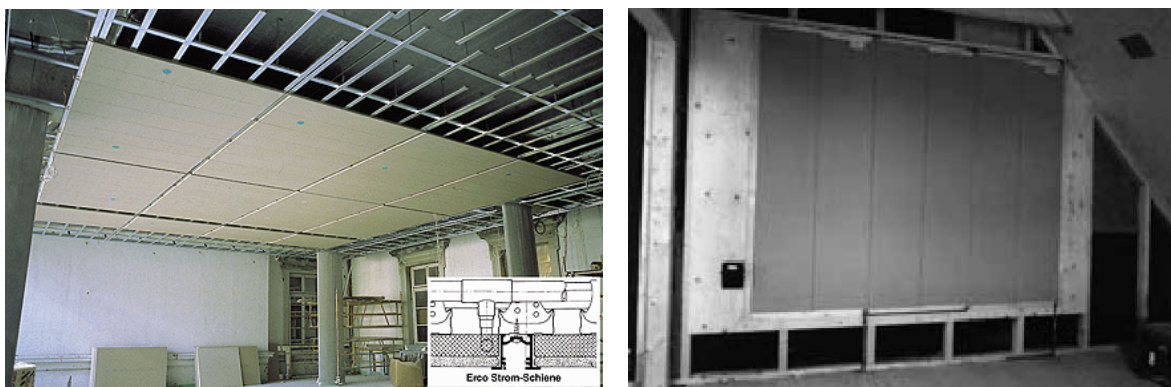
Figur 4.25 Vertikal temperaturprofil for takvarme sammenlignet med gulvvarme og radiator. Disse kurvene er målt under spesifikke forhold, og er ikke nødvendigvis allmenngyldige



Figur 4.26 Eksempel på prefabrikkert panel for lavtemperatur tak- eller veggvarme. Panelet er laget av kobberør, varmfordelingsplater i aluminium, gipsplate, og trefiberplate bak rørene. Panelene kan kobles sammen for å dekke et større areal. (Cufix-Werk Deutsche ALWA GmbH)

#### 4.4.2 Veggvarme

SINTEF Byggforsk har tidligere studert potensialet for brystningspaneler med integrert vannbåren oppvarming (Gundersen, Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg, 2002). Dette kan være et praktisk alternativ til golvvarme i tilfeller med lavt varmebehov, og kan eventuelt kombineres med ventilasjonssystemet. Imidlertid er lavtemperatur takvarme et mer attraktivt alternativ.

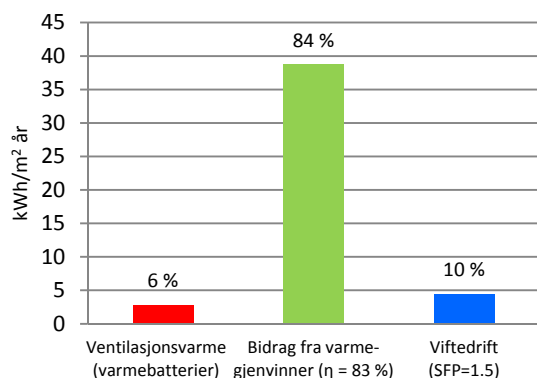


Figur 4.8 Eksempel på installasjon av paneler for lavtemperatur tak- eller veggvarme



## 5 Detaljer og komponenter

### 5.1 Ventilasjon



Dersom en studerer energibruk til ventilasjon, er det oppvarming av ventilasjonslufta som utgjør den store energiposten (90 %). Energibruk til sirkulasjon av lufta utgjør de resterende 10 %. Gjenvinning av varmen fra avtrekkslufta utgjør som figur 5.1 viser et viktig bidrag, og i energisammenheng er dette hovedårsaken til at mekanisk balansert ventilasjon med varme-gjenvinning anbefales i så vel forskrift-sammenheng som i bygninger hvor lavt energi-behov etterstrebes.

Figur 5.1 Energifordeling tilhørende ventilasjonsanlegg. (Passivhus-enebolig)

#### 5.1.1 Aggregater

##### Ulike typer varmegjenvinning

De ulike former for varmegjenvinning for boligventilasjon kan kategoriseres slik:

Tabell 5.1 Ulike typer varmegjenvinning

Hoved-kategori	Type	Bruksområde	Virknings-grad	Min avkast ved avriming	
Rekuperativ	Plate-varmeveksler	Enkel kryss (Figur 5.2a)	Boligblokk	< 70 % <sup>1)</sup>	3-10 °C
		Dobbel kryss	Boligblokk (f.eks. rehabilitering av Myhrerenga borettslag til passivhus)	< 77 % <sup>1)</sup>	3-10 °C
		Motstrøms	Mye brukt i lavenergi boliger på kontinentet. Uegnet i norsk klima pga. frysing	< 90 % <sup>1)</sup> (men frostproblemer)	< 10 °C
	Varmepumpe <sup>2)</sup>	Diffusjonsåpen plate, f.eks. cellulose (f.eks. (Mitsubishi))	Småhus i alle klima. Trolig ikke egnet i sentralaggregater pga. risiko for luktspredning	< 80 % (årsmiddel)	ca -10 °C
		Luft/luft varmepumpe, «ventilasjonsvarmepumpe»	Egnet i kystklima. To produsenter i Danmark	COP <sub>år</sub> ≈ 2.4	?
		Luft/vann varmepumpe «avtrekksvarmepumpe»	Mye brukt i Sverige	COP <sub>år</sub> ≈ 2.7	?
	Kombinert rekuperativ varmeveksler og luft/vann+luft varmepumpe, «kompaktaggregat»	Mye brukt i passivhus på kontinentet	>100 %	?	
Regenerativ	Roterende varmeveksler (Figur 5.2b)	Usikkerhet om egnetheten til sentralventilasjon av boligblokker pga luktspredning	< 80 til 85 % (årsmiddel)	ca -10 °C	
	Kammervarmeveksler	Egnet i alle småhus	< 90 %	ca -10 °C	

1) Ikke årsmiddelverdi. Årsmiddelverdi beregnes med NS 3031 med angitt minimum avkasttemperatur

2) Varmepumper betraktes som energiforsyningsystem, som ikke reduserer boligens netto varmebehov. Ved beregning av et kombianlegg i NS 3031 må man skille mellom varmeveksleren og varmepumpen.

### **Virkningsgrad**

De aller fleste typer varmegjennvinnere (bortsett for enkle kryss platevarmevekslere) kan tilfredsstillende energitiltaket i TEK10 på 70 % årsmiddel temperaturvirkningsgrad.<sup>16</sup>

#### *Individuelle anlegg*

Leverandører av små boligventilasjonsaggregater dokumenterer aggregatets temperaturvirkningsgrad (iht. EN 13141-7), som er noe høyere enn varmevekslerens temperaturvirkningsgrad fordi det tas hensyn til temperaturløft gjennom tilluftsviften. Tilluftsviften varmer opp luften tilsvarende ca. 5 % økning i virkningsgrad. For å tilfredsstillende kravet i TEK10 på 70 % årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmeveksler, må aggregatets årsmidlere temperaturvirkningsgrad derfor ligge på ca. 75 %.

#### *Sentrale anlegg*

For store aggregater dokumenterer leverandører varmevekslerens virkningsgrad direkte (iht. EN 308). Denne må tilfredsstillende minst 70 % for boligblokk i henhold til TEK10, eller 80 % for passivhus i henhold til NS 3700. (NS 3700:2010).

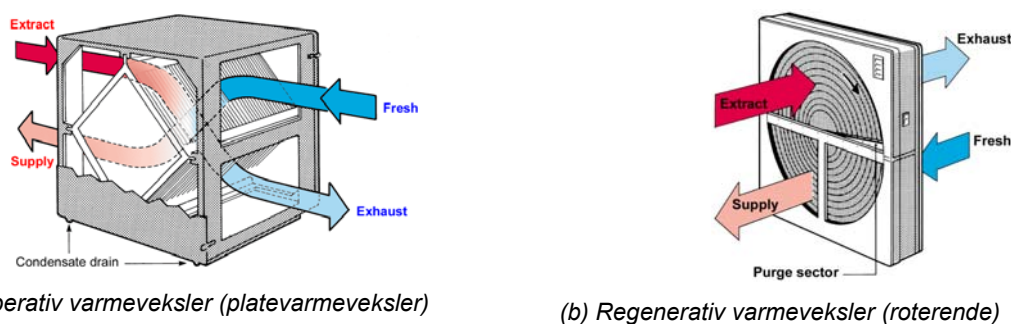
I passivhus på kontinentet har det blitt vanlig å bruke aggregater med motstrømsvarmevekslere eller såkalte kompaktaggregater som inneholder motstrømsvarmeveksler, varmpumpe og varmtvannsbereder (Figur 4.24). Motstrømsvarmevekslere har vist seg å være mindre egnet for norske forhold pga. frysingsproblemer. I Norge har derfor roterende varmevekslere blitt mer populære for småhus de siste årene, mens i Sverige er motstrømsvarmevekslere fortsatt de vanligste. Regenerative varmevekslere (roterende varmegjennvinnere og kammergjennvinnere) har flere fordeler i kaldt klima:

- Høy virkningsgrad også om vinteren, uten frostproblemer.
- Trinnløs styring av varmegjenvinning og tilluftstemperatur ved å endre rotorhastigheten. Dette kan bidra til å redusere risikoen for overtemperatur innendørs.
- Trenger ikke kondensavløp. Alle platevarmevekslere trenger dette. Slike avløp utgjør en tilleggs-kostnad og oppsyn (må ikke tørke ut).
- Noe fuktgjenvinning vinterstid. Reduserer problem med lavt relativ fuktighet innendørs på de kaldeste dagene.

På kalde dager kan regenerative varmevekslere overføre vannløselige lukter fra avtrekksluften tilbake til tilluften. Dette er et resultat av at kondensvannet blir gjenvunnet ved at det fordampes i tilluftsstrømmen. Diffusjonsåpne platevarmevekslere (cellulose) har det samme problemet. Det er derfor usikkert om slike varmegjennvinnere egner seg i fellesanlegg, fordi luktspredning mellom leiligheter er uønsket. Et tryggere alternativ er å bruke høyeffektive plategjennvinnere (f.eks. dobbel kryssvarmevekslere), som kan oppå en temperaturvirkningsgrad på opp til 80 %. Det forutsettes da en energieffektiv metode for avriming. En metode er å etablere en bypass-løsning som kan føre noe av tillufta tilbake til luftinntaket. Når avriming er aktivt økes tilluftsviften med ca 30 %, og spjeldet i bypass-kanalen åpner slik at 30 % av denne oppvarmede luften føres tilbake til luftinntaket og blandes med inntaksluften. Dette fører til rask og jevn avriming av varmeveksleren uten at luftmengden til leilighetene blir redusert. Årsvirkningsgraden reduseres imidlertid gjennom denne gjentatte avrimingssyklusen.

---

<sup>16</sup> Byggetaljer 552.340



(a) Rekuperativ varmeveksler (platevarmeveksler)

(b) Regenerativ varmeveksler (roterende)

Figur 5.2 Illustrasjon av de to hovedtyper luft-til-luft varmeveksler, hhv. rekuperativ og regenerativ

## Filter

Filteret på tilluftsiden har som hensikt å filtrere utelufta for urenheter (særlig støv og pollen) før den tilføres aggregatet og siden de ulike rommene i boligen. På avtrekksiden er hensikten å filtrere bort forurensninger (støv) fra boligen før dette kommer inn i aggregatets komponenter. Over tid fylles filtrene opp og disse må skiftes. Enkel tilkomst for skifte og lettfattelig prosedyre for hvordan dette gjøres er en viktig forutsetning for at dette skal oppleves enkelt av brukeren. Figur 5.3 viser eksempel på to ulike filtertyper. I det ene eksempelet består filtrene av en kassett som enkelt tas ut via påmontert håndtak. I det andre eksempelet er det snakk om posefilter, hvor disse sitter i en skinne. Prosedyre må etter dette sies å være enkel, men utfordringen kan være å skaffe til veie nye filtre. En ulempe i begge tilfellene er at dør/deksel til aggregatet må åpnes før for å komme til filtrene. Denne mekanismen kan for noen aggregaters vedkommende være løst på en unødvendig komplisert måte.



Figur 5.3 Eksempler på moderne ventilasjonsaggregater for småhus. Begge med roterende varmeveksler, energieffektive EC vifter, og bypass for tilkobling til komfyrvtrekk. Kilder: Flexit (venstre) og Systemair (høyre)

### Varmebatteri.



Figur 5.4 Eksempel på varmebatteri for vannbåren oppvarming av ventilasjonsluft, som tilleggsutstyr til ventilasjonsaggregat. Kilde: Systemair

Frisklufta vil i det den passerer varme-gjenvinneren, oppnå ønsket tillufttemperatur (eks. 19 °C) i største deler av året. Imidlertid vil det være noen kalde dager hvor effekten fra gjenvinneren ikke er tilstrekkelig. Det er derfor vanlig å ettervarme lufta opp til ønsket nivå. For boligventilasjonsaggregater ivaretas dette via et innebygget elektrisk varmebatteri.

Dersom en ønsker vannbåren varme på denne oppvarmingen løses dette pr. i dag ved å montere et batteri på kanalstrekket etter aggregatet.

### Vifter og viftestyring

Vifteenergi er en funksjon av to hovedfaktorer:

- trykkfallet gjennom hele ventilasjonssystemet, inkludert kanalsystemet, ventiler, rister, og komponentene i ventilasjonsaggregatet
- virkningsgraden på komponentene i viftesystemet, inkludert motoren, elektronikken og selve viftebladene.

Riktig komponentvalg og god anleggsutforming av ventilasjonsanlegget i forhold til planløsning er nødvendig for å oppnå lav vifteeffekt (dvs. lav SFP-verdi).

Det er lønnsomt å investere i litt dyrere vifter med høy virkningsgrad (Schild & Mysen, 2009). Vi anbefaler derfor at det velges boligventilasjonsaggregater med EC-vifter med styring av viftehastigheten. For større aggregater med AC viftemotorer, bør de tilfredsstille minst klasse IE2, med frekvensomformer for turtallstyring.

Ved planlegging av ventilasjonsanlegg har man sjelden full kontroll over alle parametrene som påvirker SFP-verdien (komponentvalg, praktisk utførelse, innregulering osv.). Prosjekteringsmålet for SFP bør derfor settes lavere enn kravnivået for å ta høyde for dette.

### 5.1.2 Kanaler

#### Kanaltyper

Det anbefales stive og glatte kanaler og kanaldeler for eksempel av forsinket stål (spiro-kanaler), med ferdig påsatte pakninger som er avfettet innvendig. Disse er fordelaktig både med hensyn til luftkvalitet, rengjøring, bestandighet, vedlikehold og motstand. Kanaler kan leveres ferdig isolert utvendig og med plastkappe. Det fins også fleksible kanaler og lydempere av aluminium, men disse bør generelt unngås. Kanalene er svake og får lett skader, særlig i byggeperioden og ved rengjøring.

#### Dimensjonering

Kanalføringene bør være så korte som mulig ut fra en helhetlig planlegging av planløsning, plassering av luftinntak- og avkast og ventilasjonsaggregat. Ut fra estetiske, praktiske og investeringsmessige hensyn ønsker man normalt små kanaldimensjoner, samtidig må kanalene ha en viss størrelse for å få og opprettholde god funksjon i forhold til luftmengde, trykkfall, energibruk og støygenerering. Systemene bør ha lavest mulig trykkfall for å redusere støy og energibehov for viftedrift mest mulig. Lavt trykkfall betinger lave hastigheter og gir dermed et mer stillegående ventilasjonsanlegg. Kanalhastigheter over 2,5–3 m/s bør unngås. Kanaldiametre i leiligheter ligger mellom 100 og 200 mm. Leiligheter over 125 m<sup>2</sup> bør ha Ø200 hovedkanaler. Mellom avtrekksventil og filter i ventilasjonsaggregatet må man ikke benytte mindre enn Ø100 kanaler fordi innvendig nedsmussing av kanalen kan gi en relativt stor reduksjon av luftmengden ved mindre dimensjoner

(Wallin, 1999). Det er særlig viktig å trykkfallsberegne ventilasjonsanlegget hvor man har lange kanalføringer, for å sikre at ventilasjonsaggregatet har tilstrekkelig kapasitet i forhold til behovet.

For å unngå støy og unødig energibruk bør kanalene nærmest ventilene i boligen dimensjoneres for en lufthastighet på maks. 2 m/s. Tabell 5.2 angir minimum diameter for kanaler og avtrekksventiler.

Tabell 5.2 Minimum diameter for kanaler og avtrekksventiler

Luftmengde		Avtreksventil og -kanal, diameter (mm)
l/s	m <sup>3</sup> /h	
Inntil 15	Inntil 55	100
16-25	56-90	125
26-42	91-145	160
43-72	146-280	200

## Isolasjon

I store boligblokker kan det bli lange kanalføringsveier i sjakter. Dette gjelder særlig der hvor man har individuelle anlegg med luftinntak og luftavkast på tak. I forbindelse med sjakter er det viktig å ta hensyn til brannkrav, uønsket temperaturstigning og tilgjengelighet for inspeksjon og renhold. Brann er ivarettatt av Byggdetaljer 520.351. Branntekniske krav til ventilasjonsanlegg. I områder med risiko for uønsket temperaturstigning fra luftinntak til tilluftsventil, bør luftinntakskanalen isoleres frem til aggregat og tilluftskanalen fra aggregat bort til tilluftsventil med minimum 25 mm kanalisolasjon.

### 5.1.3 Ventiler

#### Tilluftventiler



Figur 5.5 Eksempel på tilluftventil. Kilde: Systemair



Figur 5.6 Eksempel på tilluftventil med stort spredemønster. Denne ventiltypen (vegg) benyttes mye i passivhus i Tyskland/Østerrike. Kilde: Flakt Woods

Viktige egenskaper for en tilluftventil er spredemønster (kastlengde), trykkfall (motstand) og lydgenerering/demping. Dette er svært produktavhengige egenskaper som må dokumenteres i hvert enkelt tilfelle. Dette er en typisk prosjekteringsoppgave, som med fordel kan kontrolleres av installatør på bakgrunn av eksempelvis valgt aggregat/ øvrig dokumentasjon av leveransen.

Tilluftsventilen i figur 5.6 er mye benyttet i Passivhusprosjekter slik vi kjenner dem fra Mellom-Europa. Ventilen er tilpasset løsning med oppvarming via ventilasjonsluft. Med en luftmengde på omtrent 1,5 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup>, blir nødvendig overtemperatur høy<sup>17</sup>, noe som i Norge tradisjonelt har blitt oppfattet å bidra til dårlig termisk klima. Dette selv om den varme tillufta etter hvert blandes med romlufta og ender opp på omtrent 21 °C. Se forøvrig temperaturprofil i Figur 4.25

<sup>17</sup> PassivHouse Institut setter en grense på + 50 °C på tillufta

## Avtrekkssystemer



Figur 5.7 Konvensjonell avtrekksventil (kontrollventil). Kilde: Systemair

Figur 5.7 viser en typisk avtrekksventil som man stiller inn og låser for å trekke av en prosjektert luftmengde.



Figur 5.8 Fuktstyrt avtrekksventil (bad/våtrom). Kilde: Systemair

I våtrom med behov for forsert avtrekk kan man bruke en ventil med en egen forseringsinnstilling, der ventilen ved forseringsbehov åpnes mer opp så den trekker av mer luft. Ventilen kan enten åpnes manuelt ved å slå på en bryter, eller automatisk ved hjelp av en fuktsensor eller persondetektor (Figur 5.8). I begge tilfeller bør man ha automatikk som tilbakestiller ventilen til normalposisjon etter en bestemt tid. En fuktsensor må ha ettersyn og vedlikehold.

## Støy

Det er viktig å velge ventiler med tilfredsstillende støydata ved de aktuelle luftmengder. Her må man bruke produktdata for den aktuelle ventilen, siden egenskapene (støy og luftmengder) varierer fra produsent til produsent og mellom ulike modeller.

### 5.1.4 Overstrømningsåpninger

#### Typer

Våtrommet får sin tilluft i form av overstrømmet luft fra naborommet (som regel gang eller entré). Aktuelle overstrømningsløsninger er vist i Figur 5.9.

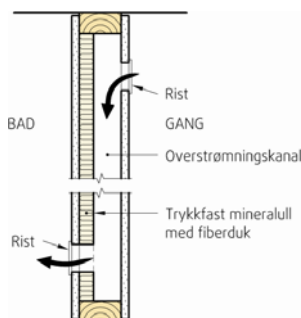
En vanlig måte å tilføre denne avtrekksluften er å la den passere under en spalte i døra. Ved store luftmengder kan dette i enkelte tilfeller føre til en uønsket nedkjøling av baderomsgulvet. Et tiltak mot dette kan være å forsyne rommet med en overstrømningsventil plassert i god høyde over baderomsgulvet (Figur 5.9b), eller spalte over døren.



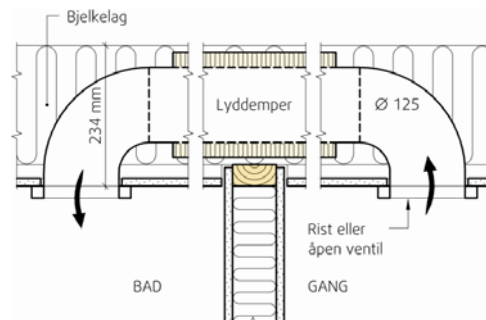
(a) Spalte under dørblad



(b) Overstrømningsventil for innfelling i dørblad



(c) Lyddempet, plassbygd overstrømningskanal i vegg



(d) Lyddempet overstrømningskanal i bjelkelag

Figur 5.9 Ulike alternativer for overstrømning mellom rom

### Lydegenskaper

Med spalte under, i eller over døren blir lydoverføringen mellom rommene stor. Dersom det er ønskelig med demping av lydoverføringen, må man bruke lyddempede overstrømningsåpninger, se Figur 5.9c/d.

### Dimensjonering

Overstrømningsåpninger må ha så stort tverrsnitt at lufta kan strømme over med svært liten motstand. Trykkfallet bør være mindre enn 2 Pa. Tabell 5.3 angir anbefalte størrelser for overstrømningsåpninger forutsatt et trykkfall på 1,2 Pa, og gjelder for boliger med lavt lekkasjetall ( $n_{50} \approx 1$ ). For boliger med lavere krav til lufttetthet bør arealene multipliseres med det antatte lekkasjetallet ( $n_{50}$ ). Tabellverdiene sikrer at luftlekkasjer gjennom fasaden er maksimalt 5 % av total ventilasjonsluftmengde i boligen. Tilstrekkelig spalte under dørbladet kan man enklest oppnå med terskelfri dør, eller dør med flat terskel. Merk at det ikke er tilstrekkelig lufteåpning mellom dørblad og karm/terskel i en dør med ”vanlig/tett” terskel, selv om døra er uten pakninger.

**Tabell 5.3 Anbefalt størrelse på overstrømningsåpninger**

Type overstrømning	Luftmengde <sup>(1)</sup>		Minimumsareal [cm <sup>2</sup> ]	Eksempler på bredde x høyde, eller minimumsdiameter (Ø) [mm]
	[l/s]	[m <sup>3</sup> /h]		
Spalte i, under eller over dør	10	36	80	800 x 10
	20	72	160	800 x 20
	30	108	240	800 x 30
	40	144	320	800 x 40
Overstrømningsrist, eller overstrømningskanal i vegg <sup>(2)</sup>	10	36	130	130 x 100
	20	72	250	250 x 100
	30	108	370	370 x 100
	40	144	490	490 x 100
Overstrømningskanal i himling <sup>(3)</sup>	10	36	103	Ø 125
	20	72	216	Ø 160

(1) Luftmengde ved normal ventilasjon, ikke forsering.

(2) Minimum fritt areal gjelder også for begge ristene. Brutto areal på ristene må derfor være en del større enn dette.

(3) Forutsetter helt åpne kanaler, uten rist/ventil i himling. Hvis bjelkelagets høyde er begrenset brukes flere kanaler

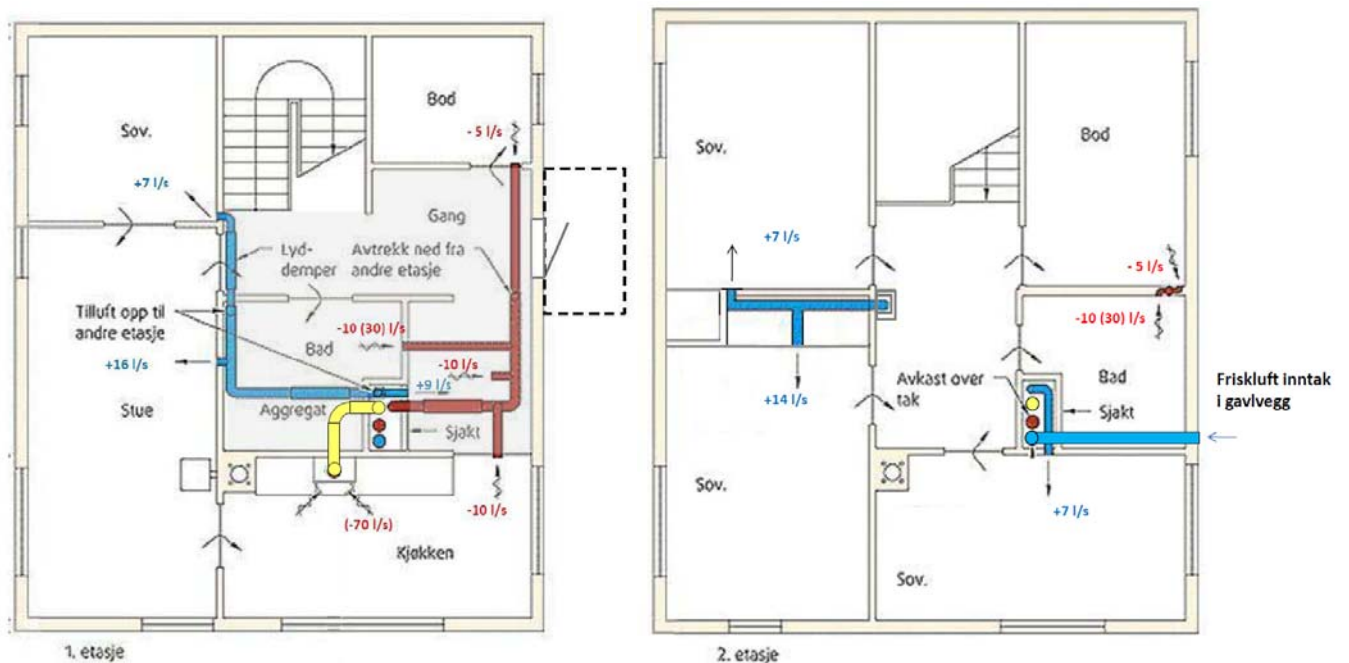
### 5.1.5 Luftinntak og avkast

Se Byggdetaljer 552.305 (leiligheter)



## 6 Eksempler

### 6.1 Eksempel 1: Enebolig på 180 m<sup>2</sup>



Figur 6.1 Planløsning i enebolig, hhv. 1. og 2. etasjer

#### Luftmengder

Eneboligen på 180 m<sup>2</sup> har tre soverom og 2 bad. Med normal romhøyde får boligen et volum på 432 m<sup>3</sup>. Tabell 6.1 viser luftmengdebehovet.

Tabell 6.1 Ventilasjonsbehov, enebolig på 180 m<sup>2</sup>

Rom	Basisventilasjon, 1,2 (m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> [l/s]	Anbefalt tilluftsmengde [l/s]	Avtreksbehov, normal [l/s]	Avtreksbehov, forsert [l/s]
Stue, (23 m <sup>2</sup> )		16 (0,7 l/s)		
Soverom (2 p)		14		
Soverom (1 p)		7+7+7		
Kjøkken (20 m <sup>2</sup> )			20	20 (70)
Bad 1.etg			10	30
Bad 2. etg			10	30
Bod 1.etg			5 (balanse)	5 (balanse)
Bod 2.etg			5 (balanse)	5 (balanse)
Gang (21 m <sup>2</sup> )		9 (balanse)	10 (balanse)	10 (balanse)
<b>Sum alle rom</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>100 (160)</b>

I dette tilfellet blir dimensjonerende behov for mekanisk normalventilasjon 60 l/s og 100 l/s ved forsert ventilasjon av våtrom. Forsering på grunn av avtrekkslette i kjøkkenet kommer i tillegg. Minimum luftmengden tilført i soverom blir 35 l/s. Den resterende luftmengden (60-35=25 l/s) kan tilføres som økt mengde innenfor de respektive rom, eller som valgt i eksempelet; tilførsel i stue og gangareal.

### **Kanaler**

For å få lavt lydnivå og energibruk til vifter, dimensjoneres kanalene med lave hastigheter. Maks kanalhastighet er 1,9 m/s ved ventilene og 3,1 m/s ved aggregatet ved normalventilasjon. For at luftmengdene skal være enkle å innjustere, bør det være forholdsvis høyt trykkfall over ventilene i forhold til kanalene. Vi har valgt 20 Pa over tilluftsventilene og 25 Pa over avtrekksventilene. Samlet trykkfall i kanalnettet på tilluftsiden (inklusive inntaksrist) er beregnet til ca 55 Pa og på avtrekksiden (inklusive takhatt) ca. 65 Pa.

### **Aggregat**

*Luftmengdene i huset gjør at vi må velge et av de litt større aggregatene på markedet. Slike aggregat er på størrelse med en vaskemaskin eller et lite kjøleskap. I dette tilfelle er det valgt aggregat med roterende varmeveksler (*

Figur 5.3) og god årsvarmevirkningsgrad (~80 %). En kammervarmegjenvinner er også svært aktuell, men den må da plasseres ved yttervegg. Aggregatet har styring av luftmengde, og kan utrustes med behovsstyring (fuktsensor på bad). Det er gode filter (klasse EU7) både for tilluft og avtrekk.

Aggregatet plasseres i teknisk kjerne, med åpning/betjeningsareal vendt mot gangareal. Det er plassert forholdsvis sentralt i bygget, slik at kanalføringen blir kort og enkel. Aggregatet kunne alternativt vært plassert i bod i 1. etasje, men føringsveiene for kanalene ville da blitt lengre og noe vanskeligere.

### **Kanalføring**

Nedsenket himling i 1. etasjens midtparti gjør det enklere å føre kanalene. Sjakt opp gjennom annen etasje ved bad gir plass til vertikale hovedføringer. Forøvrig føres kanaler i bjelkelag og lettvegger. Det er bare brukt stive (spiro) stålskanaler. Kanalene ligger alle i varm sone (ikke på kaldt loft) Det er derfor kun inntakskanalen som er isolert.

Luftinntak er plassert i fasade. Dette er en grei plassering så lenge fasaden ikke vender mot sør/vest (oppvarmet luft) og det ikke er parkeringsplass rett foran inngangen (eksos). Avkast føres over tak for å hindre kortslutning mellom inntak og avkast. Også avkast fra kjøkkenhette føres over tak og ikke gjennom varmeveksleren (pga. fettholdig luft og kort brukstid). Kanaler føres gjennom tak til felles takhatt med vertikal utblåsning for å hindre snøsmelting. Hvis komfyr er plassert på yttervegg, kan avkast fra kjøkkenhette føres ut gjennom yttervegg, da med tilbakeslagsventil.

### **Luftføring i boligen**

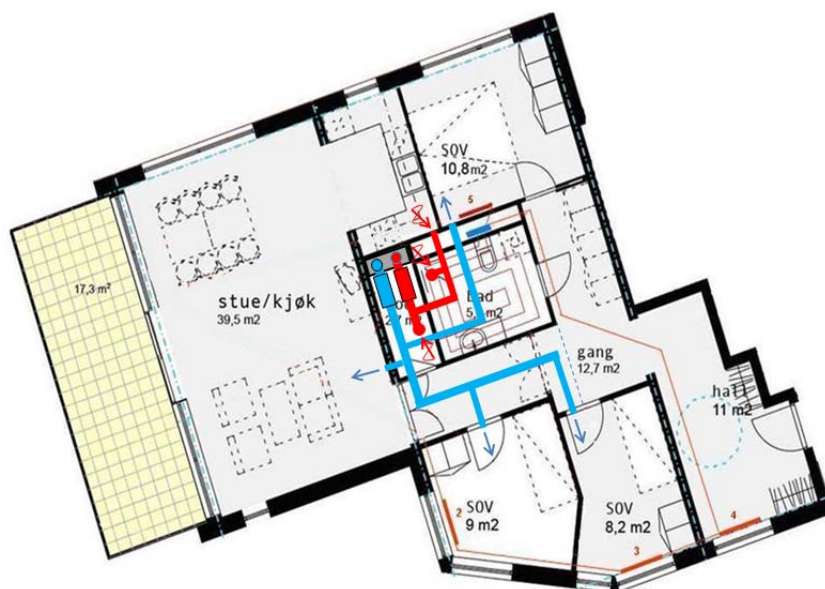
Friskluft tilføres soverom og oppholdsrom og trekkes av i kjøkken, bad og boder. For å få til dette, må det være luftoverstrømning mellom rom med tilluft og rom med avtrekk. Det kan løses på flere måter. Ofte brukes spalte over eller under dører, eller overstrømningsventiler.

### **Ventiler**

Tilluftsventiler er plassert oppe på vegg. De er av vanlig rund, innstillbar type med trykkuttak for innstilling av luftmengde. Ventiler er plassert på vegg inn mot kjerne for å forenkle kanalføring.

Avtrekksventilene er av rund, innstillbar type og også plassert oppe på vegg. Alle våtrom bør ha avtrekk så høyt oppe mot tak som mulig (der er luften mest fuktig). Bad har også bryter med timerfunksjon for forsering. Når komfyravtrekket benyttes får kjøkkenet ekstra lufttilførsel fra de omkringliggende rom, noe som bidrar til å holde undertrykk i kjøkkenet.

## 6.2 Eksempel 2: 4-roms leilighet på 100 m<sup>2</sup>



Figur 6.2 Planløsning i 4-roms leilighet

Tabell 6.2 viser luftmengdebehov i en boenhet på 100 m<sup>2</sup> med 3 soverom og et bad. Med normal romhøyde får boligen et volum på 240 m<sup>3</sup>.

Tabell 6.2 Bruksbestemt ventilasjon av leilighet på 80 m<sup>2</sup>

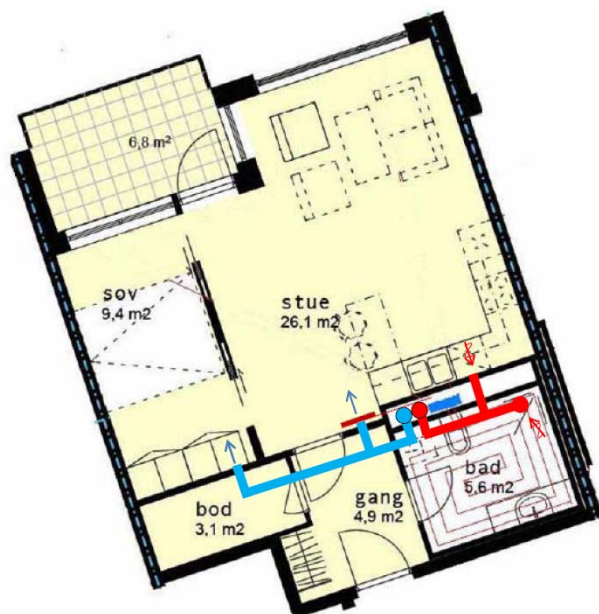
Rom	Basisventilasjon, 1,2 (m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> [ℓ/s]	Anbefalt tilluftsmenge [ℓ/s]	Avtreksbehov, normal [ℓ/s]	Avtreksbehov, forsert [ℓ/s]
Stue (39,5/2 m <sup>2</sup> )		14 (0,7 l/s)		
Soverom, 2 senger		14		
Barnerom, 1 seng		7		
Barnerom, 1 seng		7		
Kjøkken			10 (+4 balanse)	14 (+70)
Bad			10 (+10 balanse)	30
Bod (≤ 5 m <sup>2</sup> )			8 (balanse)	8
<b>Sum alle rom</b>	<b>33</b>	<b>42</b>	<b>42</b>	<b>52 (+70)</b>

I dette tilfellet blir dimensjonerende behov for mekanisk normalventilasjon 42 ℓ/s og 52 ℓ/s ved forsert ventilasjon av våtrom. Forsering på grunn av avtrekkshette kommer i tillegg (70 ℓ/s).

All luftmengde kan tilføres soverommene. Planløsning i eksempelet (dør inn til stue/kjøkken) betinger dog tilførsel i stue for å balansere avtrekk fra kjøkken.

Ventilasjonsystemet er sentral med behovsstyring (fuktstyrt ventil uten persondetektor) på bad, med trykkstyring slik at trykket i hovedkanal holdes konstant.

### 6.3 Eksempel 3: 2-roms leilighet på 50 m<sup>2</sup>



Figur 6.3 Planløsning i 2-roms leilighet

Tabell 6.2 viser luftmengdebehov i en boenhet på 50 m<sup>2</sup> med et soverom og et bad. Med normal romhøyde får boligen et volum på 120 m<sup>3</sup>.

Tabell 6.3 Bruksbestemt ventilasjon av leilighet på 50 m<sup>2</sup>

Rom	Basisventilasjon, 1,2 (m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> [ℓ/s]	Anbefalt tilluftsmengde [ℓ/s]	Avtreksbehov, normal [ℓ/s]	Avtreksbehov, forsert [ℓ/s]
Stue		10 (0,4 l/s m <sup>2</sup> )		
Soverom, 2 senger		14		
Kjøkken			10 (+4 balanse)	14 (+70)
Bad			10	30
<b>Sum alle rom</b>	<b>17</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>44 (+70)</b>

I dette tilfellet blir dimensjonerende behov for mekanisk normalventilasjon 24 ℓ/s og 44 ℓ/s ved forsert ventilasjon av våtrom. Forøvrig gjelder samme beskrivelsestekst som i forrige eksempel.

## 7 Referanser

- Andresen, I., Thomsen, K., & Wahlstrøm, Å. (2010). *Nordic Analysis of Climate Friendly Buildings, Summary Report*. Oslo: Nordisk Ministerråd.
- Bakke, J. V. (2007). Oppvarming, varmekilder og inneklime. *Allergi i praksis* (nr.4), ss. 32-37.
- Bråkende luktslukere. (2004, mars). *Forbruker-rapporten*, 46-48.
- Cufix-Werk Deutsche ALWA GmbH. (u.d.). *Wandheizung mit cufix ökonom DBP Energiespareplatte*. Hentet 2010 fra [http://www.cufix.de/HTML/wandheizung\\_oekonom\\_main.htm](http://www.cufix.de/HTML/wandheizung_oekonom_main.htm)
- Drastisk økning av skador på fränluftsvärmepumpar. (2003). *Energi & Miljø* (11).
- Feist, W. (Red.). (2004). *Protokollband Nr. 25: Temperaturdifferenzierung in der Wohnung. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser - Phase III*. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Feldesignade fettsugere. (2007). *Råd & Rön*, 07.
- Fossdal, S. (2005). *Undersøkelse av energibruken i nye boliger med vannbåren gulvvarme*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Gundersen, P. (2002). *Energifleksible, lavtemperatur varmeanlegg*. Oslo: Byggforsk.
- Gundersen, P. (2002). *Lavtemperatur i varmeanlegg: Takvarme i ny og eksisterende bebyggelse*. Oslo: Byggforsk.
- Krog, B.-R., & Gundersen, P. (2006). *Vannbåren tak- og gulvvarme - Laboratoriemålinger*. Oslo: Byggforsk.
- Mitsubishi. (u.d.). *Lossnay "Hyper Eco Core"*. Hentet fra <http://www.mitsubishielectric.ca/en/hvac/erv/benefits.html>
- NEK IEC 61591:2005. *Household range hoods - Methods for measuring performance*.
- NS 3700:2010. *Kriterier for passivhus og lavenergihus - Boligbygninger*.
- NS 8175:2008. *Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper*.
- Passivhaus Institut. (u.d.). Hentet fra [www.passiv.de](http://www.passiv.de)
- Schild, P., & Mysen, M. (2009). *Technical Note AIVC 65: Recommendations on specific fan power and fan system efficiency*. Brussels: Air Infiltration and Ventilation Centre.
- Shukuya, M. (2009, juli). Exergy concept and its application to the built environment. *Building and Environment*, 44 (No.7), ss. 1545-1550.
- Sterling, E., Arundel, A., & Sterling, T. (1985). Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings. *ASHRAE Transactions*, 91, ss. 611-622.
- Thermische Behaglichkeit im Niedrigenergiehaus: Teil 1: Winterliche Verhältnisse*. (2007). Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- Thunshelle, K. (Red.). *Boligventilasjon*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Wallin, O. (1999). Fränluftskanalers känslighet för försmutsning. *Energi & miljö* (12).
- Wigenstad, T. (Red.). (2009). *Prosjektveileder: Forenklet anlegg for vannbåren oppvarming av boliger*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Wyon, D., Fang, L., Meyer, H., Sundell, J., Weirsøe, C., Sederberg-Olsen, N., et al. Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors. *Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, CA*, (ss. 400-405).

### Henvisninger til Byggforskserien (bks.byggforsk.no)

#### Planlegging:

- 222.220 Planlegging av boliger med lavt energibehov
- 312.130 Parkeringsplasser og garasjeanlegg
- 379.310 Plassbehov og plassering av tekniske rom for ventilasjonsanlegg
- 379.320 Plassbehov for føringsveier til tekniske installasjoner

#### Byggdetaljer:

- 421.501 Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort
- 421.503 Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg
- 421.522 Bygningsmaterialer og luftkvalitet
- 472.321 Boliger med lavt energibehov. Tekniske løsninger og installasjoner
- 520.342 Gjennomføringer i brannskiller
- 552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov

- 552.303 Balansert ventilasjon i småhus
- 552.305 Balansert ventilasjon av leiligheter
- 552.308 Viftestøy og energiforbruk til vifter. Del I og II
- 552.331 Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg
- 552.335 Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg
- 552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg. Del I og II
- 552.360 Plassering av friskluftinntak og avkast for å minske forurensning

*Byggforvaltning:*

- 720.035 Måling av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden.
- 752.215 Boligventilasjon. Drift og vedlikehold
- 752.251 Rengjøring av ventilasjonsanlegg. Metoder, utstyr og prosess

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

**SINTEF Byggforsk** er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

