

Hovedkontor
 Forskningsveien 3b
 Postboks 123 Blindern
 0314 OSLO
 Telefon 22 96 55 55
 Telefaks 22 69 94 38

Avdelingskontor
 Høgskoleringen 7b
 7491 TRONDHEIM
 Telefon 73 59 33 90
 Telefaks 73 59 33 80

E-mail firmapost@byggforsk.no
 Internett www.byggforsk.no
 Foretaksnr. NO 943 813 361 MVA

Oppdragsgiver Oikos Nomos
Oppdragsgivers adresse
Oppdragsgivers referanse

Prosjektnr./arkivnr. 9995	Dato 31.03.05	Rev.dato	Antall sider 32	Antall vedlegg	Gradering Lukket	Forfatter(e) Mads Mysen Kari Thunshelle Peter G. Schild
Prosjektleder Trine D. Pettersen	Sign.	Ansvarlig linjeleder Ernst Petter Axelsen	Sign.	Kvalitetssikrer Peter G. Schild	Sign.	

Oppdragsrapport

Evaluering av alternativer til balansert ventilasjon av byleiligheter

Kort sammendrag

Som en del av prosjektet *Oikos Nomos* skal alternative ventilasjonsløsninger av leiligheter vurderes. Formålet er å avklare om det finnes realistiske alternativer til balansert ventilasjon av byleiligheter som tilfredsstiller byggeforskriftene og som gir god funksjon.

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er i teorien den beste ventilasjonsløsningen for leilighetsventilasjon med hensyn til trekk og energieffektivitet. I små (under 100 m²) leiligheter kan mekanisk avtrekksventilasjon være et tilfredsstillende alternativ, men dette avhenger av en god helhetlig løsning i forhold til tetthet, oppvarmingsbehov og brukernes forventninger.

Det finnes flere aktuelle luftinntaksløsninger. Vi anbefaler i utgangspunktet avanserte klaffeventiler eller spalteventiler utformet slik at de gir lite trekk. Slike luftinntak er testet med godt resultat ved plassering over vindu med varmekilde under.

Vi anbefaler at varmen fra avtrekksluften gjenvinnes og foredles med varmepumpe og brukes til tappevannsoppvarming. Det er viktig å velge avtrekksvarmepumpe med tilstrekkelig driftssikkerhet og tilfredsstillende levetid.

Vi kjenner ikke til gode referanseprosjekter i leilighetsbygg og anbefaler at slike løsninger testes ut først i et lite antall leiligheter.

Byggverkets adresse			Byggeår
	Metode Evaluering	Emneord Boligblokk, Ventilasjonsanlegg, Yttervegg, Inneklima, Temperatur,	Filnavn Rapport oikos nomos mars 06.doc

Utdragsvis eller forkortet gjengivelse av rapporten er ikke tillatt uten NBIs spesielle godkjenning.
 Hvis rapporten skal oversettes, forbeholder NBI seg retten til å godkjenne oversettelsen. Kostnader belastes oppdragsgiver.

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	3
2	Fremgangsmåte	3
2.1	Litteraturstudium.....	4
2.2	Kontaktinformasjon	4
3	Grunnforutsetninger.....	4
3.1	Hva sier byggeforskriftene om boligventilasjon?	4
3.2	Faktorer som påvirker mekanisk avtrekksventilasjon i leilighetsbygninger	10
3.2.1	Forhold som påvirker eksterne luftlekkasjer	10
3.2.2	Interne luftlekkasjer.....	12
3.2.3	Brukervaner og holdninger.....	13
3.2.4	Mulige konsekvenser av mangelfull lufttetthet.....	13
3.2.5	Fyring i peis	15
3.2.6	Vinduslufting.....	15
4	Resultater.....	16
4.1	Innhentede erfaringer.....	16
4.2	Hovedutfordringer med luftinntak	17
4.3	Tilluftsventiler – aktuelle produktløsninger	18
4.3.1	Enkle klaffeventiler	18
4.3.2	Spalteventiler	18
4.3.3	Avanserte klaffventiler	19
4.3.4	Ventiler med integrert oppvarming	21
4.4	Energieffektivitet.....	23
4.5	Regulering	24
4.6	Tiltak som kan sikre bedre ventilasjon av alle oppholdsrom:	25
5	Diskusjon - Alternativer til balansert ventilasjon	26
5.1	Generelt	26
5.2	Luftinntaksløsninger.....	26
5.3	Varmegjenvinningsløsninger.....	27
5.4	Kostnader	27
6	Konklusjon.....	28
7	Referanser.....	29

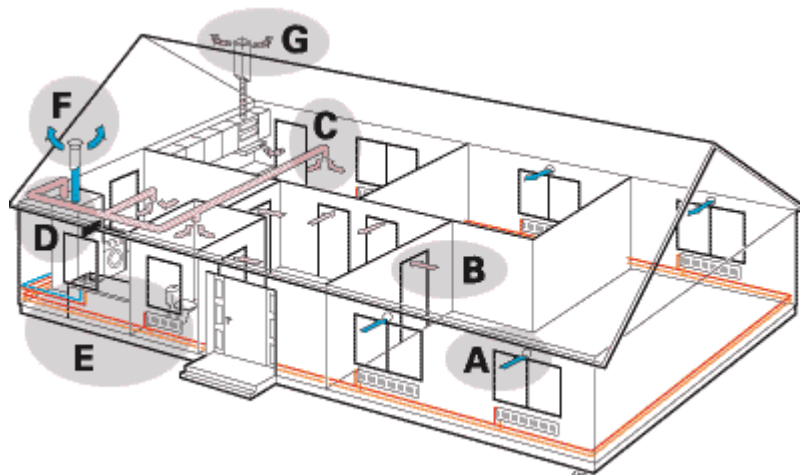
1 Bakgrunn

Som en del av prosjektet *Oikos Nomos* skal alternative ventilasjonsløsninger av leiligheter vurderes. Formålet er å avklare om det finnes realistiske alternativer til balansert ventilasjon av byleiligheter som tilfredsstiller byggeforskriftene og som gir god funksjon. Det vil bli lagt vekt på systemets mulighet til å ivareta følgende egenskaper:

- ??termisk komfort på kalde dager
- ??mulighet for filtrering
- ??energieffektivitet
- ??regulering
- ??drift og vedlikehold

De alternative løsningene vil bli sammenlignet med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Rapporten skal redegjøre for hvilke løsninger som finnes, erfaringer med slike løsninger, samt teknisk og økonomisk vurdering.

Figur 1 viser en prinsipiell løsning med mekanisk avtrekksventilasjon og friskluftinntak gjennom fasade. Boligen har også varmegjennvinning med avtrekksvarmepumpe.



Figur 1 Prinsippløsning med mekanisk avtrekksventilasjon (Kilde: NIBE AB).

- A Utløften tas direkte inn gjennom fasaden.
- B Luften transporteres fra luftinntakene til rom med avtrekk.
- C Avtrekk fra kjøkken, våtrom og WC
- D Varmen fra avtrekksluft foredles ved hjelp av varmepumpe
- E Avtrekksvarmepumpen varmer opp varmt tappevann og forsyner evt. gulvarmeanlegg/radiatoranlegg med varme
- F Avkast (lufttemperatur ned mot 2-5 °C)
- G Separat avtrekk fra kjøkken

2 Fremgangsmåte

Evalueringen baserer seg på:

- ??litteraturstudium
- ??erfaringsinnhenting fra bransjepersoner
- ??tilgjengelige løsninger (standard komponenter for salg)

2.1 Litteraturstudium

Gjennom litteraturstudiet har vi søkt etter relevant informasjon om alternative løsninger for avtrekksventilasjon og produktinfo samt litteratur leiligheter og varmegjenvinning. Det finnes svært mye informasjon om ulike løsninger i prosjektet Reshyvent – residential hybrid ventilation (delfinansiert gjennom EU 5. rammeprogram). Resultater og database i dette prosjektet er dermed en viktig kilde for informasjon.

2.2 Kontaktinformasjon

Vi har vært i kontakt med nøkkelpersoner for å innhente deres erfaringer vedrørende avtrekksventilasjon med varmegjenvinning.

Følgende personer har vært kontaktet:

Navn	Firma	Tlf.nr/e-mail	Informasjon
Anders Freyschuss	Camfil AB	anders.freyschuss@camfil.se	Filtreringeløsninger finnes. Lite volum per i dag
Ingvra Ydberg	Bransjöföreningen: Bra Ventilation	+46.87627500	Avtrekksvarmepumpe er det klart mest vanlige i villaer fordi det er en enkel løsning for utbyggere. Anbefaler balansert ventilasjon
Magnus Everit	Bransjöföreningen: Bra Ventilation	+46.87627500	Avtrekksventilasjon uten gjenvinning mest vanlig i leiligheter (ikke krav til gjenvinning når boligen er tilknyttet fjernvarme). Mange avtrekksvarmepumper har kort levetid (dårlig kvalitet) – rapport fra Folksam
Lars Thulen	System Air	+46.706800724	Avtrekksventilasjon med varmepumpe foretrekkes av utbyggere. Få klager. Reduserer energibehov til tappevann med ca 3000 kWh. Balansert er bedre pga komfort.
Frode Stenberg	Nobora AS	+47.99293487	Leverandører av spalteventil som iht NBI test gir trekk. Leveres med lav-trykksfilter. Luftmengde med slikt filter er ikke dokumentert.
Svein Kaasa	Nibe AB	+47.91601101	Norsk filial under NIBE AB. Leverer ca 400 anlegg per år. Kun eneboliger. De fleste gjennom svenske husleverandører. Leverer ikke friskluftinntak. Få klager/lite uforutsett oppfølging. Problem med kompressorhavari er løst.

3 Grunnforutsetninger

3.1 Hva sier byggeforskriftene om boligventilasjon?

Nedenfor er en oppsummering av de viktigste momentene som har betydning for ventilasjons-løsningen i boliger/leiligheter og som har hjemmel i *Plan- og bygningsloven* [PBL] ^{1\}.

Kapittelhenvisninger nedenfor er hentet fra:

?? *Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven* [TEK] ^{2\}, og

?? *Ren veiledning til teknisk forskrift* [REN] ^{3\}.

Det er kun PBL og TEK som kan være hjemmel for krav. TEK angir *funksjonskrav* til nye bygninger, men ingen *tallfestede* krav til ventilasjon. Tallfestede verdier er angitt i REN i form av anbefalte verdier knyttet til funksjonskravene. REN er departementets tolkning av forskriftene — TEK kan tolkes på andre måter og med andre resultat enn de som framkommer i REN, men da skal det foreligge en akseptabel analyse. REN brukes ikke som hjemmel for krav til utførelse eller ytelse, kun som

eksempel på hva som oppfyller lov- eller forskriftskrav, bortsett fra når de prosjekterende uttrykkelig har sagt at de legger veiledningen til grunn.

§8-2 Energibruk: *“Byggverk med installasjoner skal utføres slik at det fremmer lavt energi- og effektbehov som ikke overskrider de rammer som er satt i dette kapittel. Energibruk og effektbehov skal være slik at krav til forsvarlig innemiljø sikres”* [TEK].

§8-21 Energi og effekt: Krav til varmetaps- eller energirammen i skal tilfredsstillers. Energirammen tar utgangspunkt i varmegjenvinning med 60% årsvarmevirkningsgrad.

§8-22 Tetthet: *“Bygninger skal være så tette at effekten av varmeisoleringen ikke reduseres ved utilsiktet luftgjennomstrømning. Fukt skal ikke kunne trenge inn og redusere bygningsdelenes varmeisolerende yteevne eller forringe bygningens levetid. Bygninger skal være så tette at inneklimate ikke påvirkes negativt og slik at det ikke oppstår sjenerende trekk”* [TEK].

Anbefalt maksimum spesifikk luftlekkasje (lekkasjetall) for bygninger over 2 etasjer er 1,5 oms/h ved 50 Pa med lukket ventilasjonssystem & tilluftsventiler [REN]. Selv med dette tetthetskrav kan det oppstå uheldig høy infiltrasjon som reduserer uteluftmengden i enkelte oppholdsrom ved avtrekksventilasjon^{18/28)}. Det må derfor stilles konkrete tilleggskrav til god lufttetthet innendørs (mellom etasjer og mellom leiligheter), ved bruk av avtrekksventilasjon.

§8-3 Innemiljø: *“Bygning med installasjoner skal planlegges, prosjekteres, oppføres, vedlikeholdes og drives slik at innemiljøet oppleves tilfredsstillende. Det skal ikke oppstå helserisiko og utilfredsstillende hygieniske forhold, verken for bygningens brukere eller dens naboer, når rommene brukes som tilsiktet”* [TEK].

§8-32 Luftkvalitet:

1. Uteluftens kvalitet:

“Bygning og bygningens ventilasjonsanlegg skal plasseres og utformes med hensyn til uteluftens kvalitet. Dersom uteluften ikke er tilfredsstillende ren med hensyn til helserisiko eller risiko for tilsmussing av ventilasjonsinstallasjoner, skal den renses før den tilføres bygning” [TEK].

“I uteluft med mindre luftforurensning og hvor denne primært kommer fra biltrafikken, kan tilstrekkelige tiltak være å legge luftinntaket til den delen av bygningen som ligger lengst fra forurensningskilden. Bygging i byområder inntil sterkt trafikkert vei eller nær forurensende industri, medfører risiko for dårlig uteluftkvalitet, og vil stille økte krav til rensing av inntaksluften i ventilasjonssystemet” [REN].

“Uteluften kan være så forurensset pga. forurensningskilder utendørs (veitrafikk, forurensende industri, utslipp fra fyringsanlegg o.l.) at den må renses før den tilføres en bygning. Normalt vil dette si balansert ventilasjon ... Bolig som ligger i sterkt forurensset uteluft bør ha balansert, mekanisk ventilasjon slik at uteluften kan renses før den tilføres boligen” [REN]. Luftfilteret bør da minst være klasse F7. *“Filterene klassifiseres iht prEN 779”⁹⁾* [REN]

2. Inneluftens kvalitet:

“Luftkvaliteten i en bygning skal være tilfredsstillende. Inneluften skal ikke inneholde forurensninger i kjente skadelige konsentrasjoner med hensyn til helsefare og irritasjon” [TEK].

§8-33 Forurensninger:

4. Radon: *“Bygningsmessig utførelse skal sikre at mennesker som oppholder seg i et byggverk ikke eksponeres for radonkonsentrasjoner i inneluften som kan gi forhøyet risiko for helseskader”* [TEK].

“Årsgjennomsnittet av radonkonsentrasjon i rom bør ikke overstige 200 Bq/m³ inneluft. Konsentrasjoner over denne grensen gir grunn til enkle tiltak, så som bedret ventilasjon og/eller tettesjikt mot terrenget” [REN].

Radonutsatte boliger bør ha ventilasjonssystem som skaper minimal undertrykk.

§8-34 Ventilasjon:

1. Generelle krav:

“Bygninger skal ha ventilasjon tilpasset rommenes forurensnings- og fuktbelastning. Det skal tas hensyn til romtype, innredning og utstyr, materialer og prosesser samt belastning fra mennesker og dyr. Ventilasjonsanlegg skal utføres slik at god luftkvalitet oppnås og slik at forurensninger fra mennesker, bygningsmaterialer, prosesser og aktiviteter samt uønsket fukt, lukt og helseskadelige stoffer føres ut av byggverket. Omluft skal ikke benyttes dersom dette fører til forurensningsspredning. Luftføring skal være fra rom med høyere til rom med lavere krav til luftkvalitet. I oppholdsrom skal minst ett vindu eller en dør mot det fri kunne åpnes. I rom hvor vinduer er uønsket utfra bruken, skal det være annen tilsvarende mulighet for forsert ventilasjon” [TEK].

2. Ventilasjon i boliger:

“Bolig skal ha ventilasjon som sikrer et forsvarlig inneklima for personer i boligen. Ventilasjonen skal være tilpasset det enkelte roms funksjon” [TEK].

“For å sikre at inneluften til enhver tid er av tilfredsstillende kvalitet, bør minimum ventilasjon, tilsvarende 0,5 luftvekslinger pr. time, opprettholdes selv når rommene eller boligen ikke er i bruk” [REN].

Denne tolkning er basert hovedsakelig på behovet for fuktkontroll i boligen ^{\15\}. Byggforsk mener at ventilasjonsluftmengden (inkludert bidraget fra infiltrasjon) kan reduseres til 0,15 l/s pr m² bruksareal [0,25 oms/h] når boligen forlates lengre enn én dag, for å redusere ventilasjons varmetap uten å forringe luftkvaliteten innendørs, bl.a. fordi fuktproduksjon avtar når mennesker forlater huset i lengre perioder. Dette kan gjerne styres automatisk med en fuktsensor i boligen (behovsstyring) ^{\16\17\}. Flere forskningsmiljøer mener det samme. Grunnventilasjonen er da bare nødvendig for å forhindre fuktskader, begrense støvmidd, og ventilere bort avgassing fra inventar.

Infiltrasjon: Byggforsk mener også at man kan vurdere å ta infiltrasjon med i betraktning ved beregning av luftomsetning for boliger. For boliger med balansert ventilasjon bør ikke bidraget fra infiltrasjon regnes større enn 0,10~0,15 oms/h. (Her menes infiltrasjon gjennom lekkasjer, som er tilstede hele året, og som kan estimeres med Formel A.1 på side 38 i Ref. \11\). Periodevis vinduslufting og dørlufting kommer i tillegg til dette).

Soverom og frisklufttilførsel: Da veiledningen ble introdusert i 1997, inneholdt den en formulering under §8-34 om at *“Soverom må sikres en frisklufttilførsel på 7 l pr. sekund og person”*. Formuleringen ble fjernet i gjeldende utgave av veiledning (3. utgave, april 2003), men kravet om minst 7 l/s pr. pers. er likevel opprettholdt i §8-34 del 3 (se under). Byggforsk anbefaler fortsatt et krav på *minst 7 l/s friskluft per person i okkuperte soverom*. De kvantitative anbefalinger om luftmengder i REN, og andre byggeforskrifter i Norden, har sin opprinnelse i arbeid utført av Nordiska kommittén för byggbestämmelser (NKB) ^{\18\}. NKBs utvetydig råd er at *‘Det totala uteluftflödet räknat per person bör dock aldrig understiga 7 l/s.pers.’* (side 15 i \18\). Forurensninger varierer naturligvis mye i styrke mellom rom og over tid, og mennesker har ulik følsomhet. Det er derfor en myte at det finnes én «korrekt» luftmengde for å kontrollere innendørs forurensninger. Fortynning med en fastbestemt mengde frisk luft (f.eks. 7 l/s pr pers) er derfor bare approksimativ. Men det er likevel mulig å sette et konkret kvantitativt krav til *minimum* luftmengde ut i fra følgende forhold:

Fukt: For å hindre kondensasjon i bygningskonstruksjonen, og begrense vekstvilkår for støvmidd, må friskluftmengden i et okkupert oppholdsrom være minst 7 l/s pr person.¹⁷⁾, beregnet ut i fra fuktproduksjon fra ett menneske.

Lukt: Luftforurensninger fra mennesker og dyr (bioeffluenter), og fra innredning, må fortynnes/fjernes for ikke å skape luktubehagelig. Dersom luktavgivelsen fra ett menneske fortynnes med 7 l/s friskluft, er det 20% sannsynlighet for at personer som kommer inn i rommet blir misfornøyd med luftkvaliteten²⁰⁾. Dette er klassifisert som Luftkvalitetsklasse B i prNS 3563¹⁰⁾, og gjelder for dimensjonering av ventilasjon i nybygg. Dette kriteriet er gjenspeilet i kravene i REN §8-34 del 3 (se under). Merk at prosent misfornøyde gjelder blant personer som går inn i rommet (dvs. første inntrykk), ikke personer som har oppholdt seg i rommet over en lengre periode, siden de 'akklimatiseres' til en viss grad til luktnivået i rommet, og dermed har en noe høyere terskel for å reagere på lukt.

Ildsted: *“Er oppholdsrom utstyrt med ildsted, må det sørges for at rommet får tilført nok luft til å gi tilfredsstillende trekkforhold i ildstedet. I bygninger med mekanisk avtrekk vil det normalt ikke være tilfredsstillende trekkforhold på grunn av undertrykk i rommet. Peis og annet åpent ildsted, som har behov for rikelig røykavtrekk, krever tilførsel av 150-300 m³ luft pr. time (42-84 l/s), som tilsvarer samlede utluftåpninger på minst 300 cm² godt fordelt i rommet eller som friskluftkanal direkte til ildstedet”* [REN].

Avtrekk: *“Kjøkken, sanitærrom og våtrom skal ha avtrekk”* [TEK]. *“Kjøkken, vaskerom, bad/WC og separat bad og separat WC må ha avtrekk som angitt i §8-34 Tabell 1, Avtrekksvolum i bolig”* [REN]. Tabellen er gjengitt under:

§8-34 Tabell 1, Veiledningen til teknisk forskrift 1997, Avtrekksvolum i bolig

	Minimum [l/s]	Forsert [l/s]	
Kjøkken	10	30	Forsert fra avtrekkskette
Bad	15	30	Ingen krav til forsert avtrekk hvis vinduer kan åpnes
Toalett	10	-	-
Vaskerom & tørkerom	10	20	Avtrekk til det fri fra tørketrommel uten kondensator. Ingen krav hvis åpen forbindelse til kjøkken. Ingen krav til forsert avtrekk hvis vinduer kan åpnes.

“Tilluftsåpninger plasseres på soverom og oppholdsrom. Den beste drivkraften oppnås når tilluftskanalene plasseres ved gulvet. Dette er særlig viktig i boliger med to eller flere etasjer. Tilluftsåpninger må da plasseres i tilknytning til varmeovn/radiator. Dersom det ikke er mulig, anbefales det at tilluftsåpninger plasseres over vindu. Plassering og utforming av tilluftsåpninger bør vurderes også med hensyn til møbleringen, slik at det ikke oppstår opplevelse av trekk og kulderas” [REN]

3. Ventilasjon i yrkesbygning og publikumsbygning: (påvirker frisklufttilførsel i boliger)

Nødvendig frisklufttilførsel for å oppnå tilfredsstillende luftkvalitet kan dimensjoneres ut i fra summen av personbelastning + materialbelastning:

Personbelastning: *“Friskluft-tilførsel på grunn av forurensninger fra personer, må for personer med lett aktivitet være minst 7 l/s person”* [REN]. I forbindelse med dette, oppgir REN dimensjoneringstall (20 m²/person) for dimensjonering av totalluftmengde i boliger i § 8-34 Tabell 2.

Materialbelastning: *“Dersom det benyttes godt utprøvde og dokumentert lavemitterende materialer som ikke avgir kjente irriterende eller helseskadelige stoffer, kan utluftmengden reduseres til 0,7 l/s pr. m² brutto gulvareal”* [REN]

Den ovennevnte fremgangsmåten er benyttet nå i alle Nordiske land, men ikke for boliger. Idéen er fremmet av bl.a. NKB¹⁸⁾. Komitéen skilte derimot ikke mellom boliger og andre bygningstyper. NKB nevner at forskjellige typer luktkilder er ikke alltid additive, og foreslo derfor en addisjonsfaktor på 0.5 for personbelastningen, dvs. 3.5 l/s pr person. Det samme er gjort i et nytt standard for dimensjonering

av friskluftmengde i boliger, som er ble tatt i bruk i USA i 2003 (ASHRAE standard 62.2 ¹⁹). Standarden forutsetter at boligens totale luftomsetning er 3.5 l/s pr person pluss 1.6 l/s pr m² for forurensninger fra materialer.

§8-36 Termisk inneklima:

“Det termiske inneklimaet i rom for varig opphold skal gi tilfredsstillende helseforhold og komfortopplevelse ved forutsatt bruk” [TEK].

“Tilførsel av ren uteluft til det enkelte rom må besørges på en slik måte at det ikke oppstår sjenerende trekk” [REN].

Anbefalte krav til termisk komfort finnes i prNS 3563 ¹⁰ og CEN CR 1752 ¹⁵. Tabellen under gir krav for klasse B som gjelder for nye boliger. Alle kriteriene skal være oppfylt samtidig.

	Termisk komfort i kroppen som helhet	Trekk	Lokalt ubehag på deler av kroppen			
			vertikal temperatur-forskjell (hode/føtter)	gulv-temperatur	Strålingstemperatursymmetri	
					Kald vegg	Varm vegg
Krav	-0.5<PMV<+0.5	DR < 20%	< 3°C	19 – 29°C	<10°C	<23°C
(% misfornøyd)	(< 10%)	(< 20%)	(< 5%)	(< 10%)		<14°C
Referanse i byggdetaljblad 421.501	Fig.232	Fig.253	Fig.211	Fig.27		<5°C
						Fig.223

§8-42 Beskyttelse mot støy:

5. Støy fra tekniske installasjoner: *“Bygningens tekniske installasjoner skal være slik, eller avskjermet slik, at de ikke gir lydnivå som kan føre til vesentlig støyplage for brukere i bygningen/bruksområdet eller på utearealer avsatt for rekreasjon eller lek eller utenfor rom for varig opphold i annen bygning” [TEK].*

Grenseverdier for samlet lydtrykknivå ($L_{p,max}$) fra tekniske installasjoner (ventilasjons anlegg, heiser, varmeanlegg, kjøleanlegg, sanitæranlegg o.l.) er gitt i NS-8175 ¹⁴. Disse gjelder for lydtrykknivå i samme bygning eller tilliggende bygning fra kilder som drift av innendørs garasjer og felles parkeringsanlegg som ikke kan styres av den berørte personen. Hvis en kan styre ventilasjonsanlegget i sin egen bolig, må verdiene anses som anbefalte grenseverdier og ikke forskriftskrav.

Type rom	PBL / NS 8175 (L_{max})	NBIs anbefaling (L_{max})
Soverom	32 dB(A), 47 dB(C)	27 dB(A)
Kjøkken	37 dB(A)	33 dB(A), max 45 dB(A) ved forsering
Oppholdsrom	32 dB(A), 47 dB(C)	27 dB(A)
Bad/ WC	37 dB(A)	33 dB(A)
Uteplass og utenfor vindu om natten	35 dB(A)	-

6. Utendørs støy: *“Bygning skal plasseres, utformes, utføres og/eller avskjermes slik at lydnivået fra utendørs eksisterende lydkilder eller lydkilde som er forutsatt ved regulering av det aktuelle området, ikke hindrer tilfredsstillende lydforhold for arbeid, søvn, hvile og rekreasjon i bygningen og for rekreasjon og lek på utearealer som er avsett for dette” [TEK]*

§8-6 Drift, vedlikehold og renhold: *“Byggverk skal være prosjektert og oppført med tilrettelegging for effektiv drift og enkelt og effektivt vedlikehold og renhold. Det skal finnes skriftlig instruks om hvordan igangsetting, drift og vedlikehold av byggverk og tekniske anlegg skal utføres slik at gjeldende forskriftskrav tilfredsstilles. I de tilfeller der slik instruks er åpenbart overflødig, kan kravet frafalles” [TEK].*

§ 8-61 Drift: *“Byggverkets tekniske anlegg skal innrettes og tilrettelegges for bruk slik at det ikke oppstår spredning eller akkumulering av forurensninger innenfor byggverket. Ventilasjonsanlegget skal være slik innrettet at forurensning av tilluftssystemet er forhindret i de perioder byggverket ikke brukes på tilsiktet måte” [TEK].*

§ 8-62 Vedlikehold: *“Byggverket og dets tekniske installasjoner skal vedlikeholdes slik at det i sin økonomiske levetid vil oppfylle de krav som stilles i denne forskriften” [TEK].*

§ 8-63 Rengjørbarhet og rengjøring: *“Bygning skal utformes slik at det er mulig å foreta rengjøring av overflater som er i kontakt med tilluften eller romluften. Overflater og overflatematerialer velges slik at smuss ikke skjules eller akkumuleres unødvendig. Overflater som forventes å bli kraftig tilsmusset skal være lett tilgjengelige og være enkle å rengjøre. Installasjoner for tilluft og fraluft skal i sin helhet lett kunne rengjøres” [TEK].*

§9-3 Ventilasjonsanlegg: *“Ventilasjonsanlegg skal bidra til å sikre godt innemiljø ved å fjerne forurensset luft og tilføre uteluft med god kvalitet til de enkelte rom. Anlegget skal være lett å regulere og vedlikeholde.” [TEK].*

§9-31 Utførelse av ventilasjonsanlegg:

1. Kanaler m.v.:

“Kanaler og aggregater skal være tilstrekkelig tette, og festeanordninger skal være dimensjonert slik at de tåler forutsatte belastninger. Kanaler skal utformes slik at forurensninger og smuss avsettes eller samles i minst mulig utstrekning” [TEK].

Det anbefales kanaler av varmforsinket stål (spirokanaler). Disse er fordelaktig både med hensyn til luftkvalitet, rengjøring, bestandighet, vedlikehold, og brann.

“For tilpasning mellom ventil og stålkanal kan det benyttes fleksible kanaler av aluminium, begrenset til små avstander og innenfor en og samme branncelle. Utover dette bør fleksible kanaler ikke benyttes ... Fleksible aluminiumskanaler o.l. bør ikke benyttes for avtrekk, da slike kanaler ikke kan rengjøres på tilfredsstillende måte med vanlig rengjøringsutstyr” [REN].

“Kanalsystemet kan utføres etter pr EN 12097”¹²⁾ [REN].

3. Boliger: *“Kjøkken, sanitærrom og våtrom skal ha avtrekk. Avtrekk fra kjøkken og sanitærrom skal føres i egne kanaler. Ved mekanisk avtrekk og egen vifte for hver leilighet kan det benyttes felles kanal for kjøkken og sanitærrom” [TEK].*

4. Småhus: *“Ved mekanisk avtrekk kan det benyttes felles kanal for boligen” [TEK].*

§9-32 Tilrettelegging for drift av ventilasjonsanlegg: *“Ventilasjonsanlegget skal innrettes slik at det ikke oppstår spredning eller akkumulering av forurensning innenfor byggverket eller skjer forurensning av tilluftssystemet i de perioder byggverket ikke brukes på tilsiktet måte. Installasjoner for både tilluft og avtrekksluft skal i sin helhet lett kunne rengjøres. Tilretteleggingen av ventilasjonsanlegg skal være slik at drift, rengjøring og vedlikehold ikke påvirker luftens kvalitet negativt. Anleggets ytelser skal lett kunne måles også i driftsfasen” [TEK].*

3.2 Faktorer som påvirker mekanisk avtrekksventilasjon i leilighetsbygninger

3.2.1 Forhold som påvirker eksterne luftlekkasjer

3.2.1.1 Bygningens lekkasjetall

Ved mekanisk avtrekksventilasjon får boligen et større undertrykk enn ved naturlig- eller balansert ventilasjon. Noe av luften er sugd inn gjennom lekkasjer; derfor har bygningens lekkasjetall stor innvirkning på ventilasjonssløsningen. Veggventiler alene utgjør et lekkasjetall på ca 1 oms/t (luftomsetninger/time ved 50 Pa). Derfor kan en forskriftsmessig bygning som har lufttetthet på 1,5 oms/t (målt med stengte ventiler), ha et effektivt samlet lekkasjetall på $1+1,5 = 2,5$ oms/t. Mesteparten av tilluften strømmer derfor inn gjennom lekkasjer i konstruksjonen, ikke ventilene.

Termisk oppdriftskrefter gjør at mesteparten av tilluften kommer inn i nedre halvdel av bygningen — rom i øvre etasjer kan være underventilert i kald vær. Oppdriftskreftene gjør også at luft lekker ut (eksfiltrasjon) gjennom øverste del av bygningskonstruksjonen.

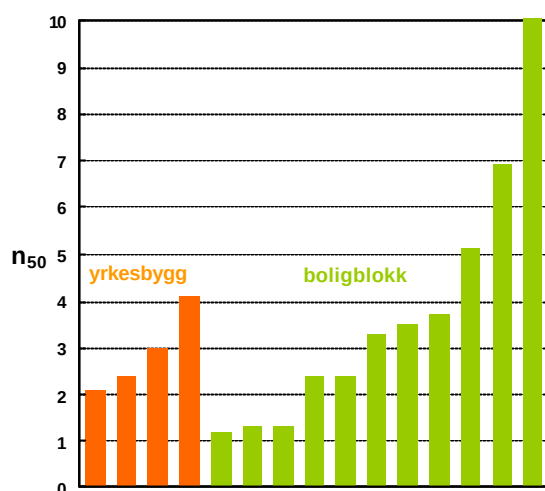
For tradisjonelt utført mekanisk avtrekksventilasjon kan frisklufttilførselen til soverom i øvre etasjer om natten være mangelfull mesteparten av året dersom vinduslufting ikke benyttes på de enkelte soverom. Dette gjelder selv med en meget tett bygningskropp (luftlekkasjetall 1,0 oms/h), en forskriftsmessig avtrekksluftmengde på 0,5 oms/t, og fornuftig struping av ventiler i nedre etasjer.

3.2.1.2 Nyere erfaringsdata fra leilighetsbygninger

Det er ikke utført statistisk holdbar kartlegging av tilstanden i bygningsmassen i Norge med hensyn til lufttetthet siden dette ble utført av Byggforsk (Brunsell & Uvsløkk) i 1980.

Det er foretatt spesielt få tetthetsmålinger av yrkesbygg. Det betyr ikke at luftlekkasjer ikke er et problem i denne bygningskategorien. I svært mange av disse oppdragene finner man det formålstjenlig å benytte ventilasjonsanlegget for bare å få frem et tilstrekkelig undertrykk for så å benytte andre målemetoder til å lokalisere og vurdere trekk (bl.a. termografering).

Byggforsk har de siste årene utført en rekke enkeltmålinger av lufttetthet til ulike typer bygninger. Utgangspunktet for de fleste målingene var en eller annen form for brukerklage på bygningen. Disse dataene er derfor ikke representative for hele bygningsmassen, men de gir oss en indikasjon på nivået for luftlekkasjetallet for nyere bygninger. De fleste målingene er utført på nye bygninger, eller bygninger der tetthetskrav fra 1987-forskriftene eller senere gjelder. Målinger fra de siste 4 år er presentert i Figur 2. Figuren inkluderer ikke alle målte lekkasjetall fra instituttets side i tidsperioden. Det fremgår at ingen av de målte større byggene oppfylte dagens forskriftskrav på 1.5 oms/t ved 50 Pa.

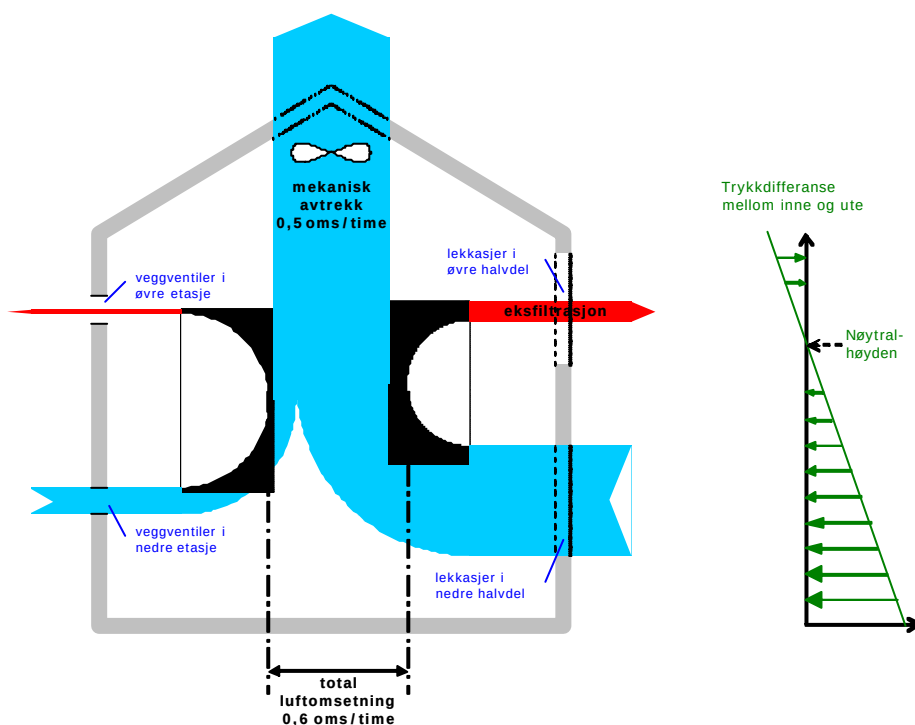


Figur 2 Lekkasjetall målt de siste fire år i Norge, sortert etter kategori i grupper (fra venstre):
 - yrkesbygg med tetthetskrav 1,5 oms/h
 - boliger i blokk og lignende med tetthetskrav 1,5 oms/h

3.2.1.3 Bygningshøyde og antall etasjer

Luftlekkasjer, og resulterende ventilasjon, øker med økende antall etasjer. Dette skyldes i første rekke at skorsteinseffekten (trykkforskjellene pga. termiske oppdriftkrefter) øker med bygningshøyde, men også fordi vindhastigheten ute øker med avstanden over bakken.

Leilighetsbygninger må derfor ha løsninger for å redusere intern lekkasje mellom etasjer. Dette gjør at hver leilighet kan i beste fall betraktes som en én-etasjers bolig (Figur 4-høyre). Mekanisk avtrekksventilasjon er derfor mindre problematisk i disse boliger enn i fleretasjers småhus (som er åpen mellom etasjene, Figur 3).



Figur 3 Skjematisk illustrasjon av lufttransport i en to-etasjers bolig med mekanisk avtrekksventilasjon. Nedre og øvre halvdel er ikke det samme som nedre og øvre etasje; øvre halvdel inkluderer taket og noe av øvre etasje.

3.2.1.4 Bygningens lokalisering

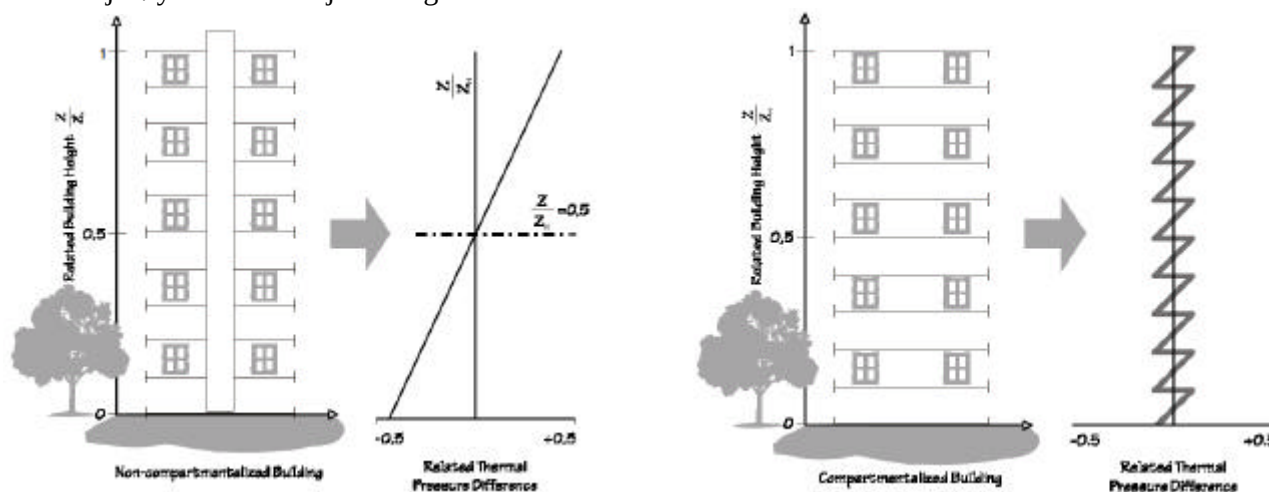
Bygninger i byområder vil ofte være skjermet av omkringliggende bygg. Unntaket er bygg nær åpne områder slik som mot sjø eller åpent vann.

3.2.2 Interne luftlekkasjer

Intern luftlekkasje er like vesentlig som lekkasjer i ytterkonstruksjoner. Det må stilles krav til bl.a. tetthetsklasse for inngangsdørene fra korridor til leilighetene (NS-EN 12207, ideelt klasse 4).

3.2.2.1 Strømningsmotstand mot skorsteinseffekten

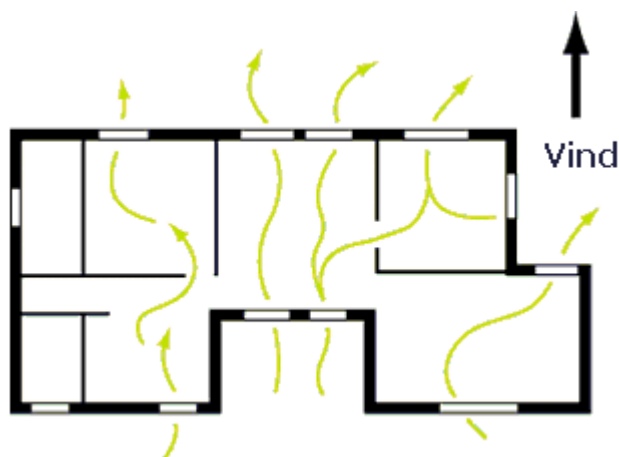
Skorsteinseffekten kan reduseres ved å redusere vertikale koblinger mellom etasjer (f.eks. lufttette sjakter for trapper, heiser, installasjoner, tette gjennomføringer gjennom gulv for rør, kabler osv). Ved ideell atskillelse mellom etasjer, vil skorsteinseffekten kunne reduseres fra bygningens totale høyde til bare etasjehøyde i hver etasje. Se Figur 4.



Figur 4 Illustrasjon av trykkforskjell over fasaden ved forskjellige høyder over bakken, på en vindstille vintersdag. **Venstre:** en åpen sjakt kobler alle etasjer sammen. **Høyre:** Ingen åpen forbindelse mellom etasjene.

3.2.2.2 Strømningsmotstand mot vindkrefter

Vind forårsaker uønsket kryssventilering mellom rom i samme etasje (Figur 5). Dette reduseres ved å forsikre at planløsningen deler opp etasjen (dvs. korridor, dører) for å skille motsatte fasader mest mulig. Store rom som er åpen til fasader på motsatte sider, bør ha åpenbare vinduer bare på én av fasadene. Det er derfor fornuftig med en planløsning som skiller fasadene ved at leiligheter har en, og maks to, fasaderetninger.



Figur 5 Vind forårsaker kryssventilering til motsatte fasade og til sideveggene.

3.2.2.3 Heisoperasjon

Heissjakter forårsaker store infiltrasjonsvarmetap. For eksempel, overdimensjonerte ventiler for trykkutjevning på toppen av noen sjakter forårsaker vesentlige luftlekkasjer. Dette problem skjer hvis heismaskineriet på toppen av sjaktet er kjølt med vifte, og all heisene kan kjøre i samme retning samtidig. Sjaktene kan kobles sammen med åpninger for trykkutjevning internt mellom sjaktene.

3.2.3 Brukervaner og holdninger

Brukere kan ha stor innflytelse på ventilasjonen og på størrelsen av det unødvendige varmetapet p.g.a. lufting gjennom vinduer og dører. Konsekvensene av påvirkningsmuligheten er størst i tette bygninger med mulighet for individuell styring av ventilasjonssystemet i hver leilighet.

I svært mange tilfeller luftes det gjennom vinduer og dører fordi innelufta oppleves som "lite frisk" og det betyr svært ofte at innetemperaturen er for høy. I den kalde årstiden er luftingen effektiv for å bøte på dette, men resultatet er svært ofte et unødig stort energitap.

3.2.4 Mulige konsekvenser av mangelfull lufttetthet

Mulige konsekvenser av mangelfull lufttetthet kan både være økt varmetap med påfølgende økt energibruk, redusert komfort, økt fare for fuktproblemer, spredning av lukt, støv og branngasser, og redusert lydisolasjon.

3.2.4.1 Varmetap og komfort

Ved økt luftveksling utover behovet for friskluft blir energitapet og energibruken til oppvarming større enn nødvendig.

Utette ytterkonstruksjoner i en bolig reduserer lønnsomheten i et balansert ventilasjonsanlegg, både fordi mer luft passerer utenom varmegjenvinneren og fordi den totale ventilasjonsluftmengden øker. Praksisen med å 10% ubalanse mellom tilluftsmengde og avtrekksluftmengde, som et tiltak for å redusere risiko for byggskader, er diskutabel:

?? reduksjonen i eksfiltrasjon er neglisjerbar ved 10% ubalanse.

?? infiltrasjon øker.

?? varmegjenvinnerens energibesparelse reduseres.

?? ved ventilering med svak undertrykk må en påse at bygningen ikke er i områder med risiko for radoninntrengning.

Byggforsk råder derfor at ventilasjonsanlegg generelt kjøres balansert.

Utettheter kan også påvirke energibruken ved at eventuell trekkubehag søkes kompensert ved heving av innetemperaturen (som fører til at energibruk til oppvarming øker). En vil også kunne få redusert temperaturkomforten ved at enkelte bygningsdeler nedkjøles slik at de føles kalde ved fysisk berøring (eksempelvis golv) eller økt trekkfølelse (eksempelvis tak).

Isolasjonsmaterialer baserer seg stort sett på at luft som står stille isolerer godt. Samtidig er de fleste isolasjonsmaterialer svært åpne for luftgjennomgang. Økt luftstrøm inne i isolasjonsmaterialene reduserer dermed isolasjonsvirkningen. Det er derfor viktig at isolasjonslagene er beskyttet mot utilsiktet gjennomblåsing av luft.

3.2.4.2 Fuktskader

Utettheter med påfølgende luftlekkasjer kan føre til skadelig oppfukting av bygningskonstruksjonene. Dette kan skje på to måter - ved slagregn og ved kondensering.

Ved vind og slagregn mot en fasade vil det bli et trykkfall utenfra og inn. Regnvann vil da kunne presses inn med luftstrømmen gjennom eventuelle utettheter f.eks. ved vinduene. I værharde kyststrøk kan dette være et problem. God utvendig tetting er derfor en forutsetning for å unngå slik fuktpåkjenning inne i konstruksjonene.

Ved oppfukting p.g.a. kondensering kommer fuktigheten innenfra. Det skjer ved at varm, fuktig inneluft lekker ut gjennom utettheter i vegger og tak hvor luften avkjøles slik at den må avgi det meste av sin fuktighet som kondens eller rim. Under kuldeperioder kan en få betydelig fuktoppsamling i form av slik rim som ved væromslag smelter og renner ned i isolasjonen og eventuelt videre ned gjennom himlingen. Dette kan godt gå bra for konstruksjoner som har evne til å ta opp og lagre fuktighet, og som er luftet slik at materialene kan tørke ut igjen i varmere perioder.

NBI får imidlertid en rekke henvendelser i forbindelse med fuktproblemer i tak i løpet av en vinter, og i en stor del av tilfellene skyldes problemene dårlig lufttetting. Problemene kan bli spesielt store i utette bygning med balansert eller naturlig ventilasjon, og ved høy luftfuktighet. God lufttetthet er dermed en forutsetning for å unngå slike fuktpåkjenninger. Denne oppfuktingen er størst i tak fordi man der har størst innvendig overtrykk p.g.a. oppdriftskreftene.

Innvendig damptetting har som primær oppgave å redusere dampdiffusjon utover i konstruksjonen. I praksis har ofte denne tettingen en viktig oppgave som del av lufttettheten til en konstruksjon også. Den andel fuktighet som kan fraktes utover i en konstruksjon gjennom luftstrøm (lekkasjer) er betydelig høyere enn den fuktmengden som kan fraktes utover gjennom dampdiffusjon.

3.2.4.3 Støv

Støv, forurensning og pollen vil kunne komme inn i konstruksjonen eller inneluften gjennom utettheter. Dette kan oppleves som et estetisk problem, men ikke minst være et problem for astmatikere som kan reagere på selv små forurensningskonsentrasjoner.

3.2.4.4 Støy

For å oppnå god lydisolasjon mot støykilder fra utvendige og innvendige støykilder, er det viktig med god tetthet i skillekonstruksjonen. I spesielt lydutsatte områder, anbefales det i tillegg til vanlige tettemetoder også brukes fugemasse i alle overganger vegg/golv, vegg/vegg og vegg/himling for å sikre god nok lydisolasjon.

3.2.4.5 Lukt

Luktspredning, spesielt mellom ulike boenheter i bygninger, er en defekt som kan medføre store ulemper. Tobakksrøyk og matlagning er de vanligste grunnene til klager. God lufttetthet mellom boenhetene og kontroll med trykkforholdene er viktige forhold.

3.2.4.6 Branngasser

På samme måte som for støv, lukt og støy, kan farlige branngasser spres inn i tiliggende rom til der eventuelle branngasser oppstår. En brann kan derfor spres over større arealer enn hva det ville ha vært dersom skillekonstruksjonene var tette.

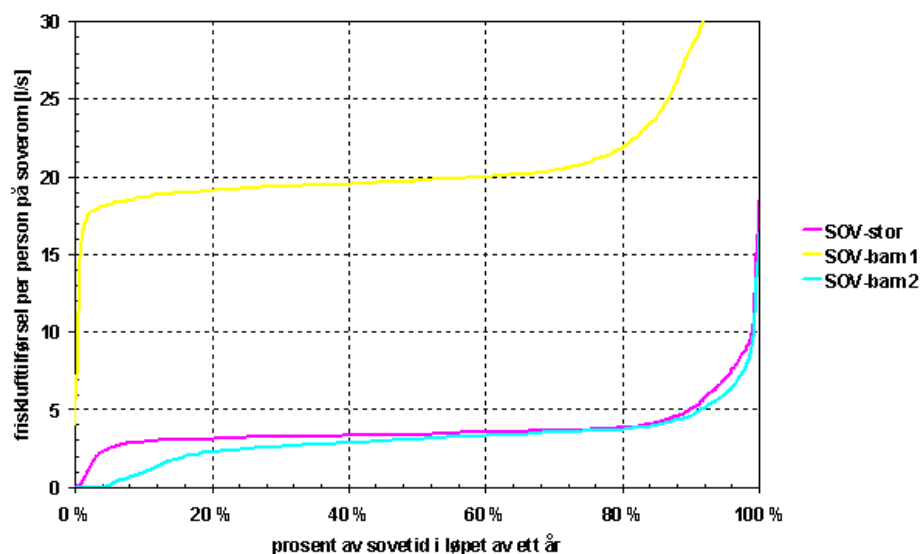
3.2.5 Fyring i peis

Problemer kan oppstå med fyring i en eventuell peis pga. undertrykk og resulterende nedslag i skorstein. Problemstillingen er beskrevet nærmere i byggdetaljblad 552.135 Ildstedsregler for ovner og peiser (kfr også ¹⁸⁾). Undertrykket øker ved tettere bygg og økende avtrekksluftmengde. Problemet kan løses med tilførsel av friskluft direkte til ildstedet eller en skorsteinsvifte.

3.2.6 Vinduslufting

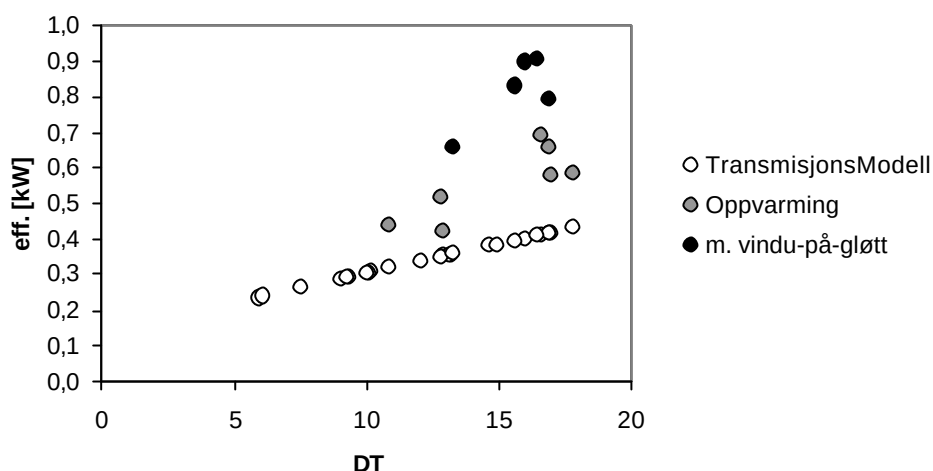
Dårlig luftkvalitet i boliger utbedres av beboerne ved å åpne vinduer eller dører. Vinduslufting er også benyttet for å redusere romtemperatur. Mennesker i Nord Europa foretrekker lave temperaturer på soverom, ned mot 15°C.

Dersom man benytter vinduslufting i ett soverom vil trykkforholdene i hele boligen påvirkes (bygningsskallet blir 'punktert'). Figur 6 illustrerer dette — lufttilførselen øker betraktelig i rommet med åpent vindu, samtidig som den synker i rommene med lukkede vinduer. Teoretisk sett bør alle soverom benytte vinduslufting samtidig, og dørene til soverom bør holdes lukket (overstrømning blokkeres). Dette vil sikre tilstrekkelig lufting, men forårsake mer trekk og større infiltrasjonsvarmetap.



Figur 6 Varighetskurve over friskluftmengde i alle soverom i en 1½ etasjers bolig med lekkasjetall 2, avtrekksluftmengde 0.5 oms/t, og et vindu 15% åpent i b arnerom 1. Alle soverom er i 2.etasje.

Vinduslufting øker boligens fyringsutgifter. Figur 7 illustrerer dette med målinger av boligens effektforbruk med og uten vinduslufting i en bolig, sammenlignet med beregnet transmisjonstap (varmetapsrammeberegning) ¹⁶⁾. Det er derfor korrekt å ta hensyn til nødvendig vinduslufting (for å opprettholde minst 7 l/s per pers.) i energirammeberegning av nye boliger.



Figur 7. Registrert midlere effekt til oppvarming i soverom i høst-døgn med henholdsvis lite ventilasjon (modell, hvite punkter), med mekanisk grunnventilasjon (målt, grå punkter) og tilleggsventilasjon ved vindu på gløtt (målt, svarte punkter).¹⁶⁾

4 Resultater

4.1 Innhentede erfaringer

Resultater av litteraturstudiet er gjengitt i oversikt i vedlegg. Det er ikke foretatt noen systematisk evaluering av forskjellige ventilasjonsløsninger i boliger i Norge. Engdahl [2002] har gjennomgått ventilasjonsløsningene i en rekke svenske leiligheter. 50% av 1410 anlegg med balansert ventilasjon med varmegjenvinning som ble bedømt tilfredsstillende. 31% av 1736 anlegg med mekanisk avtrekksventilasjon hadde tilfredsstillende ventilasjon. Lav luftmengde var hovedårsaken (60-65%) til utilfredsstillende ventilasjon. Andre årsaker var skitne kanaler, defekte vifter, manglende/ødelagte komponenter, skitne filtre og manglende vedlikeholdsinstruks.

En annen svensk undersøkelse^{/24/} viser at luftmengden kan reduseres kraftig i avtrekkskanaler på grunn av nedsmussing av kanalveggene. Slik nedsmussing øker trykkfallet som igjen resulterer i redusert luftmengde i anlegg uten automatisk turtallsregulering av viftene, eller økt energibruk til viftedrift for å opprettholde luftmengden i anlegg med turtallsregulering. Den svenske undersøkelsen viser at kanalnett med liten kanaldiameter og høye lufthastigheter i utgangspunkt har størst risiko for betydelig redusert luftmengde eller økt energibruk.



Figur 8 . Avtrekksventil etter 3 års normal bruk (Kilde: Frode Stenberg)

Engdahl fremhever at utfordringen med avtrekksventilasjon er hvordan man får tilført luften. Trekk, støy fra gaten og uren tilluft blir fremhevet som problemområder. Dette gjør ofte at beboerne stenger tilluftsventilene. I tillegg blir ikke avtrekksventiler og kanaler rensset, noe som medføre reduksjon av luftmengdene (Figur 8). Viftene er ofte plassert lite tilgjengelig for inspeksjon og vedlikehold.

I balanserte anlegg er ofte filterene lekk, våte, skitne eller de mangler. Anleggene er kompliserte. Dette gir ofte beboerne problemer med å forstå og dermed opprettholde tiltenkt funksjon. Manglende kontroll med tilluftstemperaturen blir nevnt som et problem.

Den store utfordringen er å tilpasse systemet kompleksitet til beboernes kompetanse og dermed evne til å opprettholde anleggets funksjon. Dette gjør at anlegg for leilighetsventilasjon må være spesielt robuste og enkle å operere og vedlikeholde

4.2 Hovedutfordringer med luftinntak

Ved mekanisk avtrekksventilasjon blir luftinntaket plassert i fasaden. Tilfredsstillende trekkforhold i kaldt vær er den største utfordringen ved mekanisk avtrekksventilasjon med desentralisert luftinntak i fasade. Direkte inntak av kald uteluft vil kunne gi plagsom gulvtrekk. Dette kan delvis løses ved gunstig plassering av luftinntaket. På et soverom som brukes primært til nattesøvn vil gulvtrekk f.eks. være et lite problem for de fleste. Bruker man derimot soverom til kontor, eller lekerom for barn, kan det bli plagsom trekk fra luftinntaket på kalde dager. Man kan med andre ord redusere ulempen ved ukomfortable trekksoner ved en tilpasset planløsning, men man kan ikke sikre seg mot bruksendringer. I praksis vil varierende grad av termisk komfort gi bruksbegrensninger. Den negative verdien av dette er vanskelig å anslå. Avansert behovsstyring basert på fuktighet og CO₂/tilstedeværelse, kan redusere omfanget av trekkproblemer noe. En fuktighetskontrollert reduksjon av luftmengden på kalde dager

kan være en interessant løsning som bla demper trekkproblematikken. En slik løsning tilfredsstiller ikke dagens byggeforskrift som krever minimum luftskifte på 0,5 oms/time uansett værforhold og bruk.

Behovet for filtrering er en annen hovedutfordring med desentralisert luftinntak i fasade. Behovet for filtrering avhenger av kvaliteten på uteluft og brukerens behov, begge deler varierer over året. Uteluftkvaliteten er ofte dårligst i kaldt vær når forurensning fra trafikk og vedfyring er stor i kombinasjon med stabile luftmasser som gir stor oppkonsentrering av svevestøv og gasser. I slike perioder kan enkelte astmatikere ha behov for filtrering av uteluft. Pollenallergikere kan ha behov for filtrering av uteluft i pollensesongen for de aktuelle pollenbærende plantene. Dette avhenger av type pollenallergi, værtype og nærhet til de tilhørende planter. Det kan også være aktuelt å filtrere for å redusere støvbelastningen og dermed renholdsbehovet innendørs.

Direkte transmisjon av utendørs støy kan bli et problem med luftinntak i fasade. Løsninger for å ivareta dette finnes, men vil også i praksis bidra til økt trykkfall. Konsekvensen av dette er behov for større fasade-åpninger for å opprettholde samme luftmengde. I praksis kan dette bli vanskelig.

Luftinntaksløsninger varierer fra helt enkle spalteventiler og klaffventiler, til mer kompliserte ventiler med integrert filtrering og oppvarming.

4.3 Tilluftsventiler – aktuelle produktløsninger

4.3.1 Enkle klaffventiler

Klaffventiler for tilluft er den enkleste luftinntaksløsningen. Løsningen gir mye trekk ved lave utetemperaturer og er derfor uegnet for grunnventilasjon av oppholdssrom med normale krav til termisk komfort. Løsningen kan benyttes som tilleggsventilasjon for brukerstyrt forsering av luftmengden, f.eks i varme perioder, eller ved oppfyring av ildsted.

4.3.2 Spalteventiler

Spalteventiler (Figur 9) har vært den vanligste luftinntaksløsningen gjennom mange ti-år. Løsningen er en integrert del av vinduskonstruksjonen og plassert i overkant av vindusbladet. Den lange spalten gjør at friskluftstrømmen fordeler seg over et stort område på en måte som gir god innblanding av romluft og dermed lite trekk (løsningen gir fortsatt trekkproblemer på kalde dager). En slik løsning er basert på at luften kan bevege seg fra luftinntakene og inn til avtrekkspunkter som normalt er plassert i forbindelse med våtrom/kjøkken. En slik løsning forutsetter utetteheter i forbindelse med innerveggene for å fungere. Dette løses vanligvis ved dørene, f.eks. ved en spalt under dørene. Et ønske om å støyskjerme enkelte rom i leiligheten er derfor vanskelig å forene med en slik løsning.

På kalde dager vil en stor andel av friskluften falle ned langs vindusflaten og blande seg med kaldrasstrømmen. Dette bidrar normalt til redusert relativ fuktighet i luftstrømmen som faller ned langs vinduet og dermed redusert kondensdannelse, eller hurtigere opptørring av dannet kondens. I praksis betyr dette mindre kondensslitasje og dermed lengre levetid på vinduene eller lengre vedlikeholdsintervall.



Figur 9. Spalteventil

Hovedproblemene med spalteventiler er:

?? gir soner med ukomfortable termiske forhold

?? uforutsigbar luftmengde gjennom spalten (avhenger av: spalteåpning, vindforskjeller, høydeforskjeller (termisk skapte trykkforskjeller), klimaskallets tetthet forøvrig)

?? uren luft/filtrering

?? støy

Problemer med soner med ubehagelig trekk er ikke mulig å eliminere fullt ut. Problemet reduseres ved å benytte så mye spaltelengde som praktisk mulig. Det er også mulig å utforme ventilen for å oppnå maksimal innblanding av romluft for å unngå trekk. NBI har testet spalteventiler som gir lite trekk ved $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^{/23/}.



Figur 10. Spalteventil med filter

Det er videre mulig å filtrere tilluften (Figur 10). Dette øker imidlertid trykkfallet over ventilen, noe som i praksis øker den andelen av friskluften som kommer inn med "utilsiktet" infiltrasjon. Dette stiller store krav til luft-tettheten til klimaskallet forøvrig for å sikre forsvarlig luftmengde inn i rommet. En løsning med spalteventiler plassert i forskjellige høyder, f.eks ved en to etasjers leilighet, vil gjøre det svært vanskelig å få akseptabel kontroll på luftmengdene inn i rommene i den øverste etasjen.

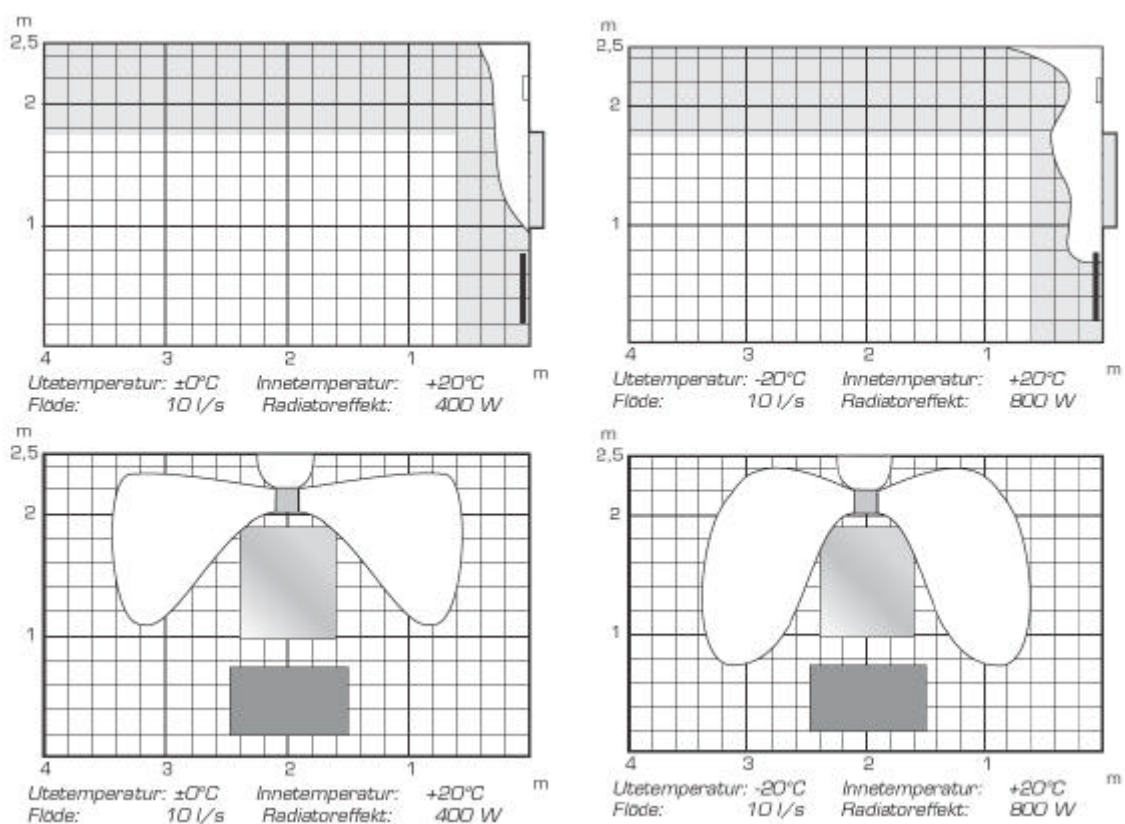
I følge leverandør av denne type løsning er det meget enkelt å skifte filter og kostnaden pr filter er overkommelig (20-40 kr/stk). Filteret er elektrisk ladet og har et relativt sett lavt trykkfall. Dokumentasjon på luftmengder i forhold til undertrykk for spalte-ventil med filter er mangelfull. Basert på foreliggende dokumentasjon vil en slik spalteventil med lengde på 600 mm (høyde 11 mm) gi en luftmengde på ca 4,5 l/s ved et undertrykk på 10 Pa når filteret er nytt, men dette er basert på en teoretisk betraktning og må dokumenteres.

4.3.3 Avanserte klaffventiler

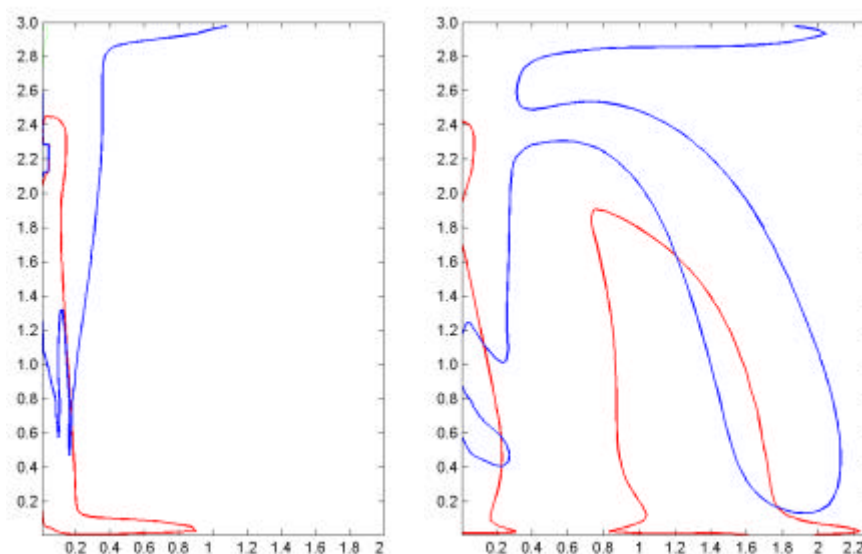
Det finnes "avanserte klaffventiler". Disse er spesielt designet for å gi lite trekk og har integrert filter. Slike ventiler testet med godt resultat i forhold til luftmengde og trekk (figur 11 – 14).



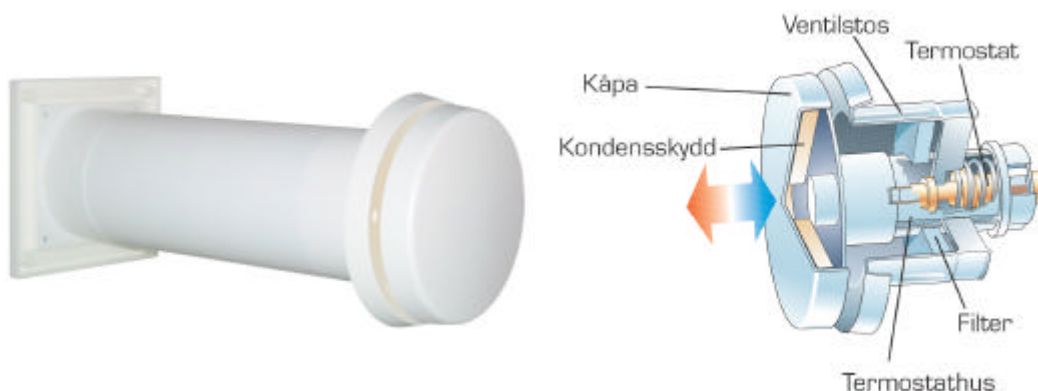
Figur 11 Fresh 90-dB. Yttervegsventil med gunstig strømningsmønster som reduserer trekkrisiko (klarer opp til 8 l/s ved -20°C uten trekk). Integrert filter (flere filtervalg) og lydreduksjon, og kondensbeskyttelse. Kan innjusteres med minimum-åpning slik at den ikke kan stenges helt. Luftkapasitet 9 l/s ved 10 Pa.



Figur 12 Fresh 90-dB. Illustrasjon av trekksoner (hvit) ved hhv. -10°C (venstre) og -20°C (høyre) utetemperatur, forutsatt radiator under vinduet. Øverste figurer er vertikal snitt rett vinklet til yttervegg; nederste figurer er vertikal snitt plan med yttervegg. [Kilde: produsentens egen produktblad]



Figur 13 Fresh 90 lignende uteluftsventil plassert over vindu. Illustrasjon av trekksoner (20% risiko for at personer er misfornøyd) ved 7,5 l/s uteluft ved -10°C utetemperatur, for hhv. gulvvarme (blå), eller 150W radiator under ventilen (rød). Kilde AIVC ^[27]. Dette er litt mindre smigrende enn produsentens egen dokumentasjon (Figur 12), men AIVC rapporten viser likevel at dette er en av de beste type uteluftsventiler mht. trekk. Venstre figur er vertikal snitt rett vinkel til yttervegg; høyre figur er vertikal snitt plan med yttervegg.



Figur 14 Fresh 100 termo dB. Yttervegsventil med Integrert filter (flere filtervalg), lydreduksjon, kondensbeskyttelse, og termostatisk regulering av ventilåpningen (mindre åpning jo kaldere utetemperatur). Denne ventilen egner seg for leiligheter i nedre halvdel av bygningen, fordi den kompenserer for effekten av økt infiltrasjon på kalde dager.

4.3.4 Ventiler med integrert oppvarming

Det er utviklet flere ventiler for plassering i fasade med integrert oppvarming og ev. filtrering. Figur 15 viser en enkel variant som ikke har oppvarming, men er tenkt plassert i bakkant av en oppvarmingskilde ved fasaden (panelovn/radiator). Ventilen er utstyrt med små luftdyser som skal fordele uteluften over varmekildens overflate. Alle dysene er vridbare. Uteluften skal da forvarmes av varmekilden før den går ut i rommet.

Ventilen er utstyrt med EU3 filter og skal dempe lyden fra omgivelsene godt. All utskiftning av filter og annet vedlikehold skjer fra innsiden i leiligheten. Luftmengden er oppgitt til ca 8 l/s ved 10 Pa undertrykk. Ventilen er ytterligere beskrevet på <http://www.exhausto.no/>.



Figur 15 Ytterveggsv ventil for montasje bak varmekilde. Dysene stilles manuelt for å få riktig fordeling over varmekildens overflate.

Figur 16 viser en tilluftventil utviklet som del av RESHYVENT-prosjektet (WP8 Specifications and terms of reference kap 7.1.2.3). Tilluftsventilene er tenkt plassert i stue og soverom under vinduene. Ventilen kan utstyres med tilluftskonvektor som kan varme opp tilluften til 18°C. Inntakskanal har z-form for lyd-demping og PI-kontrollert oppvarming. Det oppgis at den kan leveres med enkelt filter uten at dette er nærmere spesifisert. Det finnes også en variant uten oppvarming. Denne er tenkt levert i soverom som antas ha lavere krav til termisk komfort. Pris for ventilen er oppgitt til 3.500,- pr stk levert til entreprenør.



Figur 16 Tilluftsv ventil med lyddemping og mulighet for integrert oppvarming fra RESHYVENT-prosjektet (betegnes Comfort 35 og selges av IKM A/S www.ikm.as).

Figur 17 viser en ventil ment for montasje i yttervegg. Ventilen er utstyrt med vannbåren varme og filter. Per i dag kun grovfilter (G2). Friskluftmengden reguleres med motorstyrte spjeld, dvs at luftmengden kan reduseres etter behov. Det er også mulig å installere en aksialvifte. Oppgitt luftmengden varierer mellom 26 til 140 l/s ved 10 Pa undertrykk avhengig av størrelse. Nærsonen er oppgitt til å være <1,2 meter.

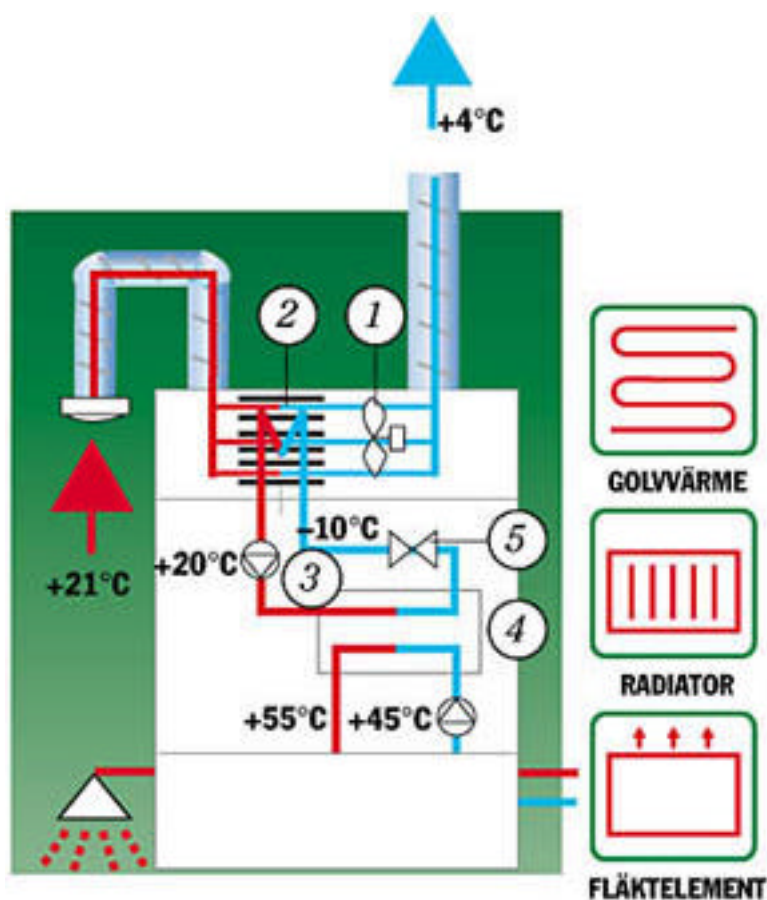


Figur 17 Navent tiluftsventil med integrert varme-element og filtrering.

Oppgitt pris fra leverandør er 5.800,- for den minste ventilen. Produktet er ytterligere beskrevet på: <http://www.airmaster.dk/>.

4.4 Energieffektivitet

Varmen i avtrekksluften kan gjenvinnes ved hjelp av en varmepumpe og brukes til tappevannsoppvarming og/eller romoppvarming. Figur 18 viser en prinsipløsning med avtrekksvarmepumpe. Avtrekksviften (1) trekker den brukte luften gjennom varmepumpen fordamper (2). Temperaturen på kuldemediet øker over kompressoren (3) slik at varme kan avgis til varmeanlegg eller varmt tappevann i kondensatoren (4). Kuldemedietrykket reduseres over ekspansjonsventilen (5).



Figur 18 Prinsipløsning med avtrekksvarmepumpe (Kilde: IVT Industrier AB).

Avtrekksvarmepumper er lite brukt i Norge. I Sverige er dette den klart vanligste løsningen i småhus (i svenske leiligheter er det i praksis ikke krav til varmegjenvinning fra avtrekksluft så lenge leilighetene er tilkoblet et fjernvarmenett, Kilde: Magnus Everit – Bra ventilasjon). Det finnes en rekke produkter og systemløsninger på det svenske markedet (se www.nibe.se/www.nibe-villavarme.no eller www.ivt.se). Løsningene leveres i skap (ca 60x60 cm²) som inneholder varmepumpe og varmtvannbereder. De enkleste løsningene leverer kun varme til tappevannsoppvarming. Besparelsen er oppgitt til å være ca 3.000 kWh per boenhet. Katalogpris for en slik løsning er ca 19.000 SEK inkl. mva. Det finnes mer avanserte løsninger som kan hente jordvarme/bergvarme i tillegg til avtrekksluft og levere varme til radiatorer/gulv-varme. Disse er egnet for større eneboliger, eller fellesanlegg som dekker flere leiligheter. Det finnes også løsninger med balansert ventilasjon og avtrekksvarmepumpe.

Det er viktig å merke seg at 63% av nyere (2-5 år) avtrekksvarmepumper hadde alvorlige driftsproblemer i 2002, ofte i form av kompressorhavari ^{126/}. Dette skyldes blant annet bruk av propan som kuldemedie istedet for R22. I følge leverandør (NIBE AB) er dette problemet nå løst med mindre justeringer av kompressoren.

4.5 Regulering

Regulering av et avtrekksventilasjonssystem skjer normalt via vifte i kjøkkenhette.

Det er benyttes gjerne avtrekksvifter med tre hastigheter som reguleres manuelt, eller med manuell turtallsregulering (tyristorstyring). Avtrekk fra bad reguleres som regel med samme vifte, gjerne med et spjeld slik at man kan skifte mellom økt ventilasjon på kjøkken eller økt ventilasjon på bad for eksempel ved dusjing. Ved varmegjenvinning fra avtrekksluft bør det benyttes separat avtrekk fra komfyr (kjøkkenhetteavtrekk) som går utenom gjenvinner på grunn av fettholdig smuss i avtrekket.

Reguleringen av tilluften skjer ved manuell regulering (åpning/stenging) av tilluftsventiler i fasaden.

Ved mekanisk avtrekksventilasjon kan det være hensiktsmessig å benytte turtallsregulert vifte i forhold til trykkfall. Dette vil gi en kompensasjon i form av økt vifteturtall ved økende trykkfall på grunn av nedsmussing av anlegget.

Effekten av brukerstyrt forsering av ventilasjon (f.eks. vinduslufting) er større ved mekanisk avtrekksventilasjon, enn ved balansert ventilasjon, på grunn av undertrykket i boligen.

Videreutviklingen av boligventilasjon ser ut til å gå i retning av mer automatisk behovsstyring. Det er mulig å styre luftmengden i forhold til behov ved forskjellige bruksindikatorer som fuktighet, temperatur, CO₂ eller tilstedeværelse. Slik avansert regulering er grundig behandlet i Reshyvent prosjektet. Et utdrag av dette er gjengitt under, men slik avansert styring er fortsatt på utprøvningsstadiet.

CO₂-styring gir riktig luftmengde i forhold til antall personer som er tilstede i boligen.

CO₂ styring av tilluftsventiler er forsøkt i Reshyventprosjektets IC2. Her styrer en CO₂-føler plassert på veggens åpningen av en forstørret spalteventil over vinduet samt en hjelpevifte. Dette er bare en prototype, men forsøk viser at løsningen gir CO₂-verdier i inneluften under 1200ppm.

CO₂ styring er også utprøvd i forsøksboliger i Norge i samme prosjekt, men da for balansert ventilasjon. CO₂-sensorer er forholdsvis dyre (størrelsesorden 4.000,- for utgaven brukt i Norge) Prisen vil sannsynligvis reduseres hvis etterspørsel og produksjonsvolum stiger. Slik behovsstyring kan dermed bli mer aktuell i fremtiden.

Bruk av fuktsensorer viser seg erfaringsmessig (Reshyvent) å være best egnet for av/på styring av forsering av luftmengde ved svært høye fuktnivå, f.eks ved dusjing. Bruk av fuktstyring i forhold til personbelastning viser seg teknisk krevende da man trenger korrigering for endring i utendørs fuktnivå, samt at det er treghet i fuktlagring i bygningskroppen. Det finnes per i dag løsninger som har

fuktstyring på avtrekksventilasjon for dusj, for eksempel Exhaustos avtrekksventil BX (www.exhausto.no)

IR-sensorer benyttes indirekte til behovsstyring ved å registrere bevegelse i rommet som indikator på personbelastning. Ved bruk av IR-sensor er det viktig at den ikke "ser" termostattyrtte varmekilder (f.eks. panelovn/radiator), eller at lys ikke plasseres slik at de blander store deler av synsfeltet. Dette vil ødelegge for ønsket funksjon.

Gjennom Reshyventprosjektet er det gjort forsøk med systemregulering med bruk av tilluftsventilen Comfort 35 i fig.16 fra IKM. Det er benyttet LON basert system med BEMS, koblet med tilluftsventil, radiatorer og avtrekksvifte slik at avgitt varme reguleres mot tilluftsmengde. I tillegg er det innstillinger for normalventilasjon, natt-posisjon og "ingen-hjemme" posisjon.

4.6 Tiltak som kan sikre bedre ventilasjon av alle oppholdsrom:

Bedre lufttetthet: Dette tiltaket er veldig effektiv. Byggforsks siste anbefalinger om konstruksjonsløsninger for nye småhus gjør det praktisk og kostnadsbesparende å oppnå en lufttetthet på 1 oms/t. Byggforsk har nylig målt 0,84 oms/h med kun utvendig vindsperre i en uferdig Mersterhus bolig bygget etter Byggforsks siste anbefalinger. Byggmesteren rapporterte at løsningen er arbeidsbesparende.

I Mesterhusbolighen ble lekkasjetallet målt med kun utvendig vindsperre (Isola Soft i vegg og Tyvek i tak). Alle gjennomføringer gjennom klimaskjermen var montert (ventilasjonskanaler, e-rør, vannrør), med unntak for pipe som skal monteres senere (type Universo fra Optiroc med integrert frisklufttilførsel). Huset er i to fulle etasjer og plate på mark. BRA for hver etasje er 106 m². Totalt volum er 533 m³. Huset har kaldt, uventilert loft (W-takstol og sakse-takstol). Vindsperren (Tyvek) er trukket rundt hele taket, og taksperrene er avsluttet i vegglivet slik at det oppnås et kontinuerlig tettesjikt rundt raftet. Rundt vinduer og dører er det skummet, samt at vindsperren (Isola Soft) er klemte mot vindus- og dørkarmen med kledningsbordet/vindusomrammingen.

Øke avtrekksluftmengden: Dette tiltaket er veldig effektiv, men skaper større undettrykk som kan skape problemer med trekk i friskluftsventiler og skorstein. Dessuten øker fyringsutgiftene.

Bruk av selvregulerende friskluftventiler: F.eks. termostatiske ventiler i første etasje. Det finnes også motoriserte friskluftventiler med elektronikk som sikrer konstant friskluftmengde uansett trykkforhold (ned til 1 Pa trykkforskjell)¹²¹ men disse er fortsatt kostbare.

Plassering av friskluftventiler nær gulv i 2.etasje. Dette er foreslått i REN §8-34.

Plasser avtrekkskanaler på soverom i 2.etg: Dette sikrer tilfredsstillende luftomsetning i disse soverom. Dette medfører en høyere installasjonskostnad for ventilasjonssystemet. Dette tiltaket innebærer en økning av total avtrekksluftmengde i boligen fordi avtrekksluftmengden fra våtrom/kjøkken må overholde anbefalingene i REN. Soveromsdøren bør da ikke ha overstrømningsventil. Tiltaket innebærer også strengere krav til lyddemping i kanalsystemet, for å unngå problematisk ventilasjonsstøy på soverom.

5 Diskusjon - Alternativer til balansert ventilasjon

5.1 Generelt

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er i teorien det systemet som er best egnet til å ivareta krav til luftmengder, termisk komfort og energieffektivitet. Praktisk erfaring med leilighetsventilasjon viser likevel at slike systemer kan få en utilfredsstillende totalfunksjon på grunn av forhold som ^{/25/}:

- ??overføring av lukt fra avkast til inntak
- ??uønsket temperaturstigning av tilluft på varme dager
- ??manglende vedlikehold

Hovedutfordringene ved mekanisk avtrekksventilasjon er å få til tilfredsstillende varmegjenvinning og tilstrekkelige luftmengder i forhold til behovet og ikke ubehagelig trekk. Det er særlig problematisk å få tilstrekkelige luftmengder inn gjennom soverom.

Forutsetningene for å få til funksjonell avtrekksventilasjon som tilfredsstiller forskriften øker som følge av:

- ??**lite infiltrasjon** fordi dette øker mulighetene til å styre luftmengdene i henhold til behov (jo tettere, jo bedre)
- ??**lite trykkforskjeller skapt av temperatur- og vindforskjeller** fordi dette øker mulighetene til å styre luftmengdene i henhold til behov (en etasje best)
- ??**lite behov for tilleggsoppvarming utover internlaster** fordi det reduserer den nyttbare andelen av varmegjenvinningen ved balansert ventilasjon (lite fasadeareal i forhold til grunnflate/internlaster evt. svært god isolasjon av fasaden er best)

Oppsummert betyr dette at mekanisk avtrekksventilasjon er best egnet i relativt små leiligheter beliggende på et plan med lite infiltrasjon og lavt oppvarmingsbehov utover interne varmelaster. Balansert ventilasjon med varmegjenvinning i en leilighet på 100 m² vil redusere oppvarmingsbehovet med ca 3000 kWh (Beregnet med NBIs ENØK-kalkulator:

<http://www.byggforsk.no/default.aspx?innholdsID=50&spraak=no>). Dette tilsvarer omtrent forventet reduksjon av energibehovet til tappevannsoppvarming med avtrekksvarmepumpe (se kap 4.4). Krav om energieffektivitet og varmegjenvinning (§8-2) bør derfor kunne tilfredsstilles med avtrekksvarmepumpe som leverer varme til varmt forbruksvann i leiligheter opp til 100 m². I leiligheter med et betydelig oppvarmingsbehov (større leiligheter/hjørneleiligheter/leiligheter med minimumsisolasjon) er det mer hensiktsmessig å benytte balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Alternativt kan man vurdere mer omfattende varmesystemer hvor avtrekksvarmepumpen også leverer varme til boligoppvarming i tillegg til varmt forbruksvann.

Krav til luftmengder (§8-34) og termisk inneklima (§8-36) må ivaretas med tilstrekkelige store luftinntak som er gunstig utformet, evt. med integrert tilluftoppvarming. Antatte utetemperaturer og beboernes påvirkningsmulighet er andre forhold som det er viktig å vurdere for å få en god helhetlig løsning.

Vi kjenner ikke til gode referanseprosjekter med mekanisk avtrekksventilasjon. Angitte løsninger må derfor prøves ut i noen utvalgte leiligheter for å få tilfredsstillende erfaringsgrunnlag før de brukes i stor skala.

5.2 Luftinntaksløsninger

Som luftinntak kan man benytte spalteventiler designet for å gi lite trekk, eller avanserte klaffventiler (Figur 11 og Figur 14). Det må være mulig å sette inn filter i spalteventilen, samt skifte denne på en enkel måte. Ventilene bør først og fremst plasseres i soverom.

Basert på dagens dokumentasjon er den mest lovende løsningen en avansert klaffventil (type Fresh 90-dB) plassert over vindu.

Spalteventil kan være et alternativ. Nobora AS leverer en lovende spalteventil med filterinnsats. Ventilen er ikke testet med filter. Basert på en teoretisk betraktning bør denne ha en spaltelengde på minimum 600 mm per person (ev. to ventiler a 300 mm). Trykkfall over spalteventilen vil påvirkes i driftstiden (blant annet vil utvendig rist tilsmusses over tid). Vi anbefaler derfor en spaltelengde på minimum 800 mm i praksis for å få tilfredsstillende sikkerhet for tilstrekkelig luftmengde over tid. Løsningen vil kunne gi noe trekk på kalde dager.

Tilluftsventil med integrert oppvarming et annet alternativ. Airmaster as leverer en lovende ventil med filterinnsats. Filteret er grovt og har da en usikker effekt på svevestøv og mindre pollenkorn.

Denne løsningen skal eliminere problemer med trekk/termisk komfort på kalde dager. Ulempen er at dagens løsninger må tilknyttes vannbåren varme, samt at de er svært kostbare. Kostnaden vil fort overstige tilsvarende kostnad med balansert ventilasjon hvis man et slikt luftinntak i hvert soverom i tillegg til stue.

En mulig løsning er å benytte spalteventiler i soverom og tilluftsventil med integrert oppvarming i stue. Det er da viktig at brukerne stenger av spjeldet på stueventilen om natten for å lede luften igjennom soverommene. Løsningen er basert på at man kan stille andre krav til termisk komfort i soverom, noe som ikke alltid er tilfelle (soverommet brukes til lekerom/kontor).

5.3 Varmegjenvinningsløsninger

I leiligheter med stort oppvarmingsbehov bør man velge balansert ventilasjon med effektiv varmegjenvinning. Mange leiligheter har i praksis lavt transmisjonsvarmetap og dermed et lite oppvarmingsbehov. Dette skyldes god isolasjon eller et relativt lite fasadeareal i forhold til grunnflate (og dermed interne laster). I slike leiligheter bør man kunne vurdere å begrense gjenvinning fra avtrekksluft til tappevannsoppvarming.

5.4 Kostnader

Balansert ventilasjonsanlegg koster mellom 15-28.000 kr/boenhet, men avtrekksanlegg uten varmegjenvinning koster 6-10.000,- per boenhet. Prisforhold mellom balansert ventilasjon og avtrekksventilasjon uten gjenvinning er ca 2,5^{/25/}. En løsning med avtrekksvarmepumpe vil gi omtrent samme kostnad som balansert ventilasjon, men varmtvannsberederen er da inkludert i ventilasjonsanlegget.

6 Konklusjon

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning er i teorien den beste ventilasjonsløsningen for boliger med hensyn til trekk og energieffektivitet. I små leiligheter (opp til 100 m²) med et relativt lite behov for romoppvarming kan mekanisk avtrekksventilasjon og luftinntak i fasaden med mulighet for filtrering, være et alternativ. Det finnes flere aktuelle luftinntaksløsninger. Vi anbefaler at man tester ut spalteventiler eller avanserte klaffeventiler som gir lite trekk i et lite antall leiligheter før man foretar endelig valg av luftinntaksløsning. Slike luftinntak bør plasseres over vindu. Vi anbefaler videre varmegjenvinning fra avtrekksluften til tappevannsoppvarming ved hjelp av varmepumpe. Det er viktig å velge avtrekksvarmepumpe med tilstrekkelig driftssikkerhet og tilfredsstillende levetid.

God totalfunksjon for en slik løsning er også avhengig av:

- ?Åt beboer aksepterer noe trekk på kalde dager fra luftinntaksventilen
- ?God fasadetetthet (liten infiltrasjon)
- ?God tetthet mellom leilighetene (etasjeskillere og vegger)
- ?God tetthet mellom leilighet og felles korridor/trappeoppgang.

Vi kjenner ikke til gode referanseprosjekter og anbefaler at slike løsninger testes ut i et lite antall leiligheter med systematisk erfaringsinnhenting før man ev. benytter løsningen i stor skala.

Oslo, 31.03.05
for Norges byggforskningsinstitutt

Mads Mysen

Kari Thunshelle

Peter G. Schild

7 Referanser

- \1\ *Plan- og bygningsloven. (<http://www.be.no/>)* Miljøverndepartementet, ved lov av 14. juni 1985 nr. 77. Sist endret ved lov av 16. april 1999 nr. 18.
- \2\ *Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven (Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk). (<http://www.be.no/>)* Kommunal- og regionaldepartementet, og Miljøverndepartementet, ved lov av 22. januar 1997 nr. 33
- \3\ *Ren veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven. (<http://www.be.no/>)* Statens bygningstekniske etat, 2.utgave, april 1999
- \4\ Standard NS 8175. *Lydforhold i bygninger : Lydklasser for ulike bygninger.* 1996
- \5\ CEN Technical Report CR 1752. *Design criteria for the indoor environment.* 1997
- \6\ Trine Dyrstad Pettersen, Jørn T. Brunsell, Peter G. Schild, Lars Myhre, Tormod Aurlen. *Infiltrasjon og lufttetthet til bygninger – Statusrapport.* Byggforsk, prosjekt O-9986, 2003-10-23. Oppdragsrapport for Statens byggetekniske etat.
- \7\ Jørn T Brunsell. *Luftskifte i norske boliger.* Byggforsk, prosjekt O-3660, 1992-12-16. Oppdragsrapport for Statens byggetekniske etat.
- \8\ Peter G. Schild. *Mekanisk avtrekk kontra balansert ventilasjon av nordiske boliger: Konsekvensene av tetthet, trykkforhold og de nye byggeforskriftene.* Byggforsk, prosjekt O-9384, 1999-03-01. Oppdragsrapport for Flexit AS.
- \9\ NS-EN 779. *Partikkelfiltre for vanlig ventilasjon - Bestemmelse av filtreringsevnen / Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance.* Utgave 1, 2003
- \10\ prNS 3563. *Ventilasjon i bygninger - Dimensjoneringsmetoder for inneklima / Ventilation for buildings - Design methods for indoor climate.* Utgave 1, 2002
- \11\ Peter G. Schild. *Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning.* Byggforsk prosjektrapport 341-2003. ISBN 82-536-0783-0
- \12\ prEN 12097. *Ventilation for buildings. Ductwork. Requirements for ductwork components to facilitate maintenance of ductwork systems.* Først publisert i 1997, men under revisjon frem til august 2004.
- \13\ Nordtest Method NT VVS 091 *Ventilation: Vents for direct supply of outdoor air: Capacity rating* (1992-03)
- \14\ Nordtest Method NT VVS 092 *Ventilation: Vents for direct supply of outdoor air: Air flow pattern and draught criterion* ()
- \15\ Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppanen O, Wouters P. *Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN).* Indoor Air 2002; Vol.12(2), pp 113-28
- \16\ Nielsen, Jan Bach; I. Ambrose. *A New Ventilation Strategy for Humidity Control in Dwellings – A Demonstration Project.* Proceedings of 16th AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre. Palm Springs, USA. 1995.
- \17\ Bergsøe, N.C. *On ventilation needs – towards demand controlled ventilation in dwellings.* Proceedings of 21st AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre. Netherlands, 26-29 Sept. 2000.
- \18\ *Inomhusklimat – Luftkvalitet* NKB-skrift nr. 61. Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB. Helsingfors. 1991.

- \19\ ASHRAE Standard 62.2-2003, “*Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings*”. USA : American Society for Heating, Ventilation, and Air-Conditioning Engineers
- \20\ Fanger, P.O. *Introduction of the olf and the decipol units to quantify air quality pollution perceived by humans indoors and outdoors*. Energy and Buildings, 1998, Vol. 2, p 16.
- \21\ Schild, PG. (red.). *State-of-the-art of residential hybrid ventilation*. RESHYVENT report, 2004. www.reshyvent.com
- \22\ Thunshelle, K. (red.). *Boligventilasjon*. Byggforsk prosjektrapport 113-2002.
- \23\ Hestad, T. *Trykkfall og strømningsbilde for spalteventil for uteluftstilførsel*. Byggforsk oppdragsrapport O-9889 ver. 2, 2001. (<http://www.nobora.no/images/nbi.pdf>)
- \24\ Fränluftkanalers känslighet för försmutsning. *Energi & Miljø*, 12/99
- \25\ Mysen, M.; Thunhelle, K. *Balansert ventilasjon i leiligheter – erfaringsinnhenting*, Byggforsk oppdragsrapport O-18034. 2004
- \26\ Drastisk økning av skador på fränluftsvärmepumpar. *Energi & Miljø*, 11/03
- \27\ Viktor Dorer, Andreas Pfeiffer, Andreas Weber. AIVC Technical Note 59: *Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings*. (www.aivc.org), Mars 2005
- \28\ Engdahl Fredrik, *Air – for Health and Comfort, An Analysis of HVAC Systems’ Performance in Theory and Practice*, Doktorgradsavhandling. LTH, Lund, 2002

Vedlegg Resultater fra litteraturstudie

Kilde: Temahefte, Varmepumpe i boliger, Sintef TR A5703

Forskjellige varmepumpeløsninger gjennomgås. Det gis generell informasjon om ventilasjonsluft/vann-varmepumper. Figur 4.4 (s 28) viser hvordan varmepumpe som henter varme fra avkastluft kan benyttes til varmtvannberedning, ev. gulvarmeanlegg. Figur 3.5 (s 23) viser prinsipiell oppbygging av 2-rørssystem med varmepumpe og radiatorer.

Kilde: Bolig og naturlig ventilasjon – inneklima – energi – driftssikkerhet, Arkitektskolens forlag, Århus.

Boken er delt i fire deler; historie, modeller, prinsipper og boliger. Boligdelen er rettet mot eneboliger. Fine illustrasjoner. Lite konkret inneklima informasjon.

Kilde: A. Saari, Advantageousness comparison of air ventilation systems. Proceedings: Indoor air 2002.

LCC-vurderinger og CO₂-ekvivalente utslippsberegninger av avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon av leiligheter. Avlutter med en total "Negative impact" vurdering hvor man tar hensyn til både LCC-kostnader og CO₂-utslipp. Avtrekksventilasjon hadde laveste levetidskostnad, men balansert ventilasjon kom best ut når man tok hensyn til CO₂-utslipp.

Kilde: Energy-Efficient Ventilation for Apartment Buildings, Rebuild America Guide Series.

Generell informasjon om alternativer i kap. 6: Choosing a ventilation Strategy og drift/vedlikehold i kap. 7.: Operating and Maintaining Ventilation Systems.

Kilde: Engdahl Fredrik, Air – for Health and Comfort, An Analysis of HVAC Systems´. Performance in Theory and Practice, Doktorgradsavhandling. LTH, Lund, 2002

Mye konkret informasjon gyldig for leilighetsventilasjon (luftmengder, brukeroppførsel m.m.). Forskjellige systemer for leilighetsventilasjon er evaluert. Stabiliteten til avtrekks- og balanserte systemer er vurdert.

Kilde: EU prosjekt RESHYVENT (Demand controlled residential ventilation) – Svensk systemkonsept for leiligheter (Work Package 9, Industrial Consortium 1), WSP, 2004 (www.reshyvent.com)

Inngår i RESHYVENT prosjektet som Byggforsk har deltatt i. Svensk konsept med avtrekksventilasjon (uten varmepumpe) med energieffektiv viftedrift og sensor-basert behovsstyring av luftmengde i hvert rom. Thermopanel type uteluftsventil på stuen.

Kilde: EU prosjekt RESHYVENT (Demand controlled residential ventilation) – Nederlansk systemkonsept for leiligheter (Work Package 9, Industrial Consortium 2), TNO, 2004 (www.reshyvent.com)

Inngår i reshyvent prosjektet. Fokus på ekstremt energieffektiv viftedrift, sensor teknologi og selvregulerende luftinntak.

Kilde: EU prosjekt RESHYVENT, Demand controlled residential ventilation, IC2, TNO, 2004

Inngår i RESHYVENT prosjektet som Byggforsk har deltatt i. Avtrekksventilasjon (uten varmepumpe) med fokus på ekstremt energieffektiv viftedrift, sensor teknologi og selvregulerende luftinntak.

Kilde: EU-prosjekt RESHYVENT, Source book for Residential Hybrid Ventilation Development. First draft report (www.reshyvent.com)

Stor bok – skal utgis i løpet av 2005; ikke ferdig redigert. Kap. 7.1.2 Cold Climate er særlig aktuelt. Inneholder en rekke generelle erfaringer (mest fra Sverige). anbefaler en rekke kravspesifikasjoner (design constraints). Luftinntak med filter og mulighet for integrert varmeelement for forvarming er

vist. Avansert sensorstyring i forhold til reelt antall personer. Luftmengder og trykkfall er dokumentert og empiriske sammenhenger er utledet. Prinsippløsning i leilighet er vist (kap 7.1.2.6).

Kilde: NaVent 100-300-600, Brosjyre fra Airmaster (www.airmaster.dk)

Brosjyre for tilluftsventil med integrert oppvarming

Kilde: YSO uteluftsdon, Brosjyre fra Exhausto (www.exhausto.dk)

Brosjyre for tilluftsventil med integrert oppvarming

Kilde: 3M Filtration Products, 3MTM High Airflow Filtration Media, Brosjyre fra 3M

Brosjyre for finfilter med lavt trykkfall.

Kilde: Fresh AB (www.fresh.se). "Fresh 90-dB" og "Fresh 100 thermo dB" ytterveggventiler

Kilde: Byggforsk oppdragsrapport O-9384, 1999.

Mekanisk avtrekk kontra balansert ventilasjon av nordiske boliger - konsekvensene av *tetthet, trykkforhold og de nye byggeforskriftene*. Peter G. Schild

Kilde: Viktor Dorer, Andreas Pfeiffer, Andreas Weber. AIVC (www.aivc.org) technical note:

Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings.

Skal publiseres i løpet av 2005. Gir en god oversikt over egenskaper ved forskjellige luftinntaksventiler.