



Behovsstyrd hybridventilation

– mer än förstärkt självdrag



Innehåll

Förord	3
Varför hybridventilation?	4
Så fungerar hybridventilation	6
Integrera ventilationen i projekteringen	9
Passar hybridventilation för huset?	10
Behovsstyrd hybridventilation i Tångaskolan	12
Behovsstyrd ventilation i bostäder – en prototyp	19
Generella slutsatser	22

© Formas och författarna

Broschyr 1:2007

Omslagsfoto Christer Nordström Arkitektkontor

Text: Mats Sandberg, Högskolan i Gävle, Åke Blomsterberg, WSP, och Åsa Wahlström, SP Sveriges

Tekniska Forskningsinstitut

GRAFIK Pertti Salonen

GRAFISK FORM Stefan Lundström, Blue Media

TRYCK Grafiska Punkten, Växjö, maj 2007

ISBN 978-91-540-5988-1

Förord

Med den här broschyren vill vi belysa att det finns alternativ till traditionella ventilationslösningar och att man inte alltid behöver göra som man alltid har gjort. Detta är viktigt för att våra ventilationslösningar ska utvecklas, både nya och traditionella. De lösningar som beskrivs för hybridventilation kan med fördel användas även vid mekanisk ventilation.

Det är svårt att peka ut exakt för vilka fall som hybridventilation passar att använda. Det beror på många faktorer, vilket vi har försökt belysa i tabellen i avsnittet »Passar hybridventilation för huset?«. Dessutom måste varje byggprojekt ta ställning till vilka parametrar som är viktigare än andra vid en jämförelse, till exempel om 1 kilowattimme el och 1 kilowattimme värme ska värderas lika.

Därför har vi genomgående i broschyren pekat på fördelar och nackdelar med hybridventilation. Vi har valt att jämföra systemet med det bästa man kan få med ungefär samma investeringsnivå. Fördelarna är framför allt att man använder mindre el, har mindre problem med ljud och att investeringskostnaden är rimlig.

Åke Blomsterberg
WSP

Mats Sandberg
HÖGSKOLAN I GÄVLE

Åsa Wahlström
SP SVERIGES TEKNISKA
FORSKNINGSINSTITUT

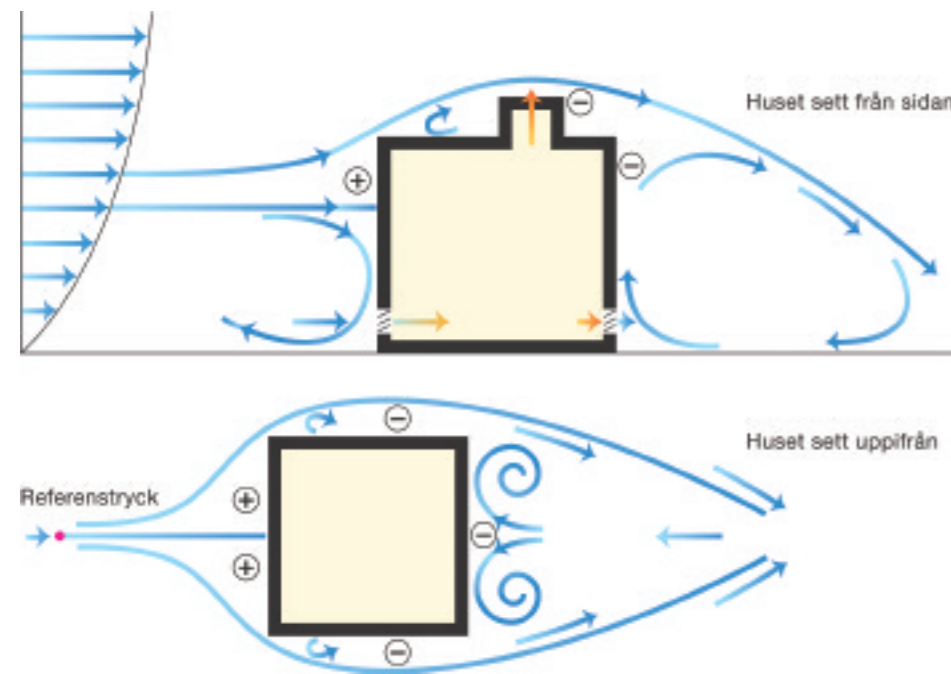
Varför hybridventilation?

Ambitionen med hybridventilation är att kombinera det bästa från självdragsventilation och fläktstyrd ventilation till ett helt nytt system.

Syftet med ventilation är att tillgodose våra krav på god inomhusmiljö när det gäller luftkvalitet och termisk komfort. Ventilationen ska se till att föroreningar och överskottsvärme från brukare, material och verksamhet förs bort och att vältempererad uteluft tillförs. För att säkerställa god luftkvalitet kan det

behövas hög ventilation, samtidigt som det är fördelaktigt med låg ventilation för att minska energianvändningen. I en byggnad med ett bra ventilationssystem optimeras luftkvaliteten samtidigt som energianvändningen minimeras.

För att uppnå ett väl fungerande ventilationssystem måste det ställas verifierbara krav på ett flertal funktioner som till exempel ventilation, klimatskärm, uppvärmning, buller och elanvändning. Ett övergripande krav är att ventilationssystemet måste ha tillräcklig kapacitet för att tillhandahålla



Figur 1. Vinden bromsas upp av huset och därför ökar trycket (plustecken i figuren) på vindsidan av huset i förhållande till referenstrycket. Samtidigt tvingas vinden att ändra riktning och strömmar runt och över huset. Enligt fysikens lagar ökar då vindhastigheten och trycket sjunker (minustecken i figuren). På läsidan bildas en vak med lägre tryck. Vinden strävar att blåsa luft genom huset från områden med högre tryck till områden med lägre tryck. Därför strömmar luften in i huset på vindsidan och ut på husets läsida och genom frånluftskanalen. Vid kraftigt byig vind kan tryckbilden i figuren ändras helt och leda till att luften strömmar i motsatt riktning (baksug). Mängden luft som blåser in är proportionell mot vindhastigheten.

nödvändiga luftflöden så att miljö- och hälsokraven kan uppfyllas.

Självdrag kontra fläktstyrning

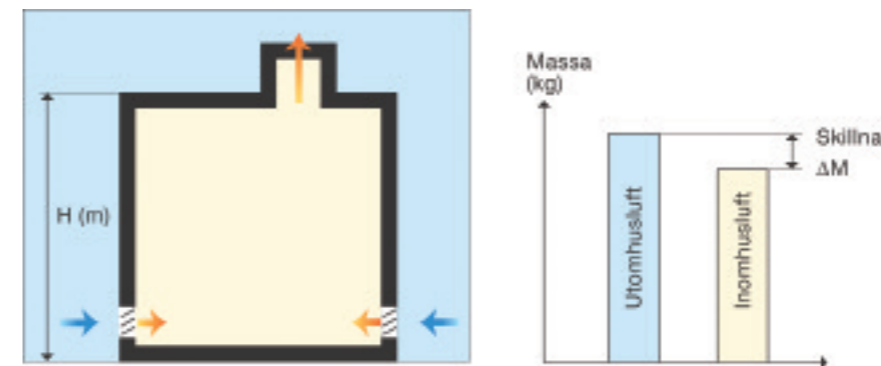
Alltsedan vi fick fläktstyrd ventilation har det i många länder pågått en diskussion om för- och nackdelarna med självdragsventilation respektive fläktstyrd ventilation. Nackdelarna med självdragsventilation är att det ibland inte finns tillräckliga drivkrafter för att skapa de luftflöden som krävs, att det i vissa fall sker en överventilering och att det ibland kan bli baksug i systemet. Det senare innebär att luften går bakvägen i kanalsystemet.

Självdragsventilation är svår att styra eftersom den drivs av vindhastigheten (figur 1) och temperaturskillnaden (figur 2) mellan inne och ute. En av fördelarna är att det är en tyst ventilation. De klagomål som kan förekomma på fläktstyrd ventilation är att

det kan uppstå dragproblem och att ljudnivån kan vara hög. Fördelarna är att fläktstyrd ventilation är lätt att styra och att man kan upprätthålla erforderliga luftflöden.

En innovativ lösning

Idén bakom hybridventilation är att kombinera självdragsventilation och fläktstyrd ventilation till ett helt nytt system som förenar de bästa egenskaperna hos de båda traditionella systemen. Ordet hybrid är valt med stor omsorg. Det innehåller varken ordet självdrag eller fläkt. Tanken bakom detta är att man ska frigöra sig från gamla föreställningar om hur en systemlösning ska se ut och öppna vägarna för att skapa nya innovativa lösningar. Idag finns det hybridventilationssystem för skolor, kontor och bostäder.



Figur 2. En luftpelare med inomhusluft och en med utomhusluft har olika massor (M) om båda har tvärsnittsarean 1 kvadratmeter och höjden lika med husets höjd H . Skillnaden i massa (ΔM) multiplicerat med gravitationen (g) är en drivkraft ($g \times \Delta M$) som gör att den kallare och tyngre luften strömmar in i nedre delen av huset där den värms upp och stiger uppåt och strömmar ut genom frånluftskanalen på taket. Med hjälp av utomhusluftens densitet ρ_u (kg/m^3) och inomhusluftens densitet ρ_i kan drivkraften uttryckas som $g \times (\rho_u - \rho_i) \times H$. Drivkraften är alltså proportionell mot husets höjd och skillnaden i densitet.

Så fungerar hybridventilation

Hybridventilation har avancerad styrning för att den ska kunna säkerställa rätt nivå på ventilationen vid varje tillfälle.

Hybridventilation kombinerar självdragsventilation med fläktstyrning. För att självdragsventilationen ska kunna fungera måste frånluftskanaler, tilluftskanaler och kanalöppningar ha mycket låga tryckfall, och därför används stora kanalsystem. Dessutom måste det finnas tillräcklig höjdskillnad mellan inlopp och utlopp i frånluftskanalen så att den termiska stigningen räcker till för att driva ventilationen under en stor del av året. För att vinden ska kunna bidra till ventilationen måste utloppet vara utformat så att vinden ökar frånluftsflödet och inte tvärtom.

När de termiska drivkrafterna är otillräckliga används en hjälpfläkt (figur 3). Fläkten i systemet har tre uppgifter:

- flödesförstärkare när självdragsdrivkrafterna inte räcker till
- upprätthålla flödesfördelningen
- förhindra baksug

Maximalt självdrag

Kravet på alla ventilationssystem är att upprätthålla tillräckligt ventilationsluftflöde för att uppfylla kraven på luftkvalitet och temperatur. Skillnaden är att i

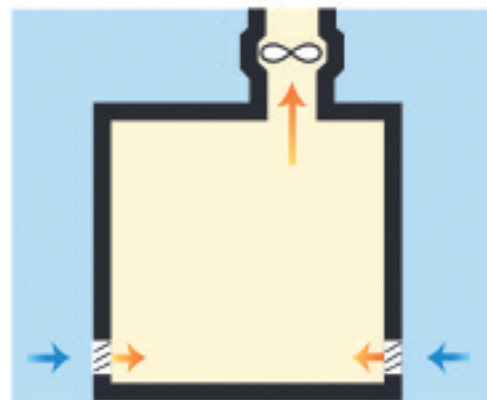
hybridventilation kan man välja system för framdrivning av ventilationsluften. Man maximerar användningen av självdrag för att få en ventilation med låg ljudnivå och minimerad användning av el för fläkt-drift. I ett hybridventilationssystem måste det finnas ett intelligent styr- och övervakningssystem som väljer rätt ventilationsätt och säkerställer rätt nivå på ventilationen vid varje tillfälle. Styrningen är lika viktig som själva ventilationssystemet, och det finns en stark koppling mellan ventilations- och styrsystem. Styrningen baseras lämpligen på luftkvaliteten under vinterhalvåret, och kan på sommaren baseras på rumstemperaturen. Start av och drift av fläktar kan styras av:

- temperatur eller luftkvalitet i rummen
- tryck i tilluftskanaler eller frånluftskanaler
- luftflöde i tilluftskanaler eller/och frånluftskanaler

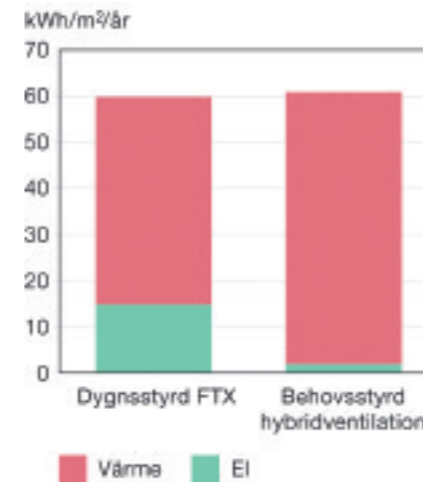
Fläkten kan placeras i självdragskanalen eller i en separat ventilationskanal och regleras med av/på, stegvis eller kontinuerligt.

Behovsstyrning automatiskt eller manuellt

Ett behovsstyrt hybridventilationssystem kan variera luftflödets storlek efter den aktuella belastningen i byggnaden och därmed säkerställa att ventilationen alltid motsvarar behovet för att uppnå god luftkvalitet.



Figur 3. En frånluftsfläkt suger ut luft så att det skapas ett undertryck i huset. Luft sugas då in genom tilluftsöppningar och eventuella otätheter i klimatskärmen. Vid hybridventilation är fläktens uppgift att vara en flödesförstärkare när naturens drivkrafter inte räcker till för att driva fram önskat luftflöde. Dessutom används fläkten för att motverka baksug, till exempel vid byig vind.



Figur 4. Exempel på fördelning av el- och fjärrvärmeanvändning för ett klassrum med dels ett dygnsstyrt FTX-system med mekanisk värmeåtervinning, 60 procent verkningsgrad och specifik fläkteffekt på 1,7 kW/(m³/s), dels motsvarande behovsstyrda hybridventilation.



CHRISTER NORDSTRÖM ARKITEKTONTOR AB

Exempel på luftintag i ett hybridventilationssystem där luften förvärms med konvektorer i fönsterbänken. Endast ett galler utan tryckfallsförlust täcker luftintaget och intagen är riktade rakt uppåt för att undvika drag.

Styrningen som ska se till att ventilationen kan varieras efter behovet kan vara automatisk eller manuell. Att grundventilationen inte underskrids och att den maximala ventilationen inte överskrids ska säkerställas av den automatiska styrningen. Däremellan kan ventilationen regleras manuellt av brukarna.

Automatik innebär att ventilationen styrs med hjälp av givare för koldioxid, luftfuktighet, lufttemperatur och/eller närvaro i vistelsezonen. I kontor och skolor kan automatisk behovsstyrning lämpligen ske med koldioxid-, lufttemperatur- och/eller närvaro-givare. För bostäder sker automatisk styrning lämpligen med koldioxid-, luftfuktighets- och/eller närvaro-givare.

Det dyraste alternativet är ofta koldioxidgivare, där bara givaren kan kosta mellan 2 000 och 7 000 kronor. Givaren är noggrann, stabil och linjär, men har lång reaktionstid. IR närvarogivare kostar mindre 500 kronor, är lätta att använda, noggranna och styrs av rörelser. Nackdelen är att vissa aktiviteter görs

utan rörelse, som tevetittande och sömn. Givaren måste placeras där rörelser normalt utförs, det vill säga man måste undvika döda zoner. Utöver kostnaden för själva givaren tillkommer kostnader för installation, kabeldragning och kalibrering.

Låg elanvändning

Hybridventilation har fördelen att ha låg elanvändning för fläkt-drift, men det finns däremot inte något bra sätt att återvinna värme ur frånluften. Därför kan byggnader med hybridventilation använda mer värmeenergi än byggnader med FTX-system (mekanisk från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning). Men ventilationen kan behovsstyras, och det håller nere energianvändningen utan att luftkvaliteten försämras.

Den totala energianvändningen kan vara i samma storleksordning som ett motsvarande FTX-system (figur 4), men fördelningen mellan använd el- och värmeenergi skiljer sig. Yttre miljöpåverkan samt andra för- och nackdelar med användning av el eller

värme måste därför vägas in vid val mellan systemen. Vinsten i minskad yttre miljöbelastning på grund av låg elanvändning ska på något sätt vägas mot ökad miljöbelastning på grund av högre värmeanvändning.

Kostnader

Erfarenheter från tolv pilotbyggnader (kontor och skolor) som studerats i ett internationellt projekt om hybridventilation (IEA-ECBCS, Annex 35) visar att investeringskostnaderna är ungefär lika eller något mindre än för konventionella fläktventilationssystem. Detta kan gälla trots att extra investeringar behövs i styrsystemet för att behövsstyra ventilationen. Den totala livscykelkostnaden som omfattar investering, drift och underhåll är ofta fördelaktig för byggnader med hybridventilation.

Det är svårt att ange en generell investeringskostnad för ett hybridventilationssystem eftersom det kan röra sig om mekaniska installationer, styrsystem och förändring av själva byggnaden. De mekaniska installationerna för hybridventilation är ofta små axialfläk-

tar som har låg investeringskostnad jämfört med FTX-aggregat. Kostnaden för styrsystemet är ofta högre för hybridventilation eftersom det kan behövas ett utökat antal sensorer för reglering mellan mekanisk och självdragsventilation och vid behovsstyrning av luftflöden.

Investeringskostnader kan också tillkomma för ökad rumsvolym per person, en byggnadsutformning som lämpar sig för självdragsventilation, mer intelligenta fasad- eller fönstersystem, samt stora och raka ventilationskanaler och -schakt som i sin tur kan ge minskad uthyrningsbar yta.

Nöjda brukare

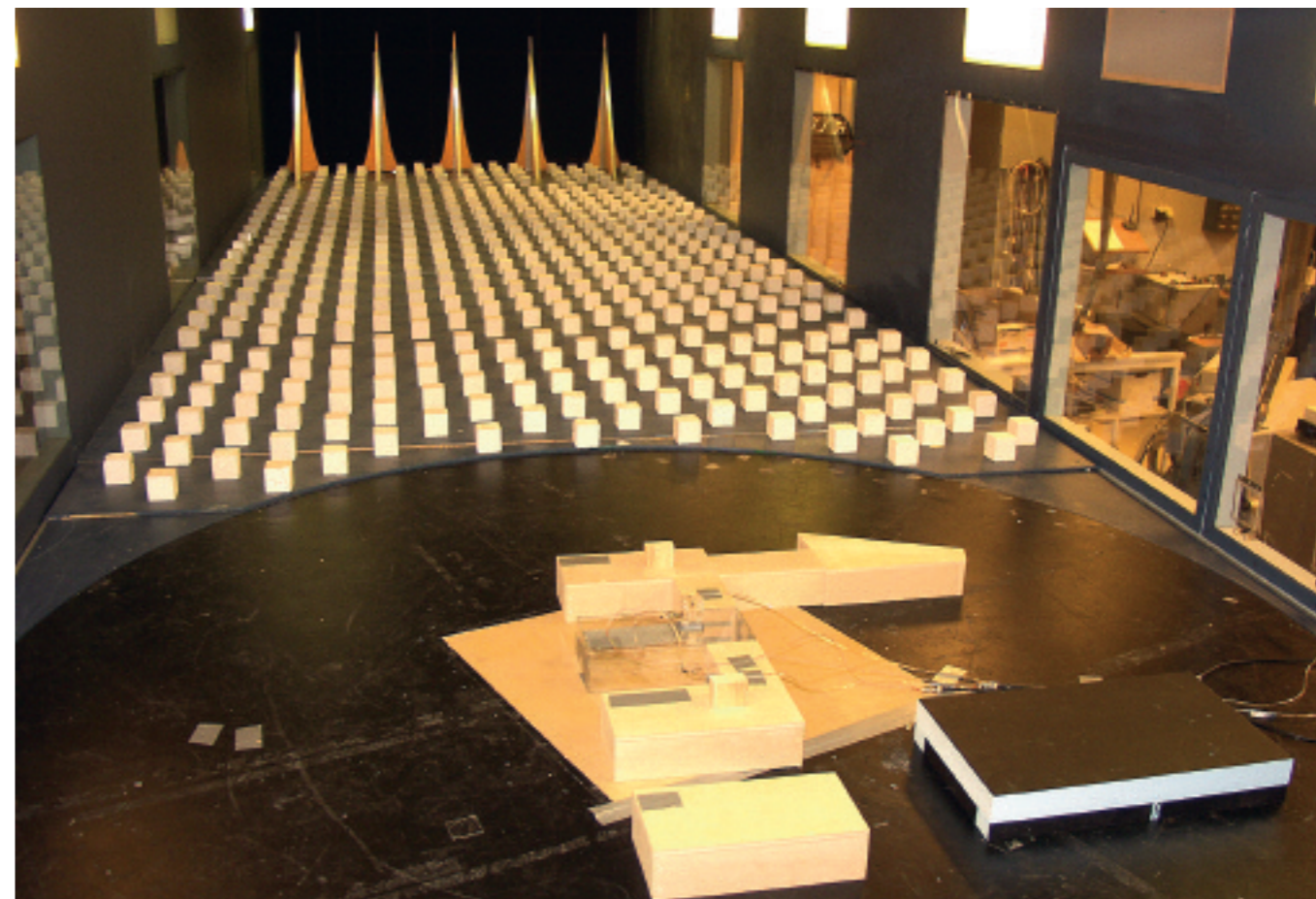
Ett hybridventilationssystem kan ge ökade möjligheter för brukarna att själva påverka systemet genom fönstervädning och/eller styrning av till exempel spjällöppning av ventilationsintag. Detta kan tillsammans med att hybridventilation är ett mycket tyst system göra att brukaren blir mer nöjd med systemet.

Egenskap	Självdragsventilation	Fläktventilation	Hybridventilation
För låg ventilation	Ja, vid varm väderlek och låg vindhastighet	Nej	Nej
För hög ventilation	Ja, vid kall väderlek och/eller stark vind	Nej	Nej
Styrning av ventilation	Kan vara svår att styra	Lätt att styra	Ofta lätt att styra
Tyst ventilation	Ja	Kan vara bullrig	Ja
Drag från ventilation	Ja, risk finns när luften tas in via fasaden. Svårt att åtgärda.	Ja, risk finns när luften tas in via fasaden. Kan åtgärdas med förvärmning.	Ja, risk finns när luften tas in via fasaden. Kan åtgärdas med förvärmning.
Elanvändning för ventilation	Ingen	Ja, kan vara betydande.	Låg
Brukartillfredsställelse	Ofta positiv	Inte alltid positiv	Ofta positiv

Tabell 1. För- och nackdelar med byggnader med olika typer av ventilationssystem.

Hybridventilation är en kombination av mekanisk ventilation och självdragsventilation, med avancerad styrning.

Integrera ventilationen i projekteringen



LEIF CLAESON, HÖGSKOLAN I GÄVLE

Vid projektering av hybridventilation måste man ta hänsyn till naturliga drivkrafter, som vinden. Här visas hur tryckbilden för Tångaskolan i Falkenberg mäts upp i en vindtunnel för att användas som underlag vid projektering. Vindtunnelstudier behövs inte alltid men är fördelaktiga vid projektering av byggnader i tätbebyggda områden.

Att projektera en byggnad med hybridventilation innebär att ventilationssystemet och byggnadens beståndsdelar utformas i kombination med varandra för att bäst utnyttja de naturliga drivkrafterna för självdrag.

Eftersom hybridventilation är baserad på olika designfilosofier så kommer förutsättningarna för att uppnå ett lyckat koncept att öka med en integrerad projektering. Med ett integrerat angreppssätt arbetar ett projekteringsteam med olika discipliner tillsammans med att optimera energianvändning och samtidigt

beakta krav på inomhusklimat. Projekteringsteamet kan till exempel bestå av en arkitekt, ingenjörer, byggherre och beställare som samarbetar i en aktiv process från idé till slutlig detaljprojektering.

Mycket att tänka på

Redan på ett mycket tidigt stadium av projekteringen måste ett flertal parametrar beaktas, till exempel:

- utomhusklimat
- mikroklimat kring byggnaden
- vindstyrka och vindriktning
- placering av luftintag så att drag och överventiler- ing undviks
- låga tryckfallsförluster för luftvägarna, till exempel genom att välja ventilationskanaler som är raka och har stor diameter
- behov av filtrering av uteluften
- öppningsbara fönster, dörrar eller andra element i byggnadsfasaden
- stora takhöjder

Fördelar med hybridventilationssystemet är att tillräcklig luftväxling, termisk komfort och låg ljudalstring kan upprätthållas. Nackdelen är att det i kalla klimat finns risk för dragproblem bredvid ventilationsintagen som ofta är placerade direkt i fasaden. Det innebär att det behövs särskild noggrannhet vid projektering av hybridventilationssystem för att minimera dragrisken.

Genom att samordna projektering av byggnadsutformningen och projektering av ventilationssystemet kan förutsättningarna för att utnyttja naturliga drivkrafter öka. Därmed kan storleken på det mekaniska systemet minska och energianvändningen och inneklimatet i byggnaden optimeras.

Passar hybridventilation för huset?

Som vägledning för att bedöma om en ny byggnad eller en befintlig byggnad som ska byggas om är lämplig för hybridventilation har en tabell tagits fram för svenska klimatförhållanden.

Om de flesta parametrar i tabell 2 har hög eller medelhög sannolikhet att lyckas så är förutsättningarna goda för hybridventilation. De få parametrar som har låg sannolikhet visar på områden som måste ägnas särskild omsorg vid projektering. När de flesta parametrar har låg sannolikhet för att lyckas så rekommenderas annat ventilationssystem än hybridventilation.

Tabell 2. Riktlinjer för att en byggnad som använder sig av hybridventilation i svenskt klimat ska bli både energi- effektiv och ha ett gott inomhusklimat. Tabellen är fram- för allt framtagen för kontor och skolor, men kan på många punkter tillämpas även på bostäder.

Parameter	Sannolikhet för att hybridventilation ska fungera bra		
	Hög	Medelhög	Låg
Byggnadsrelaterade:			
Glasyta i procent av fasadyta	30	70	100
Solskydd	Skydd på utsidan	Skydd på insidan	Inget solskydd
Ohälsosamma emissioner från ytor	Låg	Mellan	Hög
Rumshöjd (meter)	> 3	2,5–3	< 2,5
Rumsdjup (meter)	< 6	6–15	> 15
Karaktär på byggnadsstomme	Tung	Mellan	Lätt
Tillgång till tung stomme	Frilagd	Delvis frilagd	Inte tillgänglig
Nattkylning	Möjlig	Delvis möjlig	Inte möjlig
Använda förstärkt skorstenseffekt med till exempel solskorsten	Ja, möjligt	Delvis möjligt	Nej, går inte
Stor höjdskillnad mellan intag och uttag för luften	Ja, möjligt	Delvis möjligt	Nej, går inte
Använda vindtorn och ventilations- öppningar som utnyttjar vinden utan att överventilera	Ja, möjligt	Delvis möjligt	Nej, går inte
Korta, raka ventilationskanaler med låga tryckfall i inlopp och utlopp	Ja, möjligt	Delvis möjligt	Nej, går inte
Värmeåtervinning av frånluften	Inte viktigt	Viktigt	Mycket viktigt
Värme kan återvinnas från frånluften	Ja	Delvis	Nej
Behovsstyrning möjlig	Ja	Delvis	Nej
Minska drag från ventilationsintag med direkt förvärmning eller tillufts- kulvert	Ja, möjligt	Delvis möjligt	Nej, går inte
Ventilationsintag i fasad direkt utifrån under vinterhalvåret (luft- omsättningar/timme)	< 0,5	< 2	> 2
Aktivitetsrelaterade:			
Medelvärde av intern värmelast (W/m ²)	< 20	20–30	> 30
Hög luftförorenande aktivitet (skri- vare, kopieringsmaskiner, pentry)	I separata rum	Delvis i separata rum	Fördelat i vistelsezoner
Typisk vistelsetid per dygn	8 timmar	16 timmar	24 timmar
Luftväxlingsbehov i värmeperioder	< 2	2–4	> 4
Platsrelaterade:			
Använda utomhusluften utan filtrering	Ja, möjligt	Grovfiltrering behövs	Nej
Använda direkta luftintag i fasaden utan problem med ljud	Ja, möjligt	En viss ljuddämpning behövs	Nej

Behovsstyrd hybridventilation i Tångaskolan

Tångaskolan byggdes om 1999 med målsättningen att skapa en hållbar och energieffektiv byggnad samt förbättrad inomhuskomfort till rimlig kostnad. Valet föll på ett system med behovsstyrd hybridventilation.

Tångaskolan i Falkenberg valdes som pilotstudie i ett internationellt projekt om hybridventilation eftersom den är representativ för skolor som byggdes

under 1960- och 70-talen, med platt tak, relativt stora fönster utan solavskärmning och FT-system (mekanisk från- och tilluftsventilation) utan värmeåtervinning. Många av de här skolorna behöver nu renoveras.

Skolan är placerad i en miljö med förhållandevis ren uteluft och låg ljudnivå. Det gör att det går att ta in luften direkt genom intag i fasaden. Lärarna ville få större möjlighet att påverka ventilationen. Ventilationssystemet skulle vara tyst, samtidigt som

Ventilation	Uteluft 7 l/s/person respektive 0,35 l/s/m ² . Luft hastighet: vinter < 0,15 m/s, sommar < 0,25 m/s. Luftutbyteseffektivitet > 40 procent. Avluft utsläpp ska vara på tak, väl avskilt från uteluftsintag så att inte avluft återförs till tilluften oberoende av vindriktning. Allt material som byggs in på sådant sätt att det kan påverka inomhusluften ska ha lägsta möjliga emissionstal. Koldioxidhalt < 1 000 ppm (lektionsmedelvärde) är luftkvalitetsindikator vid normal personbelastning. Formaldehydhalt < 50 mikrogram/m ³ från byggnad och inredning. Flexibelt ventilationssystem som kan anpassas efter belastning och aktiviteter i byggnaden.
Klimatskärmens lufttäthet	0,8 l/s/m ² vid 50 Pa över- respektive undertryck.
Uppvärmning	Vinterförhållanden med normal personbelastning: Operativ temperatur mellan 18 °C och 22 °C. Vertikal temperaturskillnad mellan 1,1 m och 0,1 m över golvet < 3 °C. Golvets ytemperatur får ej understiga +19 °C vid dimensionerande utetemperatur. Strålningstemperatursymmetri från fönster eller annan yta < 8 °C. Sommarförhållanden med normal personbelastning: Operativ temperatur får lägst vara +18 °C och högst +26 °C, utan kylanläggning.
Buller från installationer	Klassrum: L _{Aeq} < 30 dB, L _{A,max} < 35 dB, L _{CEq} < 50 dB Kontorsrum, grupprum med mera: L _{Aeq} < 35 dB
Externt buller (trafik etcetera)	Klassrum: L _{Aeq} < 30 dB Kontorsrum, grupprum med mera: L _{Aeq} < 30 dB
Elanvändning	Ventilation: Frånluft < 1,0 kW/m ³ /s, från- och tilluft < 2,0 kW/m ³ /s

Tabell 3. Exempel på en lämplig kravspecifikation för skolor. Kravspecifikationen tillämpades i pilotstudien för Tångaskolan. Samtliga funktionskrav gäller om inte annat anges i vistelsezonen, som för skolor har valts så att den börjar 0,5 meter från yttervägg och sträcker sig upp till 1,8 meter över golvet.

investeringskostnaden skulle vara rimlig. De här kraven gjorde att ett hybridventilationssystem med avancerad styrning valdes. Det valda systemet ger ingen möjlighet till värmeåtervinning från ventilationsluften. Detta kompenseras till viss del av att ventilationen behovsstyrs.

Detaljerade funktionskrav på inneklimat, ventilation och energi ställdes upp (tabell 3). Förutom installation av behovsstyrd hybridventilation genomfördes även andra energisparåtgärder som förbättrad isoleringsförmåga i tak och fönster, effektiv belysning och apparatur samt förbättrad dagsljusbelysning.

Hybridventilation med solskorstenar

Hybridventilationen sker huvudsakligen med självdrag, där den viktigaste drivkraften är temperaturskillnaden mellan inne och ute. För att förstärka skorstenseffekten har sex meter höga solskorstenar

installerats på taket. Den södra väggen av skorstenen utgörs av en tvåglas fönsterkonstruktion, en »solfångare« som värmer luften i skorstenen för att ytterligare förstärka självdragskrafterna. När självdraget inte räcker till startar lågenergifläktar i solskorstenarna vilket ökar frånluftsflödet. Fläktarna startar när temperaturdifferensen mellan utetemperatur och temperatur i solskorstenen är mindre än 10 °C. Självdragsventilation ska därmed vara tillräcklig under vinter, sen höst och tidig vår. Fläktarna styrs av ett centralt driftövervakningssystem.

Ett tidigare trapphus används för att föra frånluftskanalerna från varje klassrum upp till solskorstenen. Tilluften tas direkt via uteluftsintag under fönstren i fasaden i varje klassrum. Luften förvärms av konvektorer i en fönsterbänk.

Hybridventilationssystemet och solskorstenarna har utarbetats i nära samarbete mellan arkitekt, ingenjörer, forskare och byggherre: Christer Nordström Arkitektkontor AB, Per Magnusson,



Tångaskolan med de karakteristiska solskorstenarna på taket. Skorstenarna ökar självdragskrafterna och reducerar därmed behovet av fläkt drift, både antal drifttimmar och eleffekt.



CHRISTER NORDSTRÖM ARKITEKTOR AB

En av tre klassrumslängor i Tångaskolan med hybridventilation. På toppen av byggnaden syns solskorstenen och under varje fönster skymtar öppningarna för tilluften. Varje självdragsskorsten betjänar en flygel med sex klassrum och några grupprum. Totalt ventileras tre flyglar med detta ventilationssystem.

Steninge Ventilation AB, Svein Ruud, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, och Arne Liljedahl, Falkenberg kommun.

Behovsstyrning

För att minska värmeförlusterna är ventilationen behovsstyrd. Koldioxidkoncentrationen i klassrummen styr till- och frånluftsflödena i varje klassrum med hjälp av spjäll.

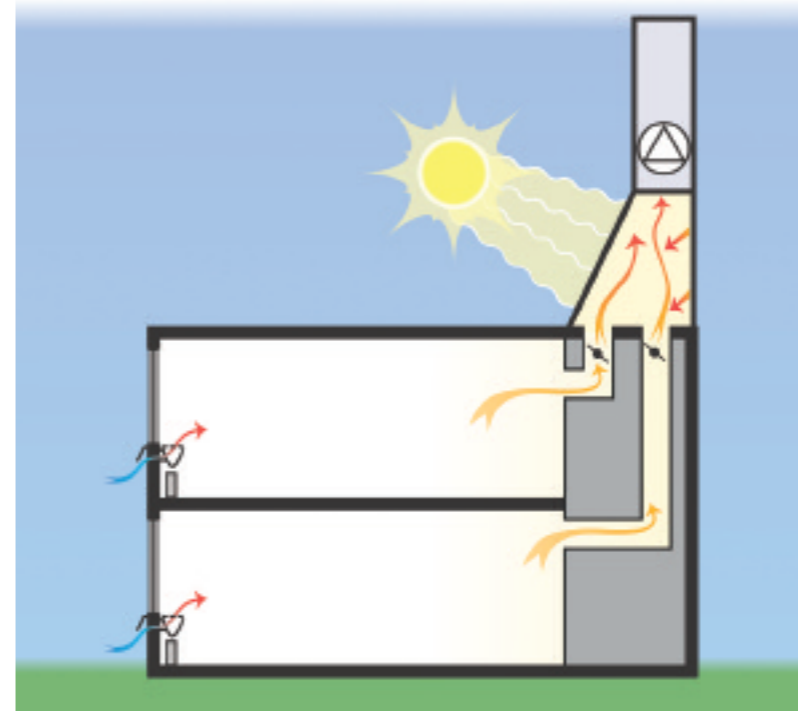
Vid automatisk styrning är spjällen öppna 50 procent under dagtid och regleras med en koldioxidgivare i varje klassrum. När koldioxidhalten överstiger 1 000 ppm öppnar spjällen mer än 50 procent och vid 1 500 ppm är spjällen helt öppna. Läraren har möjlighet att slå av den centrala styrningen och reglera ventilationsspjällens öppningsgrad manuellt mellan 50 och 100 procent. Men på dagtid kan spjällen inte

stängas mer än till 50 procent eftersom ett visst grundflöde ska finnas.

För skolor är behovsstyrning av ventilationen mycket lämplig eftersom antalet elever som vistas i klassrummen ständigt varierar. På nätter och helger är spjällen stängda för att minska värmeförlusterna.

Hur gick det i Tångaskolan?

Utvärderingen av pilotprojektet visar att med rätt design på ventilationssystemet kan hybridventilation bidra till god inomhuskomfort. Före ombyggnaden upplevdes luften i klassrummen som instängd. Problemen har minskat efter bytet av ventilationssystem. Men det nya systemet har ibland medfört besvär med drag från uteluftsintagen. I klassrum med många elever är tilluftsspjällen helt öppna, och under soliga och kalla höst- och vårdagar kan det



När självdraget i Tångaskolan inte räcker till startar lågenergiflärar i skorstenarna, och då ökar frånluftsflödet. Fläktarna startar när temperaturdifferensen mellan utetemperatur och temperatur i solskorstenen är mindre än 10 °C. Fläktarna styrs av ett centralt driftövervakningssystem.



CHRISTER NORDSTRÖM ARKITEKTOR AB

Den södra väggen av skorstenen utgörs av en tvåglas fönsterkonstruktion, en »solfångare« som värmer luften i skorstenen för att förstärka självdragskrafterna.

uppstå drag från intagen eftersom tilluften kan bli otillräckligt förvärmad. Problemet kan åtgärdas med ett förbättrat styr- och reglersystem. Möjligheten att påverka ventilationen genom manuell styrning uppskattas och utnyttjas av lärarna.

En av fördelarna med hybridventilation är att systemet är tyst, det vill säga inte självt genererar något ljud. Ett fåtal elever besväras dock av störande ljud utifrån eftersom ljud kan gå rakt igenom ventilationsöppningarna i fasaden. Problemen kan minskas med ljudabsorbenter i uteluftsintagen.

Energianvändningen för uppvärmning har reducerats med 30 procent tack vare det behovsstyrda hybridventilationssystemet jämfört med det ursprungliga FT-systemet utan värmeåtervinning. Elanvändningen för ventilationen har minskat med 90 procent.

Bilden på solskorstenen inifrån är från byggskedet och visar hur alla självdraagskanaler kommer upp till solskorstenen.



ÅKE BLOMSTERBERG



HYBVENT Annex 35, Hybridventilation vid ny- och ombyggnad av kontorsbyggnader, var ett IEA-projekt under åren 1999–2002. Femton länder deltog med tolv pilotprojekt. Sverige representerades av författarna till den här broschyren. Mer information finns på <http://hybvent.civil.auc.dk/>.

ÅKE BLOMSTERBERG



Uteluftsintagen i klassrummen sitter i fönsterbänken där luften förvärms med hjälp av konvektorer innan den distribueras ut.

Investeringskostnaden för hybridventilationssystemet var 600 kronor per kvadratmeter. I kostnaden ingår merkostnaden för ett avancerat styr- och övervakningssystem, kostnader för ventilationskanaler och solskorstenar, samt utbyte av det gamla systemet. Som jämförelse var investeringskostnaderna i en angränsande byggnad 800 kronor per kvadratmeter för utbyte till ett energieffektivt mekaniskt ventilationssystem med värmeåtervinning.

En jämförelse av livscykelkostnaden (minskad energianvändning samt investeringskostnad) visar



Frånluftsdon i klassrum.



Skolan är placerad i en ren miljö med förhållandevis lite buller utomhus. Det gör att det går att ta in luften direkt genom intag i fasaden.

att en ombyggnad inte lönar sig om inte ventilationssystemet ändå måste bytas ut, det vill säga om man eftersträvar lönsamhet på kortare tid än 20 år.

Slutsatser från Tångaskolan

Hybridventilation i skolor:

- kan ge ett bra inneklimat
- måste behövsstyras för att få rimlig energianvändning
- kan ge lägre elanvändning för ventilation än fläktventilation
- kan ge en energianvändning för uppvärmning jämförbar med samma byggnad med dygnsstyrd FTX

(mekanisk från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning)

- är ett tyst system, men hög ljudnivå utifrån kan vara ett problem
- ger möjlighet till manuell drift som uppskattas av lärarna
- kan ha en investeringskostnad som är lägre än för dygnsstyrd FTX
- kräver noggrann intrimning av värme och ventilation under första året med verksamhet

Slutrapporten från Annex 35 »Hybridventilation vid om- och nybyggnad av kontor och skolor« finns att ladda ner på www.energimyndigheten.se.



Mellan klassrummens överfönster och huvudfönster finns det reflektorer för dagsljusspridning.

Behovsstyrd hybridventilation i bostäder – en prototyp

En prototyp på ett behovsstyrt hybridventilationssystem för nordiskt klimat har utvecklats, med låga tryckfall och en EC-fläkt per lägenhet som håller önskat luftflöde för varje lägenhet.

Inom ett FoU-projekt inom EU (Cluster project on demand controlled hybrid ventilation in residential buildings with specific emphasis on the integration of renewables) har en prototyp utvecklats för ett behovsstyrt hybridventilationssystem för flerbostadshus i nordiskt klimat. Utvecklingen har skett av en industrigrupp med vetenskapligt stöd från expertgrupper för marknadsförutsättningar, normer och standarder, designparametrar, beräkningar och funktionsprognoser, kontrollstrategier, integration av förnybar energi, specifikationer och referensbestämmelser samt inverkan av stadsmiljö. Systemet har utvecklats framför allt för nya lägenheter, men kan också användas vid renovering. Detaljerade funktionskrav på inneklimat, ventilation och energi ställdes upp (tabell 4).

Systemet bygger på låga tryckfall i ventilationssystemet för att få låg elanvändning för ventilation. Fuktigheten kontrolleras i badrum för att undvika fukt- och mögelskador i byggnaden. Grundprincipen är självdragsförstärkt mekanisk frånluft, där fläkten kan stängas av när de naturliga drivkrafterna är tillräckliga.

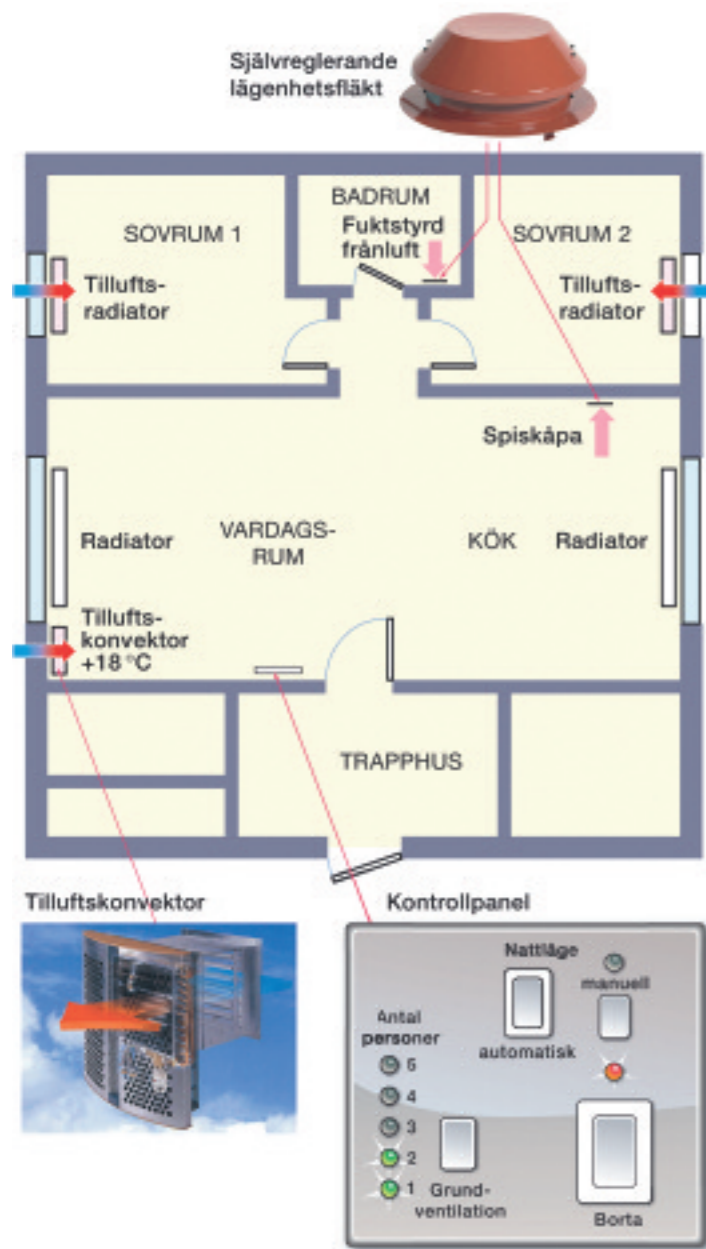
I systemet ingår individuellt samordnad kontroll av värme och ventilation för varje lägenhet, samt individuell mätning av energi, ventilation och innetemperatur för att motivera brukare till att sträva efter låg energianvändning i sin lägenhet bland annat genom att hålla ventilationen på rimlig nivå.

Ventilation i lägenheten

En självreglerande EC-fläkt bibehåller ett konstant luftflöde i varje lägenhet. Självregleringen

Inneklimat	Koldioxidhalt <1 000 ppm (tolvtimmars medelvärde) eller alternativt max 500 000 ppmtimmar/år med koldioxidhalt >1 050 ppm och max 100 000 ppmtimmar/år med koldioxidhalt >1 750 ppm. Relativ luftfuktighet <70 procent inom 8 timmar (badrum). Förvärmad tilluft. Innetemperatur 19 °C–23 °C. Lufthastighet <0,15 m/s (vinter) och <0,25 m/s (sommar). Uteluftsflödet vid normal drift 0,35 l/(s x m²). Uteluftsflödet vid tom lägenhet 0,10 l/(s x m²). Luftutbyteseffektivitet >40 procent. Osuppfångningsförmåga för spiskåpa >75 procent. Termisk komfort, 90 procent av bebodd tid PPD (andel missnöjda personer) <10 procent. Tryckskillnad inne/ute <20 Pa under ett normalt år, förutom under 200 timmar. Ljudtrycksnivå från installationer, klass B: 26 dBA för rum och 35 dBA för kök. Ljudtrycksnivå från ute, klass B: 26 dBA för rum och 35 dBA för kök.
Energieffektivitet	SFP (specifik fläkteffekt) frånluftssystem <0,5 kW/(m³ x s)
Systemstabilitet	Ventilationssystemet måste tåla fönstervädning. Behovsstyrningen av ventilation får inte förorsaka varaktiga förändringar i innetemperaturen. Luftflödesstabilitet 50 procent av tiden inom ±5 procent av projekterade värden.
Systemflexibilitet	Öppen lösning som tillåter blandning av system och komponenter från olika tillverkare.
Drift och underhåll	Tillgänglighet för justering, rengöring och service. Mätbara luftflöden. Tydliga instruktioner. Användarvänlighet.

Tabell 4. Exempel på lämplig kravspecifikation för bostäder. Funktionskraven gäller för vistelsezonen med brukare närvarande.



Principskiss av behovsstyrd hybridventilation i en lägenhet på tre rum och kök. Systemet har tre viktiga komponenter: en självreglerande energieffektiv lägenhetsfläkt, en tillufts-konvektor och en kontrollpanel för brukarens styrning av ventilationen.

sker utan givare eller spjäll. Två fläktar är tillgängliga: en radialfläkt som redan finns på marknaden idag och en axialfläkt som är en prototyp. Tryckfallet över axialfläkten är lägre än för radialfläkten och därmed blir också elanvändningen lägre. I badrum och kök installeras frånluftsdon, samt i sovrums- och vardagsrum uteluftsdon i fasaden. Uteluftsdonen är försedda med en Z-kanal med inbyggt vind- och backspjäll. Z-kanalen är även försedd med ljuddämpande material.

Grundventilationen förinställs i förhållande till antalet personer som bor i lägenheten, vilket kan ställas in av de boende på lägenhetens kontrollpanel. I köket installeras en högeffektiv spiskåpa med manuell forcering med timer. När ingen är hemma sänks ventilationen, med manuell eller automatisk styrning (styrning via inbrottslås eller förinställt tidur). Fläkten kan stängas av när de naturliga drivkrafterna är tillräckliga. Ventilationen i badrum styrs av den relativa luftfuktigheten och förhindrar sänkt ventilation om fuktnivån är hög och ingen är hemma.

Hur kommer systemet att fungera för bostäder?

Funktion och prestanda för tillufts-konvektorn, de två fläktarna och styr- och regler-systemet har noggrant laboratorietestats och visat sig uppfylla funktionskraven. Detaljerade simuleringar av risk för drag från tillufts-konvektorn visar avsevärt lägre risk än från traditionella uteluftsdon som spaltventiler och tillufts-radiatorer.

Ett flerbostadshus med fyra våningar och tre rumslägenheter med det utvecklade ventilationssystemet har simulerats. Resultaten från simuleringarna visar att förväntad funktion när det gäller luftflöden, luftkvalitet och energianvändning med stor sannolikhet kan uppfyllas i en verklig byggnad.

Den förväntade energibesparingen har uppskattats till 50 procent av ventilationsförlusterna för en genomsnittlig lägenhet med en golvyta på 80 kvadratmeter. Simuleringar av ett flerbostadshus med fyra våningar visar på besparingar i storleksordningen 40 procent för en lägenhet med två personer som motsvarar det genomsnittliga antalet personer per lägenhet i

Sverige. Referensen är enligt Boverkets byggregler från 1994 där ventilationen är oberoende av antalet personer som bor i lägenheten. Besparingar som inte ingår är individuell mätning, elanvändning för ventilation samt innetemperaturkompensation av framledningstemperaturen.

Den specifika fläkteffekten har bestämts till 0,5 kilowattimmar per kubikmeter och sekund för radialfläkten och 0,1 för axialfläkten. Simuleringarna av byggnaden visar att elanvändningen för ventilation förutsatt att axialfläkten används reduceras från 125 kilowattimmar per år (1,6 kilowattimmar per kvadratmeter och år) till mellan 25 kilowattimmar per år (0,3 kilowattimmar per kvadratmeter och år) och 40 kilowattimmar per år (0,5 kilowattimmar per kvadratmeter och år). Besparingen för radialfläkten ligger någonstans mellan dessa två värden.

De viktigaste kraven och förväntningarna hos kunderna (lägenhetsförvaltare och utvecklare) när det gäller ventilationssystem är låg ljudnivå, låg dragnivå, bra kontrollmöjligheter, tillförlitlighet, robusthet, estetik och att de är lätta att underhålla och rengöra. Buller och drag är vanliga orsaker till missnöje hos de boende. Det utvecklade behovsstyrda hybridventilationssystemet förväntas uppfylla dessa krav och förväntningar, samt vara energieffektivt.

Prototypsystemet är designat för att vara mer tillförlitligt, mer användarvänligt, samt bättre i drift och service än existerande ventilationssystem. Den övergripande funktionen och prestanda förväntas vara bättre. Ventilationssystemet kommer att vara tystare än traditionella mekaniska ventilationssystem.

Slutsatser för bostäder

Enligt laboratorieprovningar uppfyller de viktigaste komponenterna de uppställda funktionskraven. Men det finns potential för att ytterligare förbättra karaktäristiken för den inbyggda självregleringen för fläkten.

Analys och simuleringar av en hel byggnad med hybridventilationssystem visar att systemet uppfyller funktionskraven och förmodligen kommer att uppfylla kundernas förväntningar. Systemet kommer att ge

en energianvändning för uppvärmning i samma storleksordning som för ett traditionellt mekaniskt från- och tilluftssystem med värmeåtervinning, men lägre elanvändning, bättre användarvänlighet och förbättrad luftkvalitet.

Systemet omfattar även individuell mätning av energianvändning, ventilation och innetemperatur för att motivera brukarna att hushålla med energin. Brukaren kan påverka inneklimatet och ventilationen i sin lägenhet.

Den viktigaste marknaden är nybyggnad av flerbostadshus, men kan också vara renovering av befintliga bostäder. Den uppskattade investeringskostnaden för ventilationssystemet är lägre än för traditionell mekanisk från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning, men högre än för mekanisk frånluftsventilation utan värmeåtervinning.

Slutrapporten från projektet »Reshyvent – utveckling av behovsstyrd hybridventilation för flerbostadshus« kan laddas ner från www.energimyndigheten.se.



Nio länder deltog i Reshyventprojektet under perioden 2002–2004 med fyra prototypprojekt. Sverige har representerats av Åke Blomsterberg, WSP Environmental, Eje Sandberg, Stigberget drifteknik, Mickael Lönnberg, Systemair, och Lennart Wetterstad, Wetterstad Consulting.

Generella slutsatser

Hybridventilation i skolor, kontor och bostäder:

- kan ge bra inneklimat
- kräver ett intelligent styr- och övervakningssystem för att välja rätt ventilationssätt
- måste behovsstyras för att få rimlig energianvändning och bra inneklimat
- kan ge lägre elanvändning för ventilation än fläktventilation
- kan ge en energianvändning för uppvärmning jämförbar med samma byggnad med ett traditionellt FTX-system (mekanisk från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning)
- är ett tyst system, men hög ljudnivå utifrån kan vara ett problem
- ger möjlighet till manuell drift som uppskattas av brukarna
- kan ha lägre investeringskostnad än FTX-system
- kräver samarbete mellan arkitekter och tekniska konsulter från början
- kräver noggrann intrimning av värme och ventilation under första året med verksamhet

Liber Distribution AB
Kundtjänst Formas, 162 89 Stockholm
telefon 08-690 95 22, fax 08-690 95 50, e-post formas.ldi@liber.se

Kan laddas ner från Formas nätbokhandel: www.formas.se

Behovsstyrd hybridventilation

– mer än förstärkt självdrag

Broschyren belyser att det finns alternativ till traditionella ventilationslösningar och att man inte behöver göra som man alltid har gjort. Detta är viktigt för utvecklingen av både traditionella och nya ventilationslösningar. Innehållet i broschyren bygger på två internationella projekt. Författare är Mats Sandberg, Högskolan i Gävle, Åke Blomsterberg, WSP, och Åsa Wahlström på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

