



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Vejledning om behovsstyret ventilation

Boliger, børneinstitutioner og skoler

Bergsøe, Niels Christian; Afshari, Alireza

Publication date:
2012

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Bergsøe, N. C., & Afshari, A. (2012). *Vejledning om behovsstyret ventilation: Boliger, børneinstitutioner og skoler*. SBI forlag. SBI Bind 2012 Nr. 17

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

SBi 2012:17

Vejledning om behovsstyret ventilation

Boliger, børneinstitutioner og skoler



Statens Byggeforskningsinstitut
AALBORG UNIVERSITET

Vejledning om behovsstyret ventilation

Boliger, børneinstitutioner og skoler

Niels C. Bergsøe
Alireza Afshari

Titel	Vejledning om behovsstyret ventilation
Undertitel	Boliger, børneinstitutioner og skoler
Serietitel	SBI 2012:17
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2012
Forfattere	Niels C. Bergsøe, Alireza Afshari
Sprog	Dansk
Sidetæl	22
Emneord	Behovsstyret ventilation, boliger, børneinstitutioner, skoler, myndighedsbestemmelser, brugerstyring, følertyper, luftoverførsel, fugt
ISBN	978-87-563-1569-2
Omslag	Foto: Colourbox
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsløven.

Indhold

Forord	4
Behovsstyret ventilation i boliger	5
Generelt	5
Bygningsreglementets bestemmelser	5
Indeluft	6
Afgasning fra byggevarer og inventar	6
CO ₂ -koncentration - tilstedeværelse	6
Indelufttemperatur	6
Fugt	7
Styring af ventilationen	7
Udsugningens fordeling	7
Lufttilførsel	8
Luftoverføring mellem rum	8
Emhætte	8
Fugtniveau	9
Følere	9
Fugtfølere	9
Tilstedeværelsesfølere	9
Placering af følere	10
Robust, simpelt og billigt	10
Sammenfatning	11
Behovsstyret ventilation i børneinstitutioner og skoler	13
Generelt	13
Myndighedsbestemmelser	13
Børneinstitutioner	13
Skoler	13
Fællesbestemmelser for børneinstitutioner og skoler	13
Indeluft	14
Afgasning fra byggevarer og inventar	14
Fugt og indetemperatur	14
CO ₂ -koncentration	15
Styring af ventilationen	15
Manuel brugerstyring	15
Urstyring	15
Følerstyring	16
Tilstedeværelsesfølere	16
CO ₂ -følere	16
Vinduesudluftning	17
Følertyper og placering af følere	18
CO ₂ -følere	18
Fugtfølere	19
Tilstedeværelsesfølere	19
Andre følertyper	19
Placering af følere	19
Robust og simpelt	20
Sammenfatning	21

Forord

Indeklimabestemmelserne i bygningsreglementet muliggør anvendelse af behovsstyret ventilation i børneinstitutioner og skoler, og med BR10 er der tillige åbnet mulighed for at anvende behovsstyret ventilation i mekanisk ventilerede enfamiliehuse og etageboliger.

Der er stor forskel på de belastninger, der forekommer i henholdsvis institutioner og boliger – det gælder både belastningernes art, størrelse og mønster. Boliger anses for at være i brug døgnet rundt, og i boliger er det især fugtbelastningen, der er kritisk. Når det gælder børneinstitutioner og skoler, er der ofte mere klart afgrænsede brugs- og ikke-brugsperioder, og det er især CO₂-koncentrationen i opholdsrum og klasserum, der er indikator for luftkvaliteten i disse bygninger. Nærværende vejledning er af denne grund opdelt i to afsnit – et om behovsstyret ventilation i boliger og et om behovsstyret ventilation i børneinstitutioner og skoler.

Det centrale i vejledningen er *ventilationsformen* behovsstyret ventilation; det er ikke en vejledning i dimensionering af behovsstyrede ventilationssystemer.

Vejledningen er udarbejdet for Energistyrelsen, Byggeri og energieffektivisering. Arbejdet er oprindeligt igangsat af Erhvervs- og Byggestyrelsen.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Energi og Miljø
Oktober 2012

Søren Aggerholm
Forskningschef

Behovsstyret ventilation i boliger

Generelt

Behovsstyret ventilation er en ventilationsform, hvor luftmængderne i ventilationssystemet reguleres efter en målt eller en oplevet koncentration af luftbårne forureninger. Styringen af det behovsstyrede ventilationssystem kan være automatisk fx baseret på rumføler(e) og elektronisk(e) styreenhed(er) eller manuel, hvor det er beboerne i boligen, som fungerer som følere og påvirker systemet. Hensigten med ventilationsformen er at tilpasse luftmængderne i overensstemmelse med ventilationsbehovet; det vil sige at tilvejebringe den rette luftmængde på det rette sted på det rette tidspunkt. Grundlæggende er formålet med at anvende behovsstyret ventilation at opnå et tilfredsstillende og komfortabelt indeklima, navnlig hvad angår luftkvaliteten, på en energioekonomisk måde.

Bygningsreglementets bestemmelser

- Enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation eller ved mekanisk ventilation (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 2).
- Etageboliger skal ventileres ved mekanisk ventilation (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 3).
- Mekanisk ventilation i enfamiliehuse og etageboliger omfatter mekanisk indblæsning, mekanisk udsugning og varmegenvinding (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 1 og stk. 2).
- I køkkener skal der være emhætte med udsugning over komfuret (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 1).
- Udelufttilførslen i beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal være mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 1).
- Udsugningen i køkken, baderum, wc-rum, bryggers etc. skal kunne forceres (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 5).
- I boliger med mekanisk ventilation kan der benyttes behovsstyret ventilation.
Udelufttilførslen skal dog altid være mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal (BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 4).

Ud over ovennævnte bestemmelser rummer bygningsreglementet en række generelle krav til ventilationen i bygninger herunder boliger, se BR10 kap. 6.3.1.1.

For fuldstændighedens skyld henvises desuden til BR10 kap. 8.3 Ventilationssystemer og til DS 447 Norm for mekaniske ventilationsanlæg vedrørende energi- og udførelsesmæssige krav til selve ventilationssystemet. Normen, som indeholder bestemmelser vedrørende projektering, udførelse, afprøvning og drift af mekaniske ventilationsanlæg, er under revision. Den reviderede norm vil dække både mekaniske, naturlige og hybride ventilationsanlæg.

Indeluft

Boliger skal ventileres for at sikre tilfredsstillende luftkvalitet i hygiejnisk og komfortmæssig henseende og for at kontrollere fugtforholdene.

Almindeligt forekommende forureninger i indeklimaet stammer fra forureningskilder, som kan være relateret til selve boligen og bygningsmæssige forhold (afgasning fra byggevarer og inventar, byggefugt, indtrængning af radon og jordgasser), til beboernes tilstedeværelse (bioeffluenter, CO₂, fugt) og til beboernes aktiviteter som fx badning, madlavning, tøjvask og -tørring.

Tilvejebringelse af tilfredsstillende luftkvalitet må først og fremmest ske ved at eliminere potentielle forureningskilder og ved at begrænse emissionen fra materialer, inventar, aktiviteter etc. herunder indtrængning af radon. Forureninger, som skyldes beboernes brug af boligen, håndteres ved hjælp af ventilation, hvor udelufttilførslen har til formål at nedbringe forureningskoncentrationen gennem fortynding.

Afgasning fra byggevarer og inventar

Forureninger i indeluften hidrørende fra bygningsmæssige forhold er almindeligvis kildebetingede, og begrænsning af forureningernes indvirkning på indeluftens kvalitet bør derfor i første række ske ved modifikation af kilden, fx ved anvendelse af andre produkter eller ved reduktion af emissionsraten. Sensoriske undersøgelser har desuden vist, at ubehagelig lugt fra nogle materialer fortsat vil blive vurderet ubehagelig selv ved kraftig ventilation. I praksis kan problemet i sådanne tilfælde således kun elimineres ved at undgå materialet.

CO₂-koncentration - tilstedeværelse

I boliger med få personer kan styring af ventilationen efter indeluftens CO₂-indhold føre til meget lave luftskifter. Dette medfører risiko for, at koncentrationen af andre forureninger og gasser i indeklimaet kan nå uacceptable niveauer. I boliger er CO₂ næppe i sig selv anvendelig som styringsparameter, uanset om der arbejdes med differensen i CO₂-koncentration inde/ude, eller om der alene arbejdes med måling i rummet.

Derimod kan CO₂ anvendes som indikator for persontilstedeværelse, og ventilationsanlægget kan derfor indrettes til at yde en vis basisventilation, så snart der er personer til stede i boligen.

Omtrent samme virkning kan opnås ved hjælp af tilstedeværelsesfølere, som er billigere og mere driftssikre end CO₂-følere. Almindelige tilstedeværelsesfølere er imidlertid ikke i stand til at detektere antallet af tilstedeværende personer. Nye, avancerede tilstedeværelsesfølere kan detektere såvel persontilstedeværelse som personantal, men for øjeblikket er det typisk ikke muligt på basis af tilstedeværelsesfølere at afpasse ventilationens størrelse efter personantallet. Indrettes styringen, så der er en passende basisventilation, så snart der er personer i boligen, vil der især være behov for en forøgelse af ventilation ved høj personbelastning.

Indelufttemperatur

Bygningsreglementet tillader, at den mekaniske indblæsning om sommeren erstattes af udelufttilførsel gennem vinduer, udeluftventiler og lignende.

Boligen bør være indrettet, så det er muligt at modvirke overskudsvarme ved at åbne vinduer eller ventiler. Effekten vil være størst, hvis det er muligt at etablere tværværling, dvs. ved to modstående åbninger i rummet eller i boligen.

Endvidere bør ventilationsanlægget være udformet, så det er muligt at udkoble varmegenvinderen – dvs. bypass. Funktionen kan være automatisk eller manuelt styret.

Fugt

Indeluftens indhold af vanddamp skal begrænses for at hindre kondensation på bygningsdele, for at begrænse antallet af husstøvmider og for at reducere risikoen for skimmelsvampevækst. Kondensation på bygningsdele kan forårsage bygnings-skader og for hurtig nedbrydning af byggematerialer, mens husstøvmider og svampevækst kan fremkalde lugtgener og have uønskede sundhedsmæssige konsekvenser fx allergireaktioner.

Beboernes tilstedeværelse i boligen og beboernes aktiviteter som fx badning, madlavning, opvask, tøjvask og -tørring medfører en fugtbelastning i indeklimaet, som i nogle tilfælde kan være betydelig. Beboerne bør søge at begrænse fugttilskuddet fra aktiviteter, og i sammenhæng med den minimumudsugning der skal være i boligens fugtbelastede rum i henhold til bygningsreglementet, er det muligt at nedbringe fugtbelastningen, men samlet set kan den ikke undgås. Fugt må derfor betragtes som den primære forureningskilde i indeklimaet i boliger og en afgørende faktor i forbindelse med fastlæggelse af ventilationsbehovet.

Styring af ventilationen

Når det gælder boliger, navnlig enfamiliehuse, er det vigtigt, at styringen ikke fører til komplekse og sårbare ventilationssystemer, som er dyre i installation og drift, og som stiller særlige krav til brugernes adfærd eller indsigt i systemernes funktion. Undersøgelser har vist, at beboernes manglende viden om ventilationsinstallationerne i deres bolig kan medføre, at systemerne anvendes på en uhensigtsmæssig måde med middelmådigt indeklima og unødvendigt energiforbrug til følge.

Generelt skal systemerne være robuste, og beboerne må ikke fratages muligheden for selv at påvirke systemet. Beboernes påvirkning af ventilationssystemet er en del af den behovsstyrede ventilation. Beboerne skal have mulighed for at overstyre anlægget fx i form af at forøge udsugningen i bade- og wc-rum eller aktivere forceret udsugning gennem emhætten i køkkenet, og beboerne skal have mulighed for at supplere med vinduesåbning. Beboerne kan eventuelt også have mulighed for at ændre indblæsningsretning og/eller indblæsningsmønster fra indblæsningsarmaturerne i beboelsesrummene. Beboerne bør dog næppe have mulighed for at reducere ventilationen, såfremt følere i det behovsstyrede ventilationssystem signalerer forøget ventilationsbehov.

Feltundersøgelser af radonkoncentrationen i boliger har vist, at forholdet mellem koncentrationen i stuen og i boligen som helhed følger samme mønster. Et andet studie har vist, at der i boliger typisk forekommer en betydelig intern luftudveksling mellem soverummet og de øvrige beboelsesrum. Paralleleres resultaterne til behovsstyret ventilation i boliger, kan det være relevant, at betragte en bolig som bestående af to primære zoner; en "beboelseszone", som omfatter boligens beboelsesrum og en "udsugningszone", som omfatter de rum, hvorfra ventilationssystemet fjerner luft fra boligen.

Udsugningens fordeling

BR10 stiller krav om permanent udsugning i de luftforurenede rum dvs. køkken, wc-rum, bad, bryggers og lignende rum. BR10 stiller desuden krav om, at udsugningen i de nævnte rum skal kunne forøges; i køkkenet til mindst 20 l/s og i bade- og wc-rum til mindst 15 l/s. I særskilt wc-rum, bryggers og kælderrum skal kunne udsuges mindst 10 l/s.

Når det gælder basisudsugning fra de nævnte rum, stiller BR10 alene det generelle krav på 0,3 l/s pr. m². Der stilles ikke krav til fordelingen af den samlede udsugning fra boligen på de luftforurenede rum.

Typiske planløsninger i nye boliger gør, at køkkenet i ventilationsmæssig henseende ofte står i bedre forbindelse med den øvrige bolig end baderum og wc-rum. Hovedparten af den samlede basisudsugning fra boligen kan derfor med fordel ske i køkkenet. BR-kravet til basisudsugningen fra bade- og wc-rum på 0,3 l/s pr. m² gælder, når rummene ikke er i brug, men da sådanne rum aldrig kan anses for fuldstændig ubenyttede, kan basisudsugningen i disse rum fx sættes til ca. 10 l/s. Den "resterende" basisudsugning svarende til 0,3 l/s pr. m² for boligen som helhed, vil da ske i køkkenet.

I en bolig med et etageareal på 100 m² og med ét bade- og wc-rum kan den samlede basisudsugning på 30 l/s således være fordelt med ca. 10 l/s fra bade- og wc-rum og ca. 20 l/s fra køkkenet.

I små boliger vil en basisudsugning på ca. 10 l/s fra bade- og wc-rum medføre, at hovedparten af den samlede basisudsugning sker her. Fordelingen kan være hensigtsmæssig i små boliger. Selvom bade- og wc-rummet i en lille bolig også må forventes at være af begrænset størrelse, kan fugtproduktionen være uafhængig af rummets størrelse. Desuden er køkkenet i en lille bolig ofte begrænset både i størrelse og udrustning, og det benyttes typisk til mindre fugt- og lugtbelastende aktiviteter.

Lufttilførsel

Der skal være lufttilførsel i boligens beboelsesrum. Det er ikke tilstrækkeligt, at der *alene* arrangeres indblæsning i fx boligens entré.

Behovsstyring af ventilationen medfører, at indblæsningsarmaturerne i beboelsesrummene skal kunne håndtere store variationer i volumenstrømmen, hvilket kan være en udfordring i relation til både træk og støj. Ved maksimal udsugning og dermed lufttilførsel kan løsningen være at indkoble et ekstra indblæsningsarmatur fx i entreen og derved "aflaste" indblæsningsarmaturerne i beboelsesrummene. Ved minimum lufttilførsel kan det rimeligvis accepteres, at der forekommer forhøjede lufthastigheder i opholdszone, da boligen må antages at være tom, på de tidspunkter hvor anlægget arbejder i minimumtilstand.

Luftoverføring mellem rum

For at udsugningen i boligens fugtbelastede rum fx bryggers, bade- og wc-rum kan fungere efter hensigten, er det nødvendigt at sikre luftens mulighed for at strømme *fra* beboelsesrummene *til* de fugtbelastede rum. I vejledningen til BR10 kap. 6.3.1.2, stk. 5 anføres en åbning på mindst 100 cm² mod adgangsrummet. Åbningen kan være en simpel spalte under døren eller en luftoverføringsventil i væggen eller i døren til rummet.

Åbningen kan også anbringes over døren, hvorved risikoen for træk reduceres. Samtidig gør placeringen det muligt at forskyde åbningerne på de to sider af døren/væggen i forhold til hinanden og derved opnå en begrænsning af støjoverføringen. Luftoverføringsventiler kan også forsynes med lyd-dæmpning.

BR10 kap. 6.3.1.1, stk. 4 bestemmer desuden, at luftoverføring mellem rum kun må ske fra mindre til mere luftforurenede rum.

Emhætte

Boliger skal være udstyret med en emhætte over komfuret i køkkenet, emhætten skal være mekanisk og have afkast til det fri. En såkaldt recirkulationsemhætte med kulfilterindsats er således ikke tilstrækkelig.

Emhætten kan være tilsluttet ventilationsanlægget. Såfremt ventilationsanlægget er forsynet med roterende varmegenvinder, kan det være nødvendigt, at anvende selvstændig emhætte med eget afkast til det fri. Såfremt den selvstændige emhætte kan afbrydes, er det nødvendigt, at der sikres udsugning i køkkenet på anden måde.

Fugtniveau

Som nævnt ovenfor skal indeluftens indhold af vanddamp begrænses for at hindre kondensation på bygningsdele, for at begrænse antallet af husstøvmider og for at reducere risikoen for skimmelsvampevækst.

Indeluften tilføres vanddamp fra beboerne og fra beboernes aktiviteter, men en del af fugtproduktionen, den del der finder sted i køkken og bad, bortventileres straks og registreres derfor ikke i beboelsesrummene. Beregninger har vist, at med et maksimalt tilladeligt fugttilskud til indeluften på omkring 4 g vand pr. kg luft, fordres en udelufttilførsel på ca. 7 l/s pr. person, som i typiske boligstørrelser svarer til ca. 0,3 l/s pr. m² etageareal.

I typiske boliger bør basisventilationen derfor være 0,3 l/s pr. m², men da såvel fugtkilderne som fugtproduktionen kan være ujævnt fordelt i tid og sted, er det relevant at behovsstyre ventilationen, så den i perioder er højere og i andre perioder lavere.

Husstøvmider kan ifølge almindelige anbefalinger begrænses ved at indeluftens vanddampindhold i nogle måneder i opvarmningsperioden holdes lavere end ca. 7 g vand pr. kg luft, svarende til en relativ fugtighed på omkring 45 pct. ved 20-22 °C.

Skimmelsvampevækst kan modvirkes ved at benytte gennemtænkte konstruktionsdetaljer, ved at vælge hensigtsmæssige materialer og ved at sikre den fornødne udelufttilførsel. Såfremt der sikres en udelufttilførsel, som forhindrer kondensation, og at generelle anbefalinger til begrænsning af husstøvmider følges, vil risikoen for skimmelvækst ligeledes blive reduceret.

Følere

Fugtfølere

Fugtfølere er oftest af typerne polyætylen-strip hygrometer, kapacitiv hygrometer, konduktans-film hygrometer og litiumkloridfølere. Da fugtfølere er almindeligt anvendt i ventilationssystemer, er der gennemført talrige undersøgelser af deres måleevne. Flere undersøgelser viser, at usikkerheden for fugtmålere er ca. ±3,5 %.

En særlig type fugtfølere er passive følere, dvs. følere som fungerer uden strømforsyning. Der findes fx ventiler, som har indbygget et fugtfølsomt element, som er i stand til at regulere spjældåbningen i ventilen i afhængighed af indeluftens fugtniveau. Ventilerne findes både som udeluftventiler og som udsugningsventiler til brug i bade- og wc-rum.

Tilstedeværelsesfølere

Tilstedeværelsesfølere ses ofte anvendt til automatisk styring af belysning og i forbindelse med alarmsystemer. Tilstedeværelsesfølere anvender typisk passiv infrarød eller ultralyd bevægelsesmåleteknik. Nogle anvender desuden hybrid eller dual-teknologi. Ved brug af dynamiske infrarøde billeder kan nye følertyper detektere antallet af personer i rummet. Denne type følere er velegnede til brug ved behovstyret ventilation.

Følsomheden af tilstedeværelsesfølere har stor indflydelse på styringen af ventilationsanlægget, og det er derfor vigtigt, at følerne indstilles korrekt i hvert enkelt tilfælde. Hvis følsomheden sættes for lavt og personerne i rummet sidder stille, er der risiko for utilfredsstillende indeklima. Problemet kan afhjælpes ved at indbygge forsinkelse i føleren.

I forsøgssammenhæng er der eksperimenteret med at styre ventilationen efter forskellen i luftens CO₂-indhold inde/ude, dvs. ved CO₂-følere henholdsvis i indblæsningsluften og i udsugningsluften. Eksperimenterne har vist, at der kan opnås samme funktion ved anvendelse af tilstedeværelsesfølere, som er både billigere og mere robuste end CO₂-følere.

Placering af følere

Som hovedregel skal følere placeres på et sted, hvor den omgivende luft er repræsentativ for luften i opholdszonen.

Såfremt følere placeres på en væg i rummet, skal de placeres i nærheden af opholdszonen. Opholdszonen er det område i rummet, hvor det kan forventes at personer opholder sig i længere tid, og hvor kravene til indeklimaet skal være opfyldt. Følere bør ikke placeres i hjørner, tæt ved dør- og vinduesåbninger, i områder med direkte sollys, i områder, der er i direkte kontakt med indblæsnings- eller udsugningsluft, nær personer, som opholder sig i rummet eller i områder, hvor der forekommer særlig luftforurening.

Ved opblandingsventilation, som er den typiske ventilationsform i boliger, anbefales det, at følerne placeres mellem 0,9 og 1,8 m over gulvet. Ved fortrængningsventilation anbefales det, at følerne placeres i opholdszonen omtrent i hovedhøjde.

I visse tilfælde placeres en føler i udsugningskanalen. Placeringen er ofte valgt, fordi det i praktisk henseende er det enkleste, men det er imidlertid usikkert, om det i driftssituationen er et hensigtsmæssigt sted at placere føleren. Såfremt der forekommer kortslutning mellem indblæsning og udsugning, vil føleren i udsugningskanalen registrere bedre luftkvalitet, end der forekommer i opholdszonen. Følgen er utilstrækkelig ventilation.

Luften, der udsuges fra rummet, kan udgøre "et gennemsnit" af den luft, der forekommer i rummet. Hvis der ikke er fuld opblanding, kan luften, der udsuges, adskille sig fra den luft, der forekommer i opholdszonen. Såfremt der anvendes fortrængningsventilation, kan det være vanskeligt at udpege en god placering. Placeringen afhænger både af rummets geometri og af personbelastningen.

For at sikre noget nær prompte ventilation i bade- og wc-rum bør behovsstyringen desuden omfatte en bevægelsesføler i disse rum. Der kan samtidig indbygges både forsinkelse og efterløb, så udsugningen først forøges efter fx 1 minuts ophold og fortsætter yderligere fx 10 minutter efter opholdet.

Der pågår for tiden undersøgelser, som skal afdække dels valg og placering af følere i forbindelse med behovsstyret ventilation i boliger dels styringsstrategier. Vejledningen vil blive opdateret med ny information.

Robust, simpelt og billigt

Hidtidige bestemmelser vedrørende ventilation og ventilationssystemer i boliger har sikret forholdsvis robuste og driftssikre systemer, som er i stand til at tilvejebringe tilfredsstillende luftkvalitet i typiske boliger under typisk belastning. Det er vigtigt, at behovsstyrede ventilationssystemer bevarer en tilnærmelsesvis tilsvarende robust- og driftssikkerhed, samtidig med at der opnås tilfredsstillende luftkvalitet også i boliger, som ikke er under typisk belastning, og samtidig med at energiforbruget reduceres.

Eksperimenter med forsøgssystemer både under laboratorieforhold og i praksis har konkluderet, at selvom det kan vises, at komplekst opbyggede behovsstyrede ventilationssystemer præsterer tilfredsstillende, kan sådanne systemer ikke entydigt anbefales til bredere anvendelse – ikke med den nuværende teknologi i det mindste. Systemerne er sårbare, og der kan ofte opnås tilsvarende tilfredsstillende funktion med mere simpelt opbyggede systemer.

Det er samtidig tydeligt, at en vigtig parameter i forbindelse med installation af behovsstyret ventilation i boliger er de meromkostninger, der er forbundet med sådanne systemer. Det indikeres, at for at det kan forventes, at bygningsejere og bygherrer vælger at efterspørge behovsstyret ventilation, må omkostningerne til installation af ventilation ikke blive forøget med mere end ca. 10 procent.

Sammenfatning

- Boliger skal ventileres for at sikre tilfredsstillende luftkvalitet i hygiejnisk og komfortmæssig henseende og for at kontrollere fugtforholdene.
- I boliger med mekanisk ventilation tillader BR10, at der benyttes behovsstyret ventilation.
Udelufttilførslen skal dog altid være mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal.
- Behovsstyret ventilation er en ventilationsform, hvor luftmængderne i ventilationssystemet reguleres efter en målt eller en oplevet koncentration af luftbårne forureninger.
- Styringen af det behovsstyrede ventilationssystem kan være
 - automatisk fx baseret på rumføler(e) og elektronisk(e) styreenhed(er) eller
 - manuel, hvor det er beboerne i boligen, som fungerer som føle-re og påvirker systemet.
- Beboernes åbning af vinduer, betjening af ventiler til det fri, aktivering af forceret udsugning gennem emhætte i køkkenet etc. udgør en del af et behovsstyret ventilationssystem.
- Forureninger i indeluften skal i første række reduceres gennem elimineringskilder og begrænsning af kildestyrker.
Koncentrationen af øvrige forureninger kan nedbringes ved hjælp af fortynding med udeluft – ventilation.
- I boliger er det først og fremmest indeluftens fugtindhold, som er bestemmende for ventilationsbehovet.
- Fugtbelastningen skyldes beboernes tilstedeværelse og beboernes aktiviteter, eksempelvis madlavning, opvask, badning, tøjvask etc.
- CO₂ er en anerkendt indikator for indeluftens kvalitet blandt andet i relation til bioeffluenter, men i boliger er luftkvaliteten næppe afgørende for ventilationsbehovet.
Tilmed kan styring af ventilationen efter indeluftens indhold af CO₂ føre til meget lave ventilationsrater i boliger med få personer.
- Det kan i boliger af en vis størrelse være relevant at betragte boligen som bestående af to zoner – en "beboelseszone", som består af boligens beboelsesrum og en "udsugningszone", som består af det rum, hvorfra der fjernes luft fra boligen.
- BR10 stiller ikke krav om fordelingen af den totale basisudsugning (0,3 l/s pr. m²) på henholdsvis køkken og bade- og wc-rum.
 - Det vil normalt være hensigtsmæssigt, at sætte basisudsugningen i bade- og wc-rum til ca. 10 l/s og udsuge "resten" svarende til 0,3 l/s pr. m² etageareal for boligen som helhed i køkkenet.
 - I boliger af typisk størrelse og større vil hovedparten af den totale udsugning ske i køkkenet.
 - I små boliger fx klubværelser og ældreboliger vil hovedparten af basisudsugningen ske i wc-rummet.
- Indblæsningsarmaturer skal kunne håndtere store variationer i volumenstrømmen.
 - Ved maks. volumenstrøm kan indkobling af et ekstra indblæsningsarmatur i fx entreen aflaste armaturerne i beboelsesrummene.
 - Ved min. volumenstrøm kan forhøjet lufthastighed i opholdszonen rimeligvis accepteres, da boligen må antages at være tom.
- Luftoverføring mellem rum må kun ske fra mindre til mere luftforurenede rum. Åbning fx i wc-rum mod adgangsrum skal sikres.
- Emhætte i køkkenet skal have afkast til det fri – enten via ventilationsanlægget eller ved særskilt afkast. En recirkulationsemhætte med kulfilterindsats er ikke tilstrækkelig.

- Kontrol af indeluftens fugtniveau med henblik på modvirkning af kondensation på bygningsdele, begrænsning af antallet af husstøvmider og reduktion af risikoen for skimmelsvampevækst fordrer i typiske boliger, at basisventilationen er 0,3 l/s pr. m², og at indeluftens vanddampindhold i nogle måneder i opvarmningsperioden holdes lavere end ca. 7 g vand pr. kg luft svarende til ca. 45 pct. relativ fugtighed ved 20-22 °C.
- Foruden elektroniske fugtfølere beregnet til tilkobling til styreenheder, findes der passive fugtfølere, som fungerer uden strømforsyning. Følerne findes indbygget i fx udsugnings- og tilluftventiler.
- Tilstedeværelsesfølere er forholdsvis billige og driftssikre, men kan normalt ikke detektere størrelsen af personbelastningen.
- Styring efter differensen i luftens CO₂-indhold inde/ude kan ofte i stedet opnås ved anvendelse af tilstedeværelsesfølere. I boliger er CO₂ dog normalt ikke relevant som styreparameter.
- Følere skal placeres, så den omgivende luft er repræsentativ for luften i opholdszonen. Ved opblandingsventilation anbefales mellem 0,9 og 1,8 m over gulv.
Følere bør *ikke* placeres i hjørner, tæt ved dør- og vinduesåbninger, i områder med direkte sollys, i områder, der er i direkte kontakt med indblæsnings- eller udsugningsluft, nær personer, som opholder sig i rummet eller i områder, hvor der forekommer særlig luftforurening.
- For at sikre noget nær prompte ventilation i bade- og wc-rum bør behovsstyringen desuden omfatte en bevægelsesføler i disse rum. Der kan samtidig indbygges både forsinkelse og efterløb, således at udsugningen først forøges efter fx 1 minuts ophold og fortsætter yderligere fx 10 minutter efter opholdet.
- Hidtidige bestemmelser vedrørende ventilation og ventilationssystemer i boliger har sikret forholdsvis robuste og driftssikre systemer, som er i stand til at tilvejebringe tilfredsstillende luftkvalitet i typiske boliger under typisk belastning. Det er vigtigt, at behovsstyrede ventilationssystemer bevarer en tilnærmelsesvis tilsvarende robusthed og driftssikkerhed, samtidig med at der opnås tilfredsstillende luftkvalitet, også i boliger, som ikke er under typisk belastning, og samtidig med at energiforbruget reduceres.
- Eksperimenter med forsøgssystemer både under laboratorieforhold og i praksis har konkluderet, at selvom det kan vises, at komplekst opbyggede behovsstyrede ventilationssystemer præsterer tilfredsstillende, kan sådanne komplekse systemer ikke entydigt anbefales til bredere anvendelse. Selve ventilationsformen behovsstyret ventilation forkastes ikke, men komplekst opbyggede systemer er sårbare, og der kan ofte opnås tilsvarende tilfredsstillende funktion med mere simpelt opbyggede systemer.
- Det er samtidig tydeligt, at en vigtig parameter i forbindelse med installation af behovsstyret ventilation i boliger er de meromkostninger, der er forbundet med sådanne systemer. Det indikeres, at for at det kan forventes, at bygningsejere og bygherrer vælger at efterspørge behovsstyret ventilation, må omkostningerne til installation af ventilation ikke blive forøget med mere end ca. 10 procent.

Behovsstyret ventilation i børneinstitutioner og skoler

Generelt

Behovsstyret ventilation er en ventilationsform, hvor luftmængderne i ventilationssystemet reguleres efter en målt eller en oplevet koncentration af luftbårne forureninger. Styringen af det behovsstyrede ventilationssystem kan være automatisk fx baseret på rumføler(e) og elektronisk(e) styreenhed(er) eller manuel, hvor det er personerne i rummet, som fungerer som følere og påvirker systemet.

Formålet med ventilationsformen er at tilpasse luftmængderne i opholdsrum i børneinstitutioner og i klasserum i skoler i overensstemmelse med ventilationsbehovet for derigennem at forbedre luftkvaliteten i opholdstiden og i undervisningstiden. Samtidig er det målet at sikre, at ventilationen sker på en energioekonomisk måde.

Myndighedsbestemmelser

Børneinstitutioner

- Opholdsrum i børneinstitutioner skal mindst have et frit gulvareal på 3 m² pr. barn i vuggestuer og 2 m² pr. barn i børnehaver (BR10 kap. 3.4.2, stk. 2).
- Opholdsrum i børneinstitutioner skal ventileres ved mekanisk indblæsning, udsugning og varmegenvinding. Udelufttilførslen skal være mindst 3 l/s pr. barn og mindst 5 l/s pr. voksen, samt 0,35 l/s pr. m² etageareal (BR10 kap. 6.3.1.3, stk. 1).

Skoler

- Elevtallet i grundskolens klasser må normalt ikke overstige 28 ved skoleårets begyndelse. Kommunalbestyrelsen kan i særlige tilfælde tillade op til 30 elever i grundskolens klasser (Folkeskoleloven § 17).
- Normalklasserum i skoler og lign. skal have et rumindhold på mindst 6 m³ pr. person. Det er en forudsætning, at der etableres effektiv ventilation (BR10 kap. 3.4.2, stk. 2).
- Normalklasserum i skoler skal ventileres ved mekanisk indblæsning, mekanisk udsugning og varmegenvinding. Udelufttilførslen skal være mindst 5 l/s pr. person samt 0,35 l/s pr. m² gulv (etageareal) (BR10 kap. 6.3.1.3, stk. 2).
- Kravet om mekanisk ventilation kan fraviges, såfremt der anvendes særlige byggetekniske tiltag (BR10 kap. 6.3.1.3, stk. 2).

Fællesbestemmelser for børneinstitutioner og skoler

- Der kan afviges fra de angivne udelufttilførsler, hvis der benyttes behovsstyret ventilation. I brugstiden skal ventilationen dog være mindst 0,35 l/s pr. m² etageareal (BR10 kap. 6.3.1.3, stk.1 og stk. 2).
- Det skal sikres, at indeluftens CO₂-indhold ikke i længere perioder overstiger 0,1 pct. (BR10 kap. 6.3.1.3, stk. 1 og stk. 2).
- I vejledningsteksten (BR10 kap. 6.3.1.3, stk. 1 og stk. 2) anføres, at ventilationskravet ikke i sig selv er tilstrækkeligt til under alle forhold at sikre, at indeluftens CO₂-indhold ikke i længere perioder overstiger

0,1 pct. Ventilationsanlæg bør derfor indrettes med variabel ydelse i afhængighed af belastningen, så luftskiftet er højere i rum, hvor belastningen er størst og mindre i rum, hvor der er mindre behov.

- I børneinstitutioner og skoler opført efter den frivillige 2020 bygningsklasse skal det sikres, at indeluftens CO₂-indhold ikke overstiger 900 ppm i længere perioder (BR10 kap. 7.2.5.1, stk. 11).
- At-vejledning A.1.2: Et tilstrækkeligt luftskifte fastlægges ud fra de forureninger, lokalet modtager. Normalt identificeres den forurening, der belaster lokalet mest, hvorefter det nødvendige luftskifte beregnes. Hvis personerne i et lokale er den største forureningskilde, måles luftens indhold af CO₂, som ikke bør være større end 0,1 pct. Hvis luftens indhold overstiger 0,2 pct. CO₂ i mere end korte perioder af en dag, er luftskiftet utilstrækkeligt. Desuden anføres, at grænsen på 0,2 pct. CO₂ normalt kun overskrides i meget tætte bygninger, hvor der er mange personer som fx børneinstitutioner og skoler.

Ud over ovennævnte bestemmelser rummer bygningsreglementet en række generelle krav til ventilationen i bygninger herunder børneinstitutioner og skoler, se BR10 kap. 6.3.1.1.

For fuldstændighedens skyld henvises desuden til BR10 kap. 8.3 Ventilationsystemer og til DS 447 Norm for mekaniske ventilationsanlæg vedrørende energi- og udførelsesmæssige krav til selve ventilationssystemet. Normen, som indeholder bestemmelser vedrørende projektering, udførelse, afprøvning og drift af mekaniske ventilationsanlæg, er under revision, og den reviderede norm vil dække både mekaniske, naturlige og hybride ventilationsanlæg.

Indeluft

Indeluften i bygninger herunder børneinstitutioner og skoler forurenes med en lang række gasser og partikler. Kilderne kan være byggematerialer og inventar, herunder maling, lakker, tæpper og andre gulvbelægningsmaterialer, møbler, etc., og også forskellige aktiviteter og brug af udstyr og maskiner medfører, at indeluften bliver forurenet. Koncentrationen af forureningerne i indeluften afhænger af forureningskilderne, deres kildestyrke og tilførslen af udeluft, som fortynder forureningerne.

Vigtige led i bestræbelserne på at tilvejebringe tilfredsstillende luftkvalitet er først og fremmest at eliminere potentielle forureningskilder i indeklimaet og at reducere emissionen af gasser og partikler fra materialer, inventar, aktiviteter etc. Forureninger, som skyldes persontilstedeværelse (børn, elever, pædagoger og lærere), kan ikke umiddelbart elimineres eller nedbringes, og her har ventilation til formål at nedbringe forureningskoncentrationen gennem fortynding.

Afgasning fra byggevarer og inventar

Forureninger i indeluften hidrørende fra bygningsmæssige forhold er almindeligvis kildebetingede, og begrænsning af forureningskildens indvirkning på indeluftens kvalitet bør derfor i første række ske ved modifikation af kilden, fx ved anvendelse af andre produkter eller ved reduktion af emissionsraten. Sensoriske undersøgelser har desuden vist, at ubehagelig lugt fra nogle materialer fortsat vil blive vurderet ubehagelig selv ved kraftig ventilation. I praksis kan problemet i sådanne tilfælde således kun elimineres ved at undgå materialet.

Fugt og indetemperatur

Personer afgiver fugt, og når det gælder institutioner og skoler, medfører også børnenes overtøj, tasker og aktiviteter, at indeluften tilføres fugt. Såfremt

der indføres regler om, at vådt overtøj og lignende skal anbringes i en overtøjsgarderobe uden for opholdsrum og klasserum, vil indeluftens vanddampindhold normalt ikke være dimensionsgivende for ventilationen i de nævnte rum.

Tilstedeværelse af børn og voksne vil også medføre, at temperaturen i rummet stiger. Det er imidlertid tvivlsomt, om det er relevant at dimensionere ventilationssystemet, så det alene skal kunne håndtere forhøjede temperaturer. Styring efter indeluftens temperatur kan være relevant i energimæssig sammenhæng, men det vil ikke være tilstrækkeligt for at sikre god luftkvalitet. Det anbefales, at børn og voksne informeres om, at vinduesudluftning er en både hensigtsmæssig og velfungerende metode til at forbedre luftkvaliteten og til at nedbringe rumtemperaturen; i det mindste i perioder hvor udetemperaturen er lavere end indetemperaturen.

Vinduesudluftning er omtalt nedenfor.

CO₂-koncentration

Den primære kilde til forurening af indeluften i opholdsrum i børneinstitutioner og i klasserum i skoler er persontilstedeværelse – børn, elever, pædagoger og lærere. En væsentlig bestanddel af den forurening, som udgår direkte fra personer, er CO₂ på grund af de menneskelige stofskifteprocesser. CO₂ er under almindelige forhold ikke direkte en skadelig bestanddel af indeluften, men indeluftens CO₂-indhold er en god og almindelig anvendt indikator for luftkvaliteten.

Styring af ventilationen

Klasserummene i en skole er typisk ujævnt belastede. I perioder gennemføres flere lektioner uden afbrydelser, og i andre perioder deles klassens elever op i mindre grupper, som arbejder uden for klasserummet. Omtrent tilsvarende varierende belastning kan forekomme i opholdsrum i børneinstitutioner.

Strategien for styring af ventilationen i opholdsrum i børneinstitutioner og klasserum i skoler kan tilrettelægges fra en helt simpel manuel brugerstyring over urstyring og programmerbare styringer til mere avancerede styringer, hvor der anvendes én eller flere følere i rummene. Behovsstyring af ventilationen indbefatter også vinduesudluftning.

Manuel brugerstyring

Fuldstændig manuel brugerstyring kan være velfungerende. Funktionen er dog afhængig af, at de voksne brugere af bygningen er klar over dels hvilken betydning tilfredsstillende luftkvalitet har på børn og elever dels at luftkvaliteten i opholds- og klasserum alene afhænger af deres påvirkning af ventilationssystemet. Det kan desuden være nødvendigt, at de voksne brugere forstår, præcis hvordan systemet fungerer, for at modvirke unødigt energiforbrug.

Manuel brugerstyring af ventilationen kan i mange tilfælde sikre, at ventilationsbehovet dækkes, men efterkommer ikke altid de tids- og forureningsmæssige variationer, som forekommer.

Energiforbruget kan være unødigt højt, da der eventuelt ventileres på tidspunkter, hvor ventilationsbehovet er mindre.

Urstyring

Brugen af børneinstitutioner og skoler er ofte karakteriseret ved, at der forekommer planmæssige og klart adskilte brugsperioder og ikke-brugsperioder.

Det kan derfor være oplagt, at udstyre ventilationsanlægget med urstyring eller en mere avanceret programmerbar styring, som kan styre anlægget efter et fastlagt program.

Styringen kan i den simpleste form omfatte driftsniveauerne "bygning i brug" og "bygning ikke i brug". Det anbefales imidlertid, at der arrangeres flere forskellige driftsniveauer.

Såfremt ventilationsanlægget stoppes om natten, kan det være hensigtsmæssigt, at anlægget på ugens hverdage starter op på lavt niveau, nogen tid før børn, pædagoger og lærere ankommer.

På skoler kan der være et driftsniveau, der er indrettet efter, at skolen uden for normal skoletid anvendes af andre, som ikke "belaster" indeklimaet på samme måde som elever og lærere i løbet af en skoledag.

Følerstyring

Tilstedeværelsesfølere

Såfremt ventilationsanlægget i perioder stoppes eller kører på et niveau, der er lavere end basisventilation, er det nødvendigt at supplere systemet med tilstedeværelsesfølere. Med følerne skal det sikres, at ventilationen starter ved persontilstedeværelse, på tidspunkter hvor anlægget ellers ville have været i en særlig lav driftstilstand.

Det vil typisk være hensigtsmæssigt at følerne anbringes i gangarealer.

CO₂-følere

Indeluftens CO₂-koncentration er et anerkendt mål for luftkvaliteten. CO₂-følere i de enkelte rum kan give signal til en central styreenhed, som står for at regulere anlæg og reguleringsspjæld så luftmængden tilpasses i overensstemmelse med belastningen, som normalt vil være antallet af elever og lærere.

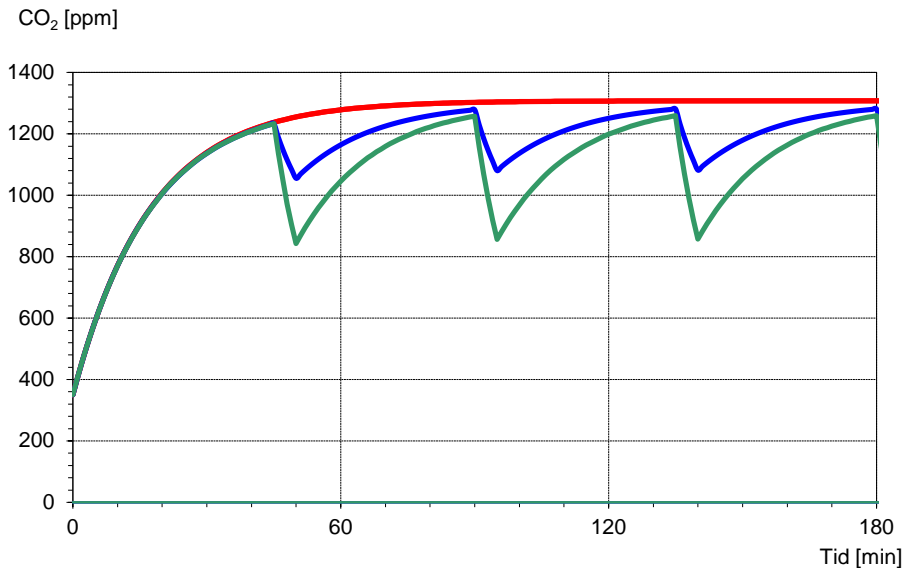
Eksempel

Et typisk normalklasserum med et gulvareal på 60 m² og en rumhøjde på 3 m, som er den almindeligt anbefalede rumhøjde, vil have et rumvolumen på 180 m³. Voluminet vil netop dække bygningsreglementets volumenkrav på 6 m³ pr. person med det maksimale elevtal på 28 og 2 lærere.

En udelufttilførsel i det nævnte klasserum i henhold til bygningsreglementets minimum på 174 l/s ((5 l/s pr. pers. • 30 pers.) + (0,35 l/s pr. m² • (60 m² • 1,15¹))) vil medføre en CO₂-koncentration under stationære forhold, dvs. konstant udelufttilførsel og konstant CO₂-afgivelse, som vist den røde kurve i figur 1.

Antages det, at udelufttilførslen efter hver lektion på 45 minutter forøges til det dobbelte i 5 minutter, og antages det, at elever og lærere *ikke* forlader klasserummet under den forcerede ventilation, vil CO₂-koncentrationen forløbe som vist ved den blå kurve i figur 1. Antages det, at elever og lærere forlader klasserummet under den forcerede ventilation fås den grønne kurve i figur 1.

Som det fremgår, overstiger CO₂-koncentrationen 0,1 pct. i mere end korte perioder. For at leve op til BR-kravet under stationære forhold skal ventilationen forøges med ca. 50 pct. til ca. 260 l/s.



Figur 1. Klasserum 180 m³, 28 elever og 2 lærere, CO₂-emission 20 l/h pr. person, CO₂ ude 350 ppm. Rød kurve: Udelufttilførsel 174 l/s. Blå kurve: Udelufttilførsel 174 l/s og udluftning 348 l/s i 5 min hver 45 min.; elever og lærere til stede under udluftning. Grøn kurve: Samme udluftning; elever og lærere ikke til stede under udluftning.

Vinduesudluftning

For at kunne dimensionere ventilationen i opholdsrum i børneinstitutioner og klasserum i skoler er det nødvendigt at kende de tidsmæssigt forekommende belastninger og samtidigheden af belastningerne. Selvom der, som førnævnt, kan være klart adskilte brugs- og ikke-brugsperioder, som motiverer anvendelse af forskellige former for styring af ventilationen, benyttes fx klasserum i skoler meget forskelligt i løbet af en skoledag. Ventilationsbehovet kan i løbet af en dag variere med en faktor 10, og personer og aktiviteter vil til tider forurene luften i klasserum langt mere, end selv de kraftigste ventilationsanlæg i skoler kan klare. Det er således nødvendigt at elever og lærere erkender, at deres evne til at håndtere de skiftende ventilationsbehov kan være mere afgørende for luftkvaliteten i brugstiden end størrelsen af det luftskifte, som tilvejebringes af ventilationsanlægget.

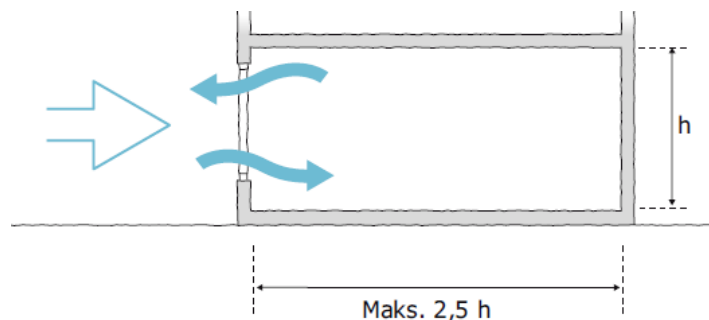
Vinduesudluftning giver under en række forudsætninger gode muligheder for energioekonomisk drift. Det kræver dog blandt andet, at elever og lærere bruger vinduerne hensigtsmæssigt, og at begge parter er indstillet på, at træk og kølig luft kan begrænse brugen af rummene under udluftningen særligt om vinteren.

Det er vigtigt, at vinduerne åbnes tilstrækkeligt til, at luften udskiftes et par gange i løbet af udluftningsperioden, og at udluftning sker mindst én gang i timen.

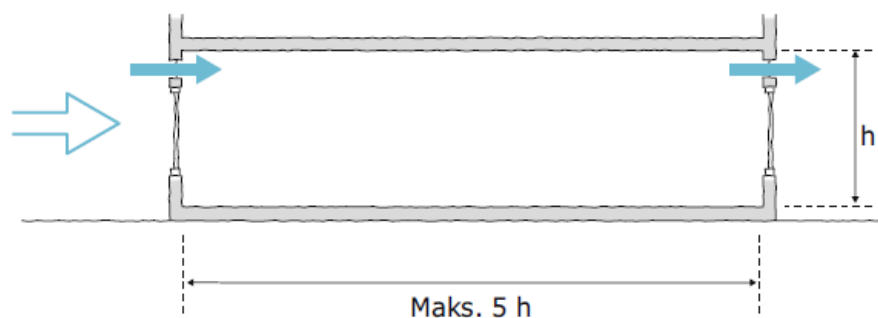
Hvis der ved vinduesudluftningen er tale om såkaldt ensidet ventilation, fx ved at døren til et tilstødende gangareal er lukket og vinduet er eneste åbning, se figur 2, er luftstrømmens indtrængningsdybde begrænset. Vinduesudluftning fungerer bedst, hvis klasserummets dybde ikke overstiger 2-2,5 gange rumhøjden. Er rumhøjden i klasserummet ca. 3 m, bør rumdybden således ikke overstige 6-8 m.

Såfremt det er muligt at etablere tværventilation, fx ved at åbne døren til et tilstødende gangareal, se figur 3, og derved eventuelt udnytte vindtryk og termisk opdrift, vil ventilationen være effektiv, når rumdybden er op til 5 gange rumhøjden.

Brug af vinduesudluftning kan være hæmmet i områder med forurening og støj ude.



Figur 2. Ensidet ventilation.



Figur 3. Tværvæntilation.

Følertyper og placering af følere

CO₂-følere

CO₂-følere er typisk baseret på ikke-dispersiv infrarød (NDIR) teknologi. Gasarter absorberer lys ved en specifik bølgelængde, og i CO₂-føleren bestemmes koncentrationen af CO₂ ved at måle CO₂-molekylernes absorption af infrarødt lys.

CO₂-følere baseret på NDIR har lav hysteresis, høj målesikkerhed og lineart. Ulemper har vist sig ved langtidstabilitet. Følere er sensitive over for fugt, temperatur og tobaksrøg. Forbedringer med blandt andet selvkalibrering (ABC) kompenserer for ældning af den infrarøde kilde og sikrer høj driftssikkerhed, langtidstabilitet og eliminerer behovet for periodisk kalibrering. Dog kræves det, at bygningen, der måles i, ikke er i konstant brug, da føleren "starter forfra" hver dag med den lavest målte CO₂-koncentration (baggrundskoncentrationen).

Et andet princip til måling af CO₂ er baseret på en metal-oxid-halvleder (MOS) og elektrokemi. MOS-følere er ofte brugt til måling af flygtige organiske forbindelser (VOC), og følsomheden over for CO₂ er relativt lav. Der er udviklet nye typer af MOS-følere med lanthan, som har øget følsomheden over for CO₂.

Sammenlignet med følere baseret på NDIR har de elektrokemiske følere typisk kortere levetid og stabilitet, behov for hyppigere kalibrering, og de er mindre nøjagtige. Til gengæld har de en kortere opvarmningstid og egner sig bedre til anvendelse i fugtige miljøer.

CO₂-følere kan være "selvkalibrerende". I perioder, hvor bygningen med sikkerhed ikke er i brug, kører ventilationen, indtil der opnås en stabil måleværdi fra følerne. Værdien bør være på niveau med udeniveauet. Ved større afvigelse bør automatikken give alarm, så føleren kan blive udskiftet. En fejlbehæftet CO₂-føler, kan have alvorlige følger for luftkvaliteten eller for energiforbruget.

Fugtfølere

Fugtfølere er oftest af typerne polyætylen-strip hygrometer, kapacitiv hygrometer, konduktans-film hygrometer og litiumkloridfølere. Da fugtfølere er almindeligt anvendt i ventilationssystemer, er der gennemført talrige undersøgelser af funktionen.

En særlig type fugtfølere er passive følere, dvs. følere som fungerer uden strømforsyning. Der findes fx ventiler, som har indbygget et fugtfølsomt element, som er i stand til at regulere spjældåbningen i ventilen i afhængighed af indeluftens fugtniveau. Ventilerne findes både som tilluftventiler til montering i ydervægge og som fraluftventiler til brug i rum med udsugning.

Tilstedeværelsesfølere

Tilstedeværelsesfølere ses ofte anvendt til automatisk styring af belysning og i forbindelse med alarmsystemer. Tilstedeværelsesfølere anvender typisk passiv infrarød eller ultralyd bevægelsesmåleteknik. Nogle anvender desuden hybrid eller dual-teknologi. Nyere følertyper er i stand til at detektere antallet af personer i rummet. Sådanne følere kan være velegnede til brug ved behovstyret ventilation.

Følsomheden af tilstedeværelsesfølere har stor indflydelse på styringen af ventilationsanlægget, og det er derfor vigtigt, at følerne indstilles korrekt i hvert enkelt tilfælde. Hvis følsomheden sættes for lavt og personerne i rummet sidder stille, er der risiko for utilfredsstillende indeklima. Problemet kan afhjælpes ved at indbygge forsinkelse i føleren.

I forsøgssammenhæng er der eksperimenteret med at styre ventilationen efter forskellen i indeluftens og udeluftens CO₂-indhold, dvs. ved CO₂-følere henholdsvis i indblæsningsluften og i udsugningsluften. Eksperimenterne har vist, at der kan opnås samme funktion ved anvendelse af tilstedeværelsesfølere, som er både billigere og mere robuste end CO₂-følere.

Andre følertyper

Følere til måling af luftkvalitet er baseret på en metal-oxid-halvleder (MOS) teknologi, hvor den ønskede målegas reagerer med oxygen på overfladen af føleren, hvorved modstanden af overfladen ændres. Luftkvalitetsføleren måler mange forskellige gasser som fx flygtige organiske forbindelser (VOC) afgivet fra brugere og materialer i bygningen, byggevarer og tobaksrøg. Typisk skelnes der ikke mellem hvilke gasser eller hvor store koncentrationer, der måles. En fordel ved luftkvalitetsfølere er, at de er relativt billige, men det er en ulempe, at der ikke skelnes mellem forskellige gasser.

I forbindelse med undersøgelser af indeklimaet er det ofte nødvendigt at måle flere parametre på samme tid. Det er muligt at anvende kombinerede følere til måling af CO₂/temperatur, gasser/CO₂, etc. Følerne er ofte en kombination af de forskellige følere, der er til rådighed.

Der findes mere avancerede følere, som typisk består af flere individuelle følerelementer baseret på forskellige måleprincipper som beskrevet ovenfor. På denne måde kan en føler måle både gasser, støvpartikler, lufttemperatur og relativ fugtighed og samtidig fungere som røgalarm.

En mere avanceret føler, er den såkaldte elektroniske næse. Målet er at simulere den menneskelige næse og derved detektere ubehagelige lugte i bygninger. Algoritmerne, der indgår i elektroniske næser, skal kalibreres til den enkelte gas, der skal måles, eller til den enkelte persons følsomhed.

Placering af følere

Som hovedregel skal følere placeres på et sted, hvor den omgivende luft er repræsentativ for luften i opholdszonen.

Såfremt følere placeres på en væg i rummet, skal de placeres i nærheden af opholdszonen. Opholdszonen er det område i rummet, hvor det kan forventes at personer opholder sig i længere tid, og hvor kravene til indeklimaet skal være opfyldt. Følere bør således ikke være placeret i hjørner, tæt ved

dør- og vinduesåbninger, i områder med direkte sollys, i områder, der er i direkte kontakt med indblæsnings- eller udsugningsluft, nær personer, som opholder sig i rummet eller i områder, hvor der forekommer særlig luftforurening.

Ved opblandingsventilation anbefales det, at følerne placeres mellem 0,9 og 1,8 m over gulvet. Ved fortrængningsventilation anbefales det, at følerne placeres i opholdszonen omtrent i hovedhøjde.

I nogle tilfælde placeres en føler i udsugningskanalen. Placeringen er ofte valgt, fordi det i praktisk henseende er det enkleste, men det er imidlertid usikkert, om det i driftssituationen er et hensigtsmæssigt sted at placere føleren. Såfremt der forekommer kortslutning mellem indblæsning og udsugning, vil føleren i udsugningskanalen registrere bedre luftkvalitet, end der forekommer i opholdszonen. Følgen er utilstrækkelig ventilation.

Luften, der udsuges fra rummet, kan udgøre "et gennemsnit" af den luft, der forekommer i rummet. Hvis der ikke er fuld opblanding, kan luften, der udsuges, adskille sig fra den luft, der forekommer i opholdszonen. Såfremt der anvendes fortrængningsventilation, kan det være vanskeligt at udpege en god placering. Placeringen afhænger både af rummets geometri og af personbelastningen.

Robust og simpelt

For at kunne tilpasse ventilationen til det aktuelle behov er det nødvendigt at anlægget forsynes med ydelsesstyring for de enkelte opholds- og klasserum eller grupper af opholds- og klasserum.

Ved større centrale anlæg kan en sådan styring indebære, at systemet bliver forholdsvis komplekst. Styringen vil stille krav om sikker dimensionering af aggregatstørrelse herunder indregning af samtidighed i anvendelsen af rummene, som anlægget betjener, nøje planlægning af kanalsystemet herunder evt. konstanttrykregulering, og ofte må systemet bestykes med et betragteligt antal motorspjæld.

En anden mulighed er at anvende decentrale ventilationsaggregater, dvs. aggregater som installeres i hvert enkelt klasserum. Der er et betydeligt potentiale for at opnå god tilpasning af ventilationen i de enkelte rum, samt for at reducere anlægsomkostningerne og gøre ventilationen mere forståelig for brugerne. I nogle tilfælde kan der endog opnås varmebesparelser og reduceret energiforbrug til ventilatorer i det simple anlæg med begrænsede kanallængder.

Det er nødvendigt at være særligt opmærksom på støj, holdbarhed, vedligeholdelsesudgifter og nødvendig bestyknings af de enkelte anlæg.

Et behovsstyret ventilationssystem vil normalt omfatte et større antal enkeltkomponenter (følere, spjæld, reguleringer) end et mere traditionelt ventilationssystem. For at opnå et robust og driftssikkert behovsstyret system, som er i stand til at opretholde stabil funktion over tid og i forskellige driftssituationer, er det nødvendigt at alle komponenter er modstandsdygtige overfor forekommende påvirkninger. I sagens natur skal fx følere, som monteres i udsugnings- eller indblæsningskanaler, være modstandsdygtige overfor støv. Mere specielt er det, at komponenter, som monteres i opholdsrum i institutioner og i klasserum i skoler, skal kunne modstå påvirkninger fra nysgerrige elever, og eleverne må ikke kunne ændre på anlæggets drift ved at justere på ventiler, følere, spjæld etc.

Det må påregnes, at behovsstyret ventilation stiller skærpede krav til driftspersonalets indsigt i og forståelse af systemets opbygning og funktion, samtidig med at regelmæssig kontrol og vedligehold af systemets komponenter herunder følere og spjæld er en betingelse for, at systemet fungerer som tiltænkt.

Sammenfatning

- Opholdsrum i børneinstitutioner og normalklasserum i skoler skal ventileres ved mekanisk indblæsning, udsugning og varmegenvinding.
- For skoler kan kravet om mekanisk ventilation fraviges.
- For både børneinstitutioner og skoler kan angivne udelufttilførsler fraviges, såfremt der anvendes behovsstyret ventilation.
- Krav til minimumareal pr. barn i vuggestuer og børnehaver. I skoler er der krav til minimumvolumen pr. person.
- Grænse for indeluftens CO₂-indhold.
- Behovsstyret ventilation er en ventilationsform, hvor luftmængderne i ventilationssystemet reguleres efter en målt eller en oplevet koncentration af luftbårne forureninger.
- Styringen af det behovsstyrede ventilationssystem kan være
 - automatisk fx baseret på rumføler(e) og elektronisk(e) styreenhed(er) eller
 - manuel, hvor det er brugerne, som fungerer som følere og påvirker systemet. Brugernes åbning af vinduer, betjening af ventiler til det fri, aktivering af forceret udsugning etc. udgør en del af et behovsstyret ventilationssystem.
- Forureninger i indeluften skal i første række reduceres gennem elimineringskilder og begrænsning af kildestyrker. Koncentrationen af øvrige forureninger kan nedbringes ved hjælp af fortynding med udeluft – ventilation.
- I børneinstitutioner og skoler tages indeluftens CO₂-indhold som indikator for ventilationsbehovet.
- Klasserum i skoler er typisk ujævnt belastede og også i opholdsrum i børneinstitutioner kan der forekomme varierende belastning.
- Det er påvist, at der er en sammenhæng mellem skoleelevers præstationer og indeluftens kvalitet og temperatur.
- Fuldstændig manuel brugerstyring af ventilationen kan være velfungerende, men styringen efterkommer ikke altid de tids- og forureningsmæssige variationer. Energiforbruget kan være unødigt højt.
- Urstyring er velegnet, da brugen af børneinstitutioner og skoler ofte er karakteriseret ved, at der forekommer planmæssige og klart adskilte brugsperioder og ikke-brugsperioder. Flere forskellige driftstilstande tilrådes.
- Styring af ventilationen ved hjælp af følere bør være baseret på tilstedeværelsesfølere og CO₂-følere.
- I skoler er det nødvendigt at anvende vinduesudluftning idet ventilationsbehovet i løbet af en dag kan variere med en faktor 10, og til tider vil personer og aktiviteter forurene luften i klasserum langt mere, end selv de kraftigste ventilationsanlæg i skoler kan klare.
- Vinduesudluftning giver under en række forudsætninger gode muligheder for energioekonomisk drift.
- Det er vigtigt, at vinduerne åbnes tilstrækkeligt til, at luften udskiftes et par gange i løbet af udluftningsperioden, og at udluftning sker mindst én gang i timen. Samtidig bør bygningen være indrettet, så det er muligt at etablere tværv ventilation.
- Følere skal placeres, så den omgivende luft er repræsentativ for luften i opholdszonen. Ved opblandingsventilation anbefales mellem 0,9 og 1,8 m over gulv. Følere bør *ikke* placeres i hjørner, tæt ved dør- og vinduesåbninger, i områder med direkte sollys, i områder, der er i direkte kontakt med indblæsnings- eller udsugningsluft, nær personer, som opholder sig i rummet eller i områder, hvor der forekommer særlig luftforurening.
- Ved større centrale anlæg kan behovsstyret ventilation stille krav om sikker dimensionering af aggregatstørrelse herunder indregning af

samtidig i anvendelsen af rummene, som anlægget betjener, nøje planlægning af kanalsystemet herunder evt. konstanttrykregulering, og ofte må systemet bestykes med et betragteligt antal motorspjæld.

Systemet kan blive komplekst og sårbart.

- En mulighed for at opnå mere enkle og overskuelige anlæg er at anvende decentrale ventilationsaggregater, dvs. aggregater som installeres i hvert enkelt klasserum. Sådanne anlæg kan samtidig gøre ventilationen mere forståelig for brugerne, så der er større sandsynlighed for, at de betjenes korrekt.
- Det er nødvendigt at være særligt opmærksom på støj, holdbarhed, vedligeholdelsesudgifter og nødvendig bestyknings af de enkelte anlæg.
- Komponenter, som monteres i opholdsrum i institutioner og i klasserum i skoler, skal kunne modstå påvirkninger fra nysgerrige elever, og eleverne må ikke kunne ændre på anlæggets drift ved at justere på ventiler, følere, spjæld etc.
- Det må påregnes, at behovsstyret ventilation stiller skærpede krav til driftspersonalets indsigt i og forståelse af systemets opbygning og funktion.

Regelmæssig kontrol og vedligehold af systemets komponenter herunder følere og spjæld er en betingelse for, at systemet fungerer som tiltænkt.

Indeklimabestemmelserne i bygningsreglementet muliggør anvendelse af behovsstyret ventilation i børneinstitutioner og skoler, og med BR10 er der tillige åbnet mulighed for at anvende behovsstyret ventilation i mekanisk ventilerede enfamiliehuse og etageboliger.

Behovsstyret ventilation er en ventilationsform, hvor luftmængderne i ventilationssystemet reguleres efter en målt eller en oplevet koncentration af luftbårne forureninger. Hensigten med ventilationsformen er at tilpasse luftmængderne i overensstemmelse med ventilationsbehovet, og grundlæggende er formålet, at opnå et tilfredsstillende og komfortabelt indeklima, navnlig hvad angår luftkvaliteten, på en energioekonomisk måde.

Vejledningen handler om ventilationsformen behovsstyret ventilation; det er ikke en vejledning i dimensionering af behovsstyrede ventilationssystemer.

Vejledningen er udarbejdet for Energistyrelsen, Byggeri og energieffektivisering. Arbejdet er oprindeligt igangsat af Erhvervs- og Byggestyrelsen.

1. udgave, 2012

ISBN 978-87-563-1569-2