

Behovsstyrt ventilasjon - Kan vi stole på CO₂- sensoren?

Prof. Mads Mysen, Høgskolen i Oslo/SINTEF, e-mail: mads.mysen@sintef.no.

Siv. Ing. Kristoffer J. Polak , Standard Norge, e-mail: kjp@standard.no

Behovsstyring er fremtiden!

Myndighetene har forhåndsannonsert passivhus som forskriftsnivå. Med dagens kriterier for passivhus innebærer dette behovsstyrt ventilasjon i alle fremtidige yrkes- og undervisningsbygg.

Behovsstyr etter en kontinuerlig målt differanse mellom CO₂-nivå inne og ute

Behovsstyrt ventilasjon betyr rett og slett at man ventilerer etter behov. En forutsetning for en slik regulering er at man registrerer det riktige behovet for frisk luft. Det er mange faktorer som påvirker dette behovet som forurensing fra bygningsmaterialer og innredning, mangelfullt renhold, varmelast og tetthet av mennesker. I mange tilfeller er det hensiktsmessig å ha en grunnventilasjon som dekker friskluftbehov skapt av emisjoner fra relativt konstante kilder lik emisjoner fra overflater, og en tilleggsventilasjon som varierer luftmengden i forhold til de variable forurensingskildene som i de fleste tilfeller er gitt av tettheten av mennesker og varmelaster i rommet.

Vi mennesker puster ut karbondioksid (CO₂) og en vanlig behovsstyringsstrategi er basert på å styre frisklufttilførselen etter karbondioksidnivået i inneluften. Det er viktig å merke seg at vi ikke ventilerer i forhold til CO₂-nivået isolert sett, men den menneskelige tilstedeværelsen som gir CO₂-produksjon. CO₂ – nivået i et rom er gitt av konsentrasjonen i uteluft, pusteluften fra menneskene, tilført mengde friskluft og ventilasjonseffektiviteten i rommet.

Konsentrasjonen i uteluft varierer mellom 325 og 400 ppm avhengig av lokalisering, tidspunkt, lufttrykk og temperatur. I tillegg vil CO₂-nivået ute være rundt 5 % høyere vinterstid enn sommerstid på grunn av årsavhengig variasjon. Mengden av CO₂ som emitteres av menneskene er proporsjonal med menneskenes emisjon av bioeffluenter og det er konsentrasjonen av bioeffluenter vi egentlig ønsker å kontrollere med frisklufttilførselen. Derfor må man behovsstyre etter en kontinuerlig målt differanse mellom CO₂-nivå inne og ute.

Bruker man sensorer som selvkalibrerer (se egen faktaboks om sensorer) må inne- og ute-sensorer være av samme type og ha samme selvkalibreringsprosedyre.

40 % av sensorene hadde for stort avvik

Ved behovsstyring registrerer CO₂-sensoren belastningen i form av CO₂-konsentrasjonen, og sender signal til spjeldaktuator eller SD-anlegg som igjen sørger for riktig tilførsel av friskluft til rommet. Den vanligste løsningen er at 1 sensor styrer friskluftmengden til et rom. Det sier seg selv at slik behovsstyring er sårbart i forhold til sensorens nøyaktighet, driftssikkerhet og plassering. Fisk (Fisk med flere 2010) har studert 208 sensorer i 34 bygninger i California/USA med hensyn på nøyaktighet. Alle sensorene var av typen NDIR (Ikke-Dispersive Infrarøde) sensorer. Gjennomsnittlig målefeil (absoluttnivå) var 138 ppm ved konsentrasjoner rundt 1010 ppm.

Gjeldende kvalitetsstandard i California (2008 Building energy efficiency standard) krever et maksimalt avvik på ± 75 ppm i løpet av de første 5 årene etter installasjon. 40 % av sensorene

hadde større avvik enn kravet og 31 % hadde større avvik enn ± 100 ppm. 13 % hadde feil større enn ± 300 ppm. Noen få sensorer hadde tilsynelatende ingen samvariasjon med virkelig CO₂-nivå i det hele tatt!

Sensorkvaliteten varierer, men ingen holdt mål

Det var statistisk forskjell på kvaliteten avhengig av måleteknologi, men selv for den beste sensoren fant man at over 20 % hadde for stort avvik. Man fant derimot ikke signifikant sammenheng mellom sensorens alder og målenøyaktighet. Utskifting av ”gamle” sensorer med nye trenger dermed ikke å gi bedre nøyaktighet.

I en annen test, utført av Iowa Energy Center (National Buildings Controls Information Program 2009), ble ytelsen til 15 forskjellige nye sensorer sammenlignet med hva leverandøren selv oppga. Tre sensorer av hver type fikk testet målenøyaktighet og sensitivitet i forhold til temperatur, fuktighet og lufttrykk. Ingen av sensormodellene fikk full score som innebærer at alle tre tilfredsstilte leverandørens egne krav i forhold til nøyaktighet. For to av sensormodellene tilfredsstilte to av tre sensorer leverandørens egne krav. For ni av sensormodellene tilfredsstilte ingen av de tre sensorene leverandørens egne krav.



Bildet. I skoler er tilstrekkelige mengder friskluft viktig for elevenes læringslyst, helse og velvære. Tør vi stole på denne CO₂-sensoren med svært god målenøyaktighet i følge den kinesiske produsenten Wuhan Cubic Optoelectronics Co.,Ltd?

Målenøyaktigheten er en viktig parameter

Målenøyaktighet er evnen til å indikere riktig verdi av en målt mengde.

Alle sensorer er sensitive i forhold til trykk, temperatur og fuktighet, men sensitiviteten er avhengig av blant annet teknologi og materialvalg. De fleste produsentene angir målenøyaktighet ved 25 °C og 101,3 kPa og sensorens målenøyaktighet er trolig ikke gyldig ved avvikende klimatiske forhold. Målenøyaktigheten påvirkes over tid slik at det er behov for jevnlig kalibrering av sensorene. Effekten av aldring av lyskilde og elektronikk er også avhengig av faktorerer som måleteknologi, materialvalg og omgivelser. Flere sensorleverandører angir levetid > 15 år.

Målenøyaktigheten dekker også hysteres, linearitet og repeterbarhet.

NS-EN15251 (Inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygninger energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk) anbefaler en maksimal relativ økning av CO₂-konsentrasjonen innendørs på 500 ppm i forhold til utendørnivå i kvalitetskategori II. Målenøyaktigheten må trekkes fra maksimalt tillatt relativ økning. Med en sensor med målenøyaktighet innenfor ± 75 ppm kan man maksimalt tillate relativ økning på 425 ppm for å sikre at kravet på 500 ppm er tilfredsstillt. Dette betyr at

sensorer med målenøyaktighet innenfor ± 75 ppm gir gjennomsnittlig tilførsel av ca 10 % mer friskluft ved dimensjonerende forhold enn sensorer med målenøyaktighet innenfor ± 30 ppm.

CO₂-basert behovsstyring fungerer, men kan blir bedre!

Det finnes mange eksempler på bygg med velfungerende CO₂-basert behovsstyring. Slik anlegg kjennetegnes gjerne av tydelige krav til anleggets funksjon, klar ansvars plassering, gode valg av systemløsning og kritiske komponenter, tett oppfølging i byggeperioden, grundig sluttkontroll ved overlevering og engasjerte byggherrer, rådgivere, entreprenører og leverandører med god kompetanse. Man må ikke glemme at CO₂-sensorene bare er en liten, men viktig brikke, i denne helheten. Resultatene fra USA tilsier imidlertid at CO₂-sensorene kan bli bedre. Målenøyaktigheten, og andre ytelser oppgitt av produsent, er generelt for ”optimistiske”. Det betyr at mange behovsstyrte ventilasjonssystemer ikke fullt ut når sitt mål om godt inn klima med minimal energibruk. Manglende teststandard er en av årsakene til dette. Teststandard som definerer kvalitetsnivå, er en forutsetning for å sammenligne dokumentasjon til ulike sensorer og for å stille krav som kan gi grunnlag for utbedring eller erstatning. I påvente av en slik standard anbefaler vi at man stiller konkrete krav til målenøyaktighet og levetid i hvert prosjekt, sammen med beregningsregler for økonomisk konsekvens ved eventuelt avvik fra krav, for eksempel relatert til økt energikostnad gjennom driftstiden som følge av avviket.

I tillegg anbefaler vi at man utnytter SD-anlegget til å overvåke og sammenligne sensorverdier utenfor driftstid når disse verdiene bør være relativt like, og etablerer prosedyre for kontroll av sensorer som ligger utenfor akseptabelt avvik.

FoU-prosjektet reDuCeVentilation

Artikkelen inngår i prosjektet *reDuCeVentilation* (Reduced energy use in Educational buildings with robust Demand Controlled Ventilation). Prosjektet er finansiert av industripartnerne: **VKE** www.vke.no, **Skanska** www.skanska.no, **Undervisningsbygg Oslo KF** www.undervisningsbygg.oslo.kommune.no, **Optosense** www.optosense.com og Norges forskningsråd.

Referanser

- The California Energy Commission: 2008 Building energy efficiency standard <http://www.energy.ca.gov/title24/2008standards/>
- WJ Fisk, DP Sullivan, D Faulkner, E Eliseeva; CO₂ monitoring for demand controlled ventilation in commercial buildings, Lawrence Berkeley Lab. 2010
- NS-EN15251 (Inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygninger energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk)
- National Buildings Controls Information Program 2009, Product testing report: Wall mounted Carbon Dioxide Transmitters, <http://www.energy.iastate.edu/Efficiency/Commercial/nbcip.htm>

Faktaboks om NDIR CO₂-sensorer

NDIR - Ikke-Dispersive InfraRøde sensorer

Det finnes forskjellige teknologier for å måle CO₂-konsentrasjon. Innen komfortventilasjon er ikke dispersive infrarøde (NDIR) sensorer mest vanlig.

NDIR-sensorer er basert på at infrarødt lys starter molekylære vibrasjoner og rotasjoner. Når den infrarøde frekvensen tilsvarer molekylens naturlige frekvens, blir noe av IR energien absorbert. Hvor mye som absorberes avhenger av CO₂-konsentrasjonen. CO₂-sensorer benytter bølgelengden 4,26 µm hvor CO₂-absorpsjonen er sterkest og hvor absorpsjon av andre vanlige gasser i luft kan neglisjeres. CO₂-konsentrasjonen kan beregnes ved hjelp av Beer-Lamberts lov:

$$C = \frac{\log(I_0/I)}{\alpha b}$$

C: Molkonsentrasjon

I₀: IR lys intensitet uten absorpsjon

I: IR lys intensitet med absorpsjon

α: Mol absorpsjonskoeffisient for valgt bølgelengde

b: Bølgelengde

Ut fra Beer-Lamberts lov ser man at dempingen av IR-lys med bølgelengde 4,26 µm blir proporsjonal med tettheten av CO₂-molekyler i luften. Siden molekylær gasstetthet er direkte proporsjonal med lufttrykk og omvendt proporsjonal med temperatur, må man korrigere for trykk og temperatur når man bestemmer CO₂-konsentrasjonen ved hjelp av IR-absorpsjon. Når man behovsstyrer etter en kontinuerlig målt differanse mellom CO₂-nivå ute og inne, bør utføleren stå i tilnærmet samme termiske miljø som inneføleren, for eksempel i tilluftskanalen etter aggregatet.

NDIR-sensorer består av IR-lampe som avgir kjent lysintensitet, et filter som slipper i gjennom ønsket bølgelengde og detektor som måler gjenværende lysintensitet etter at luftprøven er passert. NDIR-sensorene er basert på forskjellige måleprinsipper.

1) **Single-lamp single wavelength**

Sensoren består av en IR-lampe og en detektor som analyserer en bølgelengde. En svakhet med denne er at lysintensiteten fra IR-lampen avtar med tid. Slike sensorer har gjerne inkorporert en selvkalibreringsalgoritme basert på at minste registrerte CO₂-konsentrasjon over tid tilsvarer CO₂-konsentrasjonene ute som man vanligvis definerer lik 400 ppm. Noen sensorer selvkalibreres ofte, for eksempel hvert døgn, og justeres minimumsnivået direkte til 400 ppm. Andre sensorer justerer minimumsnivået gradvis mot 400 ppm basert på flere ukers målinger. Det er viktig at slike sensorer kun benyttes i applikasjoner hvor de jevnlig eksponeres for utendørs CO₂-nivå, og ikke i bygninger med kontinuerlig tilstedeværelse (sykehus, fengsler, driftssentraler, prosjektkontorer m.v.)

2) **Dual-lamp single wavelength**

Slike sensorer har to lamper. En målelampe som brukes kontinuerlig (i pulser) og en referanselampe som brukes sjelden slik at den nesten ikke eldes og dermed kan korrigere for redusert lysintensitet fra målelampen over tid.

Det vil også være naturlig å benytte dette som begrep om sensorer som har 2 lyskilder med 2 ulike filtre for gass og referansebølglengde som vekselvis lyser på detektoren.

3) **Single-lamp dual wavelength**

Denne har to filtre. Det ene filteret slipper igjennom et IR-bølglengder som ikke absorberes av gasser som er vanlig i luft. Dette gir da et referansesignal som er uavhengig av gasskonsentrasjonen og som kan brukes til korreksjon av lysintensitet som slipper igjennom det andre filteret med frekvens på 4,26 μm . Slike sensorer kan også ha et Fabry-Perot Interferometer som vekselvis kan filtrere ut forskjellige frekvenser.

4) **Single-lamp triple wavelength**

Det har nylig kommet en ny type sensor på markedet med balansert referansemåling ved ca 4.1 og 4.3 μm , mens CO₂-konsentrasjonen fortsatt måles ved 4.26 μm . Denne sensoren benytter også et støpt hologram-filter for å få fram de ulike bølglengdene mer stabilt og nøyaktig enn det Fabry-Perot Interferometeret klarer.