

# BEHOVSSTYRDA VENTILATIONSSYSTEM

## KARTLÄGGNING AV FUNKTION OCH PRESTANDA

Slutrapport 2.1.

2024-04-09



### UTFÖRT AV

Mari-Liis Maripuu  
Stefan Aronsson  
Peter Filipsson  
Victoria Edenhofer  
CIT Renergy AB

### GRANSKAT AV

Per-Erik Nilsson  
CIT Renergy AB



## ENERGIMYNDIGHETENS NÄTVERK FÖR ENERGIEFFEKTIVA LOKALER

Belok är ett samarbete mellan Energimyndigheten och Sveriges största fastighetsägare med inriktning på lokalfastigheter. Belok initierades 2001 av Energimyndigheten och gruppen driver idag olika utvecklingsprojekt med inriktning mot energieffektivitet och miljöfrågor.

Gruppens målsättning är att energieffektiva system, produkter och metoder tidigare skall komma ut på marknaden. Utvecklingsprojekten syftar till att effektivisera energianvändningen samtidigt som funktion och komfort förbättras.

### MEDLEMSFÖRETAG

ALECTA FASTIGHETER

AMF FASTIGHETER

AKADEMISKA HUS

ATRIUM LJUNGBERG

CASTELLUM

COREM PROPERTY GROUP

FABEGE

FASTIGHETS AB BALDER

FASTIGHETSKONTORET I STOCKHOLMS STAD

FORTIFIKATIONSVERKET

GRANITOR

GÖTEBORGS STAD –

STADSFASTIGHETSFÖRVALTNINGEN

HUDDINGE SAMHÄLLSFASTIGHETER

HUFVUDSTADEN

ICA FASTIGHETER

JERNHUSEN

LOCUM

LUNDBERGS FASTIGHETER

MALMÖ STAD SERVICEFÖRVALTNINGEN

PLATZER FASTIGHETER AB

SKANDIA FASTIGHETER

SKOLFASTIGHETER I STOCKHOLM (SISAB)

SPECIALFASTIGHETER

STATENS FASTIGHETSVERK

SVEDAB

SWEDAVIA

VASAKRONAN

VÄSTFASTIGHETER

WIHLBORGS

### TILL GRUPPEN ÄR ÄVEN KNUTNA

ENERGIMYNDIGHETEN

BYGGHERRARNA

FASTIGHETSÄGARNA SVERIGE

SVERIGES KOMMUNER OCH REGIONER (SKR)

CIT RENERGY

CIT Renergy är ett konsultföretag inom områdena byggd miljö, samhälle, industri samt inomhusmiljö med fokus på energi- och resurseffektivitet. De har fått i uppdrag av Energimyndigheten (via ramavtal) att leverera förstudier och utredningar inom verksamhetsområdet lokalfastigheter. Förstudierna och utredningarna genomförs internt eller av extern part och undersöker vilka områden inom energieffektiva lokaler som är intressanta att utveckla och vilka fördjupade utredningar och analyser som kan behövas.

Alla frågor kopplat till denna rapport hänvisas till CIT Renergy AB:  
[citrenergy@chalmersindustrietechnik.se](mailto:citrenergy@chalmersindustrietechnik.se)

Alla förstudierrapporter görs tillgängliga via [belok.se](http://belok.se).



## SAMMANFATTNING

Behovsstyrda ventilationssystem (DCV-system) har funnits på marknaden i mer än 40 år, men sedan början av 2000 har tekniken för behovsstyrd ventilation utvecklats avsevärt, särskilt när det gäller don/spjäll, luftflödesreglering, givare, styr och regler. När aktiva don, så kallade DCV-don, kom till marknaden ökades snabbt takten av installation av DCV-system i lokalfastigheter. DCV-system anses vara en vanlig systemlösning i nya lokalbyggnader idag, och allt fler befintliga konstantflödessystem har också byggts om till behovsstyrda ventilationssystem.

I takt med utbyggnad och ökad tillämpning av DCV-system i lokalfastigheter har det kommit klagomål från fastighetsägare både i Sverige och i andra nordiska länder att i flera fall har systemen inte fungerat som det var tänkt. För att bygga upp ett välfungerande DCV system och uppnå förväntade energibesparingar krävs att systemen projekteras, installeras, injusteras och drifas på ett genomtänkt och korrekt sätt.

Denna förstudie genomfördes för att utvärdera funktion och prestanda hos befintliga DCV-system i Sverige samt för att identifiera eventuella utmaningar och problemområden. Syfte var att undersöka om det finns ett behov av en fördjupad uppföljning av DCV-systemens funktion och prestanda, samt om ytterligare riktlinjer för DCV systemens uppbyggnad, installation, drift och underhåll behöver tas fram. Undersökningen är begränsad till ca 40- tal byggnader som ägs av medlemmar inom BELOK gruppen, men det bedöms att resultaten ger en överskådlig bild av situationen och visar på både framsteg och utmaningar inom området behovsstyrd ventilation.

Det är tydligt att tekniken för behovsstyrd ventilation har genomgått betydande framsteg under de senaste decennierna. Teknikutvecklingen under senaste tio åren har lett till ökad funktionalitet, smartare styrning och nya möjligheter att optimera DCV-systemens energiprestanda. Fokus har varit på förbättring av luftflödesmätningen i DCV-don och VAV-spjäll (exempelvis med ultraljudsteknologi), samt förbättring av styrning och kommunikationen mellan olika systemkomponenter.

En enkätstudie och intervjuer har genomförts för att samla synpunkter från både fastighetsägare och produktleverantörer. Baserat på enkätstudien och intervjuer bland fastighetsägare upplevs i de flesta undersökta byggnaderna att DCV-system fungerar bra eller mycket bra. De främsta fördelarna inkluderade god termisk komfort och luftkvalitet, samt möjligheten att övervaka systemparametrar i realtid för att underlätta felsökning och energieffektivisering.

Samtidigt rapporterade ett antal fastighetsägare om en del problem och utmaningar med DCV-system. I de anläggningarna där DCV-system fungerade mindre bra identifierades bland annat tekniska brister med systemkomponenter, felaktig design, problem luftflödesstyrningen, felaktiga inställningar i systemet, osv.



Flest problem med DCV-system har förekommit i skolor. Enligt fastighetsägare finns det DCV-anläggningar i skolor som fungerar acceptabelt medan andra har haft problem av olika anledningar. I flera fall har problemen varit svåra att åtgärda vilket har lett till att funktionen för variabelt flöde har kopplats bort och idag styrs ett flertal installerade DCV-system som CAV-system.

Det finns olika faktorer som har bidragit till de problem som har uppstått med DCV-systemen i skolor. En del problem har kopplats till brister i systemdesignen, medan andra har att göra med felaktiga installationer på grund av slarv och bristande kompetens vid installation, i driftsättning och i drift. Samtidigt görs det också en bedömning att uppfattningen om dålig funktionalitet med DCV-system inte alltid är rättfärdigad, eftersom den verkliga orsaken till problemen inte alltid har förståtts fullt ut.

I denna förstudie har även funktionskontroller med stickprov utförts på systemkomponenter i DCV-system i två fastigheter: en nybyggd skola och en universitetsbyggnad som renoverades för cirka 7 år sedan. Fältmätningar genomfördes i byggnader där inga uppenbara klagomål förekom från användare eller driftpersonal. Resultaten pekar på att funktionen och prestandan hos givare som styr luftflöden på rumsnivå bör utredas mer i detalj. Stickprov på givare visade avvikelser i temperatur- och koldioxidgivarnas prestanda samt problem med flödesmätare. Flest avvikelser observerades med temperatur- och flödesmätare, samtidigt som för koldioxidgivare upptäcktes brister i självkalibreringsfunktionen. Felaktig installation av givare och överdimensionerade komponenter upptäcktes också vid platsbesök.

Kraven som ställs på givare i DCV-systemet borde ses över och hur uppfyllandet av dessa krav ska verifieras samt hur funktionen kan säkerställas under givarnas livslängd, exempelvis vilka test- och underhållsprotokoll som gäller för givare. Många fastighetsägare tror att givare är underhållsfria och saknar rutiner för underhåll av givare. Fältmätningar visar att sådana rutiner bör tas fram.

Resultatet från denna förstudie visar också att framtida fokus borde ligga på kompetensutveckling av utförare i hela processkedjan från projektering till drift. Sammanfattningsvis krävs det förbättrad kunskap vid kravställning, projektering, installation, driftsättning och drift, oavsett om det gäller ”platsbyggda” eller prefabricerade DCV-system. Specialkunskaper om DCV-system är avgörande för ett välfungerande DCV-system. För att säkerställa korrekt funktion hos DCV-system krävs en väl genomtänkt lösning och bra förståelse för DCV-systemets grundprinciper. Det finns behov av förbättrade riktlinjer för utförare i hela processkedjan för att säkerställa bra funktion och prestanda av DCV-systemen.

Det krävs också bättre samverkan mellan fastighetsägare, systemtillverkare och entreprenörer för att säkerställa korrekt installation och integration av DCV-system i byggnader. Ett önskemål som lyftes fram under intervjuer var att det borde utvecklas branschgemensamma standarder och bästa praxis exempel för systemdesign och installation för att undvika fel och brister.



## INNEHÅLL

<b>Sammanfattning.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte .....	8
1.3 Genomförande .....	8
1.3.1 Intervjuer .....	9
<b>2. DCV SYSTEMLÖSNINGAR OCH DAGENS TEKNIK.....</b>	<b>9</b>
2.1 Definition av DCV system .....	9
2.2 DCV systemlösningar och dagens teknik.....	10
2.3 Framtidens teknik och utvecklingspotential .....	17
<b>3. HUR DCV SYSTEMEN FUNGERAR I PRAKTIKEN?.....</b>	<b>17</b>
3.1 Förutsättningar från en välfungerande DCV system .....	17
3.2 Resultat från en enkätstudie .....	18
3.3 Resultat från intervjuer med fastighetsägare.....	23
3.3.1 DCV i skolor .....	23
3.3.2 DCV i kontor.....	26
<b>4. UTVÄRDERING AV DCV SYSTEM I DRIFT .....</b>	<b>28</b>
4.1 Inledning.....	28
4.2 Byggnader som ingick i studien .....	28
4.3 Metodiken för utvärdering av DCV- systemen i drift.....	30
4.3.1 Mätningarna på Lilla Gårdstensskolan .....	30
4.3.2 Mätningarna på Chalmers SB2-huset .....	31
4.3.3 Referensinstrument som användes för mätningarna .....	32
4.4 Resultat från mätningarna .....	32
4.4.1 Lilla Gårdstensskolan.....	32
4.4.2 Chalmers SB2-huset.....	37
<b>5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER .....</b>	<b>42</b>
<b>6. Referenser .....</b>	<b>45</b>
<b>Bilaga 1 Enkät .....</b>	<b>46</b>
<b>Bilaga 2 Resultat från mätningarna .....</b>	<b>49</b>



# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Behovsstyrda ventilationssystem, DCV-system (Demand Controlled Ventilation), är ofta en standardlösning i nya lokalbyggnader för att uppfylla tuffare energikrav. I befintliga byggnader har äldre konstantflödessystem, CAV-system, i många fall byggts om till behovsstyrd ventilation som en energisparåtgärd. Systemet ger störst nytta i lokaler med varierande personbelastning såsom undervisningslokaler, konferensrum, museer, butiker, kontor, idrottsanläggningar, med mera. Besparingspotentialen är stor i lokaler där närvaron, och därmed belastningen, i enskilda rum varierar mycket. Ju mer de interna belastningarna varierar i tiden desto större energibesparingar kan förväntas. Exempelvis har flera studier visat att det verkliga utnyttjandet av lokaler i ett kontorshus ligger mellan 25% och 60% (1). I skolbyggnader har närvarograden visats sig vara upp till ca 30% (2).

Behovsstyrda ventilationssystem klassificeras som en undergrupp i variabelflödessystem (VAV-system). I DCV system varierar luftflödet automatiskt efter det faktiska behovet och inte enligt förutbestämda mönster eller manuell kontroll. Konceptet DCV har funnits på marknaden i mer än 40 år, men har utvecklats avsevärt sedan på början av 2000 bland annat med nya tekniklösningar och systemkomponenter.

I takt med utbyggnad och ökad tillämpning av DCV-system i lokalfastigheter har det kommit klagomål från fastighetsägare att i flera fall har systemen inte fungerat som det var tänkt. År 2015 genomfördes därför ett BELOK projekt (3) för uppföljning av installerade DCV-system i Sverige med syfte att skapa en helhetsbild av på hur de många DCV systemen fungerar i verkligheten. I projektet ingick en omfattande enkät- och intervjuundersökning. Sammantaget sammanställdes en lista på drygt 250 anläggningar hos olika fastighetsägare varav ca 100-talet anläggningar ingick i enkätstudien. Resultatet visade sig att många system säkerligen fungerar väl, men det finns alltför många tecken på att så inte alltid är fallet. Det som beskrevs som dåligt var en mängd olika faktorer, där tekniska problem med don och komplicerad funktion, var mest framträdande.

Produkt- och systemutveckling har gått vidare sedan BELOKs uppföljningsprojektet genomfördes och även installation av DCV-system i lokalfastigheter har ökat i takt. Dock diskuteras fortfarande i branschen att behovsstyrda ventilationssystem inte alltid fungerar som avsett. Bland annat har de senaste uppföljningarna som har gjorts i andra nordiska länder visat att problemen ofta ligger på felaktig design, installation och driftsättning, men också problem med komponenter såsom givare förekommer (4, 5). Ibland kan besiktningar på plats visa problem med systemens funktion och givares prestanda samtidigt som inga uppenbarliga klagomål förekommer från brukare eller driftpersonal. Det noteras att många förekommande problem kan undvikas genom bättre utbildning, bra planering med fokus på funktionskrav i tidigt designskede och noggrann driftsättning.



Idag saknas en bra överblick om hur funktionen är hos de redan installerade behovsstyrda ventilationssystem i Sverige och om det har gett någon positiv effekt i utvecklingen sedan den senaste uppföljningen gjordes för åtta år sedan eller om problemen kvarstår såsom diskuteras bland aktörer i våra grannländer. En sådan uppföljning anses vara nödvändig för att säkerställa god inomhusmiljö med låg energianvändning med behovsstyrda ventilationssystem. Dålig funktion och bristfällig uppföljning ökar risken att man kan gå miste om den energibesparingspotentialen som DCV-systemlösningen ger.

## 1.2 Syfte

Förstudiens syfte är att göra en kartläggning bland lokalfastighetsägare hur funktionen med befintliga behovsstyrda ventilationssystem upplevs idag. Förstudien undersöker om det finns behov av en mer fördjupad uppföljning av DCV-systemens funktion och prestanda samt om ytterligare riktlinjer för DCV-systemens uppbyggnad, installation, drift och underhåll behöver tas fram. Allt i syfte att säkerställa att DCV-systemen fungerar som de ska och därigenom leder till låg energianvändning för uppvärmning och fläkt drift.

## 1.3 Genomförande

Följande delar och arbetsgång har utgjort denna förstudies genomförande.

### 1) Marknadsöversyn

En översyn av dagens teknik har gjorts för att få en överblick om hur produkt- och systemutveckling har gått sedan senaste uppföljningen gjordes 2015. Intervjuer har genomförts med ett antal produktleverantörer för att få en inblick i teknikutvecklingen och åtgärder som har genomförts för att förbättra DCV-systemens funktion.

### 2) En enkätstudie

En enkätstudie har genomförts bland BELOKs medlemmar för att undersöka hur funktionen och prestanda av DCV-system upplevs idag. En webbaserad enkät skickades ut via e-post till alla fastighetsägarna inom BELOK gruppen.

### 3) Intervjuer med fastighetsägare

Utifrån enkätstudie har ett antal fastighetsägare valts ut och telefonintervjuer genomförts för att få en mer detaljerad information om befintlig situation och behov som finns.

### 4) Fältmätningar

Utifrån intervjuer har två DCV anläggningar valts ut och enklare funktionskontroller med stickprov genomförts på systemkomponenter. Syftet var att se om komponenternas funktion har ändrats över tid och identifiera om några av de vanligare driftproblem med DCV system, som har visats i tidigare studier, förekommer i anläggningen.

### 5) Sammanfattning av resultat och rekommendationer

Resultatet från enkätstudien, intervjuer och fältmätningar har sammanfattas för att fastställa om det finns behov av en mer fördjupad uppföljning av DCV systemens funktion och





prestanda samt om ytterligare riktlinjer för DCV systemens uppbyggnad, installation, drift och underhåll behövs tas fram.

### 1.3.1 Intervjuer

För att utforska den senaste teknikutvecklingen inom behovsstyrd ventilation har intervjuer genomförts med fyra produktleverantörer. Följande personer har medverkat vid intervjuer:

- Thomas Lindborg- Utvecklingschef på Lindinvent
- Niklas Jacobsson och Carl-Ola Danielsson – produktansvariga för behovsstyrda ventilationssystem på Swegon
- Per Nilsson – Head of Central Product Marketing, Fläkt Group
- Johan Gunnarsson – Head of Business Development & Innovation - Ventilation Products på Lindab

De intervjuade representanterna från produktleverantörer har fått svara på frågor om hur produktutvecklingen inom behovsstyrd ventilation har varit under de senaste tio åren och vilket behov de ser för utveckling framöver.

Vidare har fyra telefonintervjuer genomförts med representanter från fastighetsägare inom BELOK gruppen för att få ett mer detaljerat perspektiv om hur fastighetsägare upplever funktionen av DCV systemen i drift. Följande personer har medverkat vid intervjuer:

- Olle Nyström, Teknikingenjör på Akademiska Hus
- Mikael Edvardsson, Energiingenjör på Stadsfastighetsförvaltningen Göteborg Stad
- Mikael Olsson, Driftsamordnare Energi på SISAB
- Jimmy Gustafsson, Driftansvarig på Fabege

De intervjuade representanterna från fastighetsbolagen har fått svara på frågor om hur DCV tillämpas i befintliga och nya byggnader, vilka deras allmänna upplevelser med DCV är, om de har upplevt några specifika problem och vilka förslag har de för att förbättra DCV systemens prestanda i drift.

## 2. DCV SYSTEMLÖSNINGAR OCH DAGENS TEKNIK

### 2.1 Definition av DCV system

Eftersom det finns olika uppfattningar och förståelser av begreppet ”behovsstyrd ventilation”, är det viktigt att först definiera vad behovsstyrd ventilation innebär.

Behovsstyrd ventilation är ett system där luftflödet till olika rum automatiskt anpassas efter behoven på rumsnivå. Ventilationsbehovet bestäms av kraven på termiskt klimat och/eller luftkvalitet. DCV-system har vanligtvis återkopplad (feedback) och/eller framkopplad (feed-forward) styrning av luftflödet baserat på mätbara indikatorer. Den viktigaste indikatorn för



termisk komfort är rumstemperatur, medan sammansättningen av gaser och partiklar används som indikator för luftkvalitet. Den vanligaste indikatorn för luftkvalitet i byggnader där människor är huvudkällan till luftföroreningar är koldioxidhalten i luften. Detta beror på att koldioxid är lätt att mäta med dagens teknik och det finns tydliga korrelationer mellan koldioxidhalt och VOC-gaser som emitteras av människor och som påverkar luftkvalitet.

DCV-systemet betraktas som en undergrupp av variabelflödessystem (VAV-system), men endast de VAV-system där luftflödet varierar automatiskt efter det faktiska behovet, och inte enligt förutbestämda mönster eller manuell kontroll, betraktas som DCV-system.

Grundtanken med behovsstyrd ventilation är att ventileras och klimatisera varje rum i byggnaden enbart så mycket som behövs - varken mer eller mindre. Detta leder till mindre energiförbrukning för fläktdrift, mindre värme för uppvärmning och mindre kyla för kylning av tilluften jämfört med konstantflödessystem, där luftflödet är konstant och bestämt av rummet med störst behov. Med konstant luftflöde behöver värmesystemet också kompensera för kyleffekt hos tilluften när interna värmelaster i rummet är låga. Detta krävs inte med behovsstyrd ventilation. Med rätt typ av DCV-don, som klarar låga inblåsningstemperaturer utan risk för drag, är det också möjligt att ha låga tilluftstemperaturer även under vintertid. Detta innebär en betydande minskning av behovet av uppvärmning av tilluften efter värmeåtervinningen.

## 2.2 DCV systemlösningar och dagens teknik

Grundprincipen för behovsstyrda ventilationssystem visas i figur 1. Ett DCV-system kan delas in i tre nivåer beroende på dess funktion och styrning:

- rumsnivå
- zonnivå
- systemnivå.

För att ett DCV-system ska fungera optimalt måste hela systemet, från rumsnivå till systemnivå, vara anpassat för variabelt flöde. Det som skiljer ett variabelflödessystem från ett konstantflödessystem är att varierande luftflöden på rumsnivå leder till varierande statiskt tryck i systemet. Hur dessa tryckvariationer hanteras påverkar hela systemets funktion och prestanda.

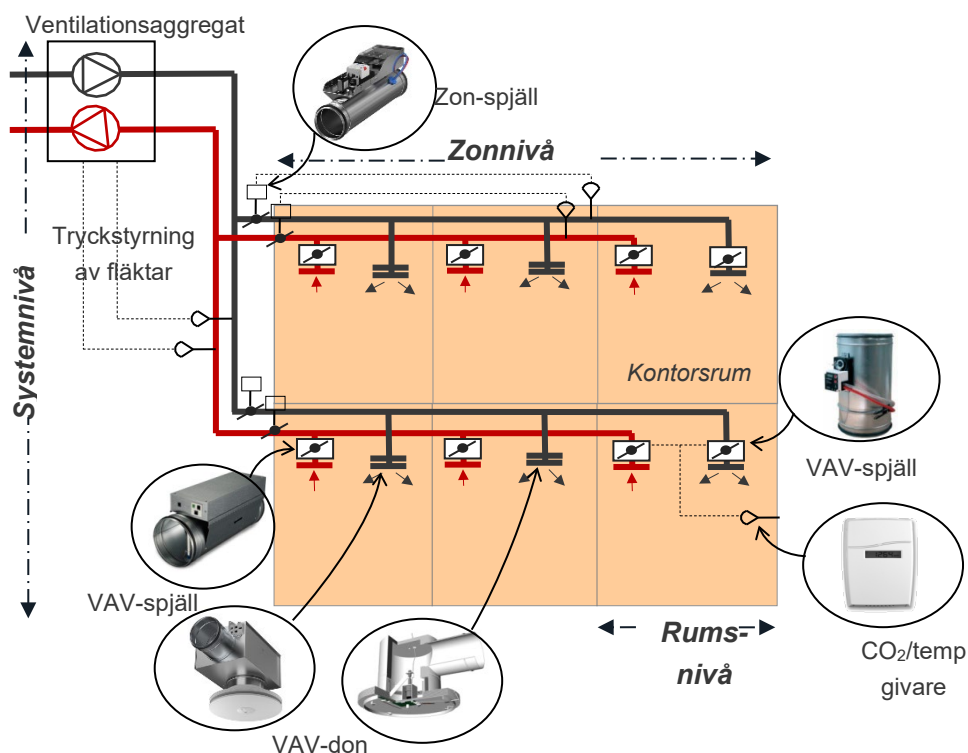
Vid *rumsnivå* regleras luftflödena med aktiva don (VAV-don) och/eller VAV-spjäll, vilka får signaler från rumsgivare/kanalgivare och justerar flödena efter behov.

På *zonnivå*, från rummen upp till huvudkanalerna, säkerställs att variationer i flöden på rumsnivå och resulterande tryckförändringar i kanalerna hanteras effektivt. I större system kan det vara nödvändigt med reglerande zonspjäll för att dela upp systemet i mindre zoner och snabbt kompensera för förändringar i luftflöden. Till- och frånluft på zonnivåer kan övervakas och balanseras genom att mäta och summera tilluftsflöden och kommunicera på frånluftsnivån. Zonspjäll behövs också om bara delar av ventilationssystemet har variabelt



flöde för att hålla trycket i systemet på en relativt konstant nivå för att säkerställa konstant flöde i de rum där flödet inte regleras.

*Systemnivån* omfattar hela ventilationssystemet, inklusive rum, distributionssystem och ventilationsaggregat, och är baserat på tryckstyrning. Fläktarna regleras med varvtalsstyrning baserat på signal från tryckgivare, som är placerade på lämpligt ställe i distributionssystemet. Att styra fläkten mot trycket i systemet är nödvändigt, speciellt vid låga luftflöden, då tryckfallet i kanalsystemet blir litet och större delen av fläktrycket riskerar att läggas på donen.



Figur 1. Principskiss av ett DCV systemlösning. Produktillustrationer från Lindinvent, Swegon, FläktGroup

De större tillverkarna av produkter för behovsstyrd ventilation som säljer sina produkter i Sverige inkluderar Swegon, Lindinvent, FläktGroup, Lindab och Halton. Det finns ingen detaljerad information om marknadsandelar för varje aktör. Bedömningar pekar mot Lindinvent och Swegon fortsätter att tillsammans dominera en betydande del av marknaden. Emellertid har de andra tillverkarna ökat sin marknadsandel genom att introducera nya produkt- och styrlösningar.

För att få en inblick av den senaste teknikutvecklingen inom behovsstyrd ventilation, har intervjuer genomförts med fyra produktleverantörer: Swegon, Lindinvent, FläktGroup och Lindab.

### Styrning av luftflöden på rumsnivå

Som inledningsvis nämnts har DCV-system funnits på marknaden i mer än 40 år. Standardlösningen har längre varit styrning av luftflödena på rumsnivå med VAV-spjäll i kombination med vanliga tilluftsdon. Den största fördelen med VAV-spjäll är deras förmåga



att hantera stora tryckfall och luftflöden. Dock uppstod i tidigare systemlösningar ofta problem med ljud från spjällen och drag från donen när luftflödena styrdes till låga nivåer, vilket begränsade möjligheten att minska flödena betydligt. Minimum luftflöden kunde då endast nå cirka 40-50 % av maximala flöden.

Sedan början av 2000 har tekniken för behovsstyrd ventilation utvecklats avsevärt, särskilt när det gäller don/spjäll, luftflödesreglering, givare, styr och regler. När aktiva don, så kallade DCV-don, kom till marknaden ökades snabbt takten av installation av DCV-system i lokalfastigheter. Med aktiva don är det möjligt att tillföra låga luftflöden med låg tilluftstemperatur till rummet utan risk för drag eller problem med ljud. Dagens aktiva don har oftast inbyggda temperaturgivare, närvarogivare, flödesmätning och flödeskontroll via motordrivna spjäll. Även inbyggda koldioxidgivare har kommit till under senare tid. Det finns VAV-don på marknaden som är tryckoberoende och kan hantera tryckvariationer i kanalen upp till över 100 Pa utan problem med ljud.

Aktiva don kallas ofta intelligenta don på grund av den avancerade teknik som är inbyggd i själva donet. Förutom styrning av ventilationsflöden erbjuder flera tillverkare även andra funktioner, såsom styrning av belysning, kombination med radiatorstyrning för att undvika samtidig kylning och värmning, styrning av solavskärmning, med mera. Även styrning av ventilation efter bokning av rummen har provats, vilket kan vara en utmaning eftersom detta kräver många kommunikationskanaler. Ju smartare system, desto fler parametrar måste man ställa in och risken för fel ökar.

Även dagens VAV-spjäll har bättre teknik för flödesmätning med flödesvariation mellan ca 10-100%, inbyggd styr och regler samt minskad mätosäkerhet. Samtidigt finns det idag tilluftsdon som är bättre anpassad till VAV-spjäll kombinationen.

Den senaste tekniken som har tillkommit på marknaden är VAV-spjäll där mätning på luftflöden baseras på ultraljudsteknologi. Tekniken erbjuder bra reglernoggrannhet över ett brett luftflödesband där möjligheter finns att sänka luftflödena till så lågt som 10 l/s. Enligt tillverkare möjliggör denna teknologi förbättrad prestanda, minskad ljudnivå och minimerat behov av rengöring, eftersom sensorn är placerad utanför luftströmmen och därmed inte hindrar luftflödet eller ansamlar damm och smutspartiklar.

Det finns även lösningar för DCV styrning av kylbafflar där hygieniska luftflöden kan anpassas efter behovet i rummet. En befintlig CAV-baffel kan kompletteras ett VAV-spjäll med inbyggd styr- och regler för styrning av luft, kyla och värme i rummet. Idag finns det även kylbafflar på marknaden med inbyggd VAV-funktion med motordrivna dysor som reglerar spaltöppningen i baffeln. Enligt tillverkare är dessa kylbafflar tryckoberoende vilket innebär att den tillför rätt luftflöde oberoende av tryck före kylbaffeln.

Styrningen av värme sker oftast separat, men i nya byggnader blir det alltmer vanligt att detta integreras med DCV produkter.



## Styrning på zon- och systemnivå

Utanför rummet och hela vägen upp till ventilationsaggregatet bygger DCV-systemet på tryckstyrning. Det vanligaste lösningen hittills har varit att hålla ett konstant statiskt tryck i systemet, direkt efter aggregatet eller på en lämplig plats i huvudkanalen. I mindre system räcker det med tryckstyrning av fläktarna förutsatt att VAV- spjäll eller aktiva VAV-don kan hantera de tryckvariationer som uppstår. I större system kan det dock vara nödvändigt med zonspjäll för att dela upp systemet i mindre zoner. Zonstyrning av tryck är viktig och enligt en av intervjuade tillverkare bör tryckgivare placeras längre ut i systemet för att maximera energieffektiviteten, istället för att placeras efter aggregatet. Den vanligaste orsaken till ljudproblem anses vara för högt tryck och att det inte mäts på rätt plats.

I ett DCV-system är det avgörande för systemets funktion och prestanda att fläktarna fungerar stabilt över hela luftflödesområdet. Då fläktarnas verkningsgrad snabbt minskar när luftflödet är lågt, bör de inte vara överdimensionerade för att undvika problem med instabil funktion och ökad energianvändning. Redan för tio år sedan fanns tekniker på marknaden, såsom fläktar med borstlösa likströmsmotorer (BLDC-motorer), som hade betydligt högre verkningsgrad vid låga luftflöden jämfört med konventionella asynkronmotorer.

Flertal tillverkare erbjuder idag helhetslösningar för DCV-system med ventilationsprodukter med integrerad styr- och regler från rumsnivå till systemnivå som kan säkerställa bra kommunikation mellan olika komponenter i systemet. Teknikutvecklingen har lett till ökad funktionalitet, smartare styrning och nya möjligheter att optimera DCV-systemens energiprestanda och styrningen av fläkten. Till exempel kan börvärdet för tryckstyrning anpassas fortlöpande efter VAV-enheternas eller zon-spjällens öppningsgrad. Det är också möjligt att styra det centrala ventilationsaggregatets luftflöde efter kontinuerlig mätning av de enskilda rummens luftflöden. För att hantera detta krävs effektiv kommunikation mellan olika systemkomponenter. Det pågår kontinuerlig utveckling för att öka dessa kommunikationsmöjligheter och förbättra övervakningen på systemnivå. Visualisering av systemet hjälper till att upptäcka eventuella brister eller flaskhalsar i systemet.

Det pågår även arbete med att göra system lättare att förstå för användare, förbättra kommunikationen och tydligare för dem som arbetar med systemen. Exempelvis finns redan idag möjligheter för brukarstyrning på rumsnivå genom en QR-kod som kopplar till en app för inställning av temperaturen i rummet.

Kunden kan idag välja mellan att koppla produkter till eget styrsystem eller köpa en komplett DCV-systemlösning med styrning från produkttillverkare. Det finns styrlösningar med trådlösa mätsignaler från komponenter till en separat central enhet där styrlogiken sitter.

Att göra produkterna kommunicerbara med varandra med integrerad styrning, ger fördelar vid installation och drift och stödjer systemoptimering för bättre energiprestanda.

## Givarteknik

Det vanligaste sättet att styra luftflödena på rumsnivå idag är efter temperatur, närvaro och koldioxidhalt. Även styrning baserad på relativ fuktighet och VOC-gaser (gasformiga



organiska föroreningar) i rummet förekommer. Givartekniken för temperatur- och närvarostyrning är relativt enkel och välutvecklad samt lätt att anpassa för luftflödesstyrning. Däremot kan styrning av luftflöden efter mätning av gas(er) eller partiklar vara något mer utmanande.

Den vanligaste indikatorn för luftkvalitet i lokalbyggnader är fortfarande koldioxid. Koldioxidhalt är lätt att mäta och används som ett indirekt mått på halten av luftföroreningar som genereras av människor. De koldioxidgivare som finns på marknaden för luftflödesstyrning i DCV-system baseras vanligen på NDIR teknik (Non-dispersive-infrared). Den största fördelen med denna teknik är dess känslighet och noggrannhet. Ett problem är dock att ljuskällan som är inbyggd i givaren åldras, vilket kan leda till mätfel om givaren inte kalibreras regelbundet. NDIR-givare är också känsliga för transporter.

För att kompensera för långsiktig instabilitet och mätfel har koldioxidgivare vanligen kompletterats med självkalibreringsteknik (ABC algoritmen). Den inbyggda ABC algoritmen letar efter de lägsta uppmätta koldioxidvärdena inom en given tidsperiod, vanligtvis flera dagar. De lägsta uppmätta värdena omkalibreras sedan under antagandet att det lägsta registrerade värdet motsvarar frisk utomhusluft (ca 400 ppm koldioxid). Detta förutsätter att rumshalter av koldioxid sänks till utomhusnivån för minst ett par gånger per vecka. Om detta inte sker, kommer givaren göra en felaktig kalibrering, vilket i sin tur resulterar i otillräckliga luftflöden och sämre inomhusluftkvalitet. Vidare behövs det uppmärksammas att betongkarbonatisering i nya byggnader kan minska koldioxidkoncentrationen långt under 400 ppm, så automatisk bakgrundskalibrering fungerar inte heller i det här fallet (6).

Mätosäkerheten för NDIR-givare ligger oftast runt  $\pm 70$  ppm, men för vissa ännu högre, upp till  $\pm 100$  ppm vid koldioxidhalt 1000 ppm. Vid högre halter ökar också mätosäkerheten. Om denna mätosäkerhet är tillräcklig för styrning av luftflöden i ett DCV-system är också en viktig fråga. Exempelvis Amerikanska riktlinjer *California Building Standards Code* (7) ställer krav på att koldioxidgivare som används i DCV-system måste vara certifierad av tillverkaren för att uppfylla en noggrannhet på  $\pm 75$  ppm eller mindre vid koncentrationer på 600 ppm och 1000 ppm när det mäts på havsnivå och vid en omgivningstemperatur på  $+25^{\circ}\text{C}$ . Inga sådana krav finns idag i Sverige.

Mätning med koldioxidgivare är beroende av atmosfärens tryck och temperatur. De flesta gasgivare avger en signal som är proportionell mot molekylens densitet (molekyler/gas volym), även om avläsningen uttrycks i delar per miljon (volym/volym). När trycket och/eller temperaturen ändras kommer även gasens molekylära densitet ändras enligt den ideala gas lagen). Effekten syns i avläsningen i ppm för givaren (14).

När givare kalibreras på fabriken är instrumenten vanligtvis inställda på standard tryckförhållanden (havsnivåförhållanden 1013 hPa) och på standard temperatur ( $+25^{\circ}\text{C}$ ). Givarens mätosäkerhet, som visas i tekniska datablad, motsvarar därmed standardförhållanden. Vanliga koldioxidgivare mäter inte tryck och temperatur och kan därför inte automatiskt kompensera för tryck- och temperaturvariationer. Dock finns det allt fler koldioxidmätare på marknaden som både mäter och kompenserar för temperaturvariationer och som därför inte kräver någon extern kompensation.



Det finns tillverkare som hävdar att deras givare är helt underhållsfria, men det behöver nog verifieras genom uppföljning i praktiken. Speciellt i skolor har det tidigare förekommit problem där mycket föroreningar i frånluftskanaler har påverkat givarnas prestanda. Tyvärr har det inte hittats några nyligen genomförda fältmätningar i Sverige med publicerade resultat, som kan visa hur koldioxidgivare presterar under en längre tidsperiod.

Användningen av VOC-givare för styrning av ventilationsflöden har blivit alltmer relevant under de senaste tio åren. Den stora utmaningen med VOC-givare är att de oftast mäter ett stort antal olika organiska flyktiga ämnen som kan ha helt olika källor. Även om en del av dessa ämnen kommer från människor och deras aktiviteter, kan givarnas signal därför även påverkas av andra faktorer såsom byggmaterial, möbler och föroreningar utifrån. Det är inte möjligt att urskilja specifika ämnen och styra enbart utifrån dem. Vidare är inverkan av flyktiga organiska ämnen på upplevd luftkvalitet, hälsa och välbefinnande långt ifrån klarlagd. Vi vet emellertid att en del ämnen är luktar illa, en del är hälsoskadliga, medan många inte har någon inverkan alls vid de koncentrationer som normalt förekommer inomhus (17, 18).

Det finns inga gränsvärden för de blandningar av VOC som den aktuella typen av givare mäter. Istället används VOC-givaren för att urskilja vad som är bakgrundsnivå och vad som är förändringar, alltså tillskott av föroreningar inomhus. Det finns VOC-givare som har en automatisk baslinjekalibrering. En konstant låg nivå av VOC (som också kan kallas "bakgrund") ska uppfattas som basnivå. Tanken är då att ventilationsflödet ska regleras med hänsyn till avvikelser från denna basnivå.

Det finns VOC-givare som omvandlar de uppmätta halterna av VOC till koldioxidekvivalenter med avsikten att göra resultaten lättare att tolka. Tyvärr finns det dock inga tydliga specifikationer om mätosäkerheten hos sådana givare och hur de ska kalibreras. Dessutom är det viktigt vid VOC-mätning att mäta skillnaden mellan till- och frånluft och att styra flödena därefter, eftersom vissa VOC-gaser, som givarna är känsliga för, kan förekomma både inomhus och utomhus. Möjligen kommer det i framtiden att utvecklas VOC-givare som specifikt kan mäta sådana föroreningar som kommer från människor och deras verksamhet med tillräcklig noggrannhet.

Under de senaste tio åren har även rumsgivare på partikelmätning kommit ut på marknaden. Partikelgivaren avkänner PM<sub>2.5</sub>- och PM<sub>10</sub>-koncentrationen i rummet. Tidigare studier har visat en bra korrelation mellan koldioxidhalt och partiklar i inomhusmiljöer (8). Det finns en stark koppling mellan förhöjda partikelhalter och negativa hälsoeffekter, vilket har ökat intresset för mätning av partikelhalter.

Enligt tillverkare har tekniken för luftflödesmätning betydligt förbättrats under de senaste tio åren. Tidigare kunde flödesgivare i DCV-don ha problem med långtidsstabilitet, bli smutsiga och behövde rengöras en gång per år. Nu är tekniken betydligt förbättrad. Prestanda hos tryckgivare har blivit bättre. Idag använder tryckgivare en helt annan teknik, såsom genomströmningsgivare, vilket möjliggör mätning av lägre luftflöden. Den nya generationens tryckgivare fungerar bra även vid låga trycknivåer, runt 1 Pa, och är mindre känsliga för damm. Tidigare nämndes också ultraljudsteknologi för mätning av luftflöden i VAV-spjäll,



vilket ger hög reglernoggrannhet över ett brett luftflödesintervall och minskar behovet av rengöring.

Idag erbjuder flera tillverkare trådlösa givare. Installationstiden verkar vara en utmaning för branschen, där kabeldragning, driftsättning och SÖS-koppling medför kostnader. Med trådlösa givare kan dessa processer genomföras på ett mer kostnadseffektivt sätt.

Trådlösa givare har vanligen blåttand koppling till styrenheter eller spjäll. Säkerheten är en viktig fråga när det gäller trådlösa givare, liksom frågor kring batteritid. Det finns teknik för att undvika problem med interferens från andra trådlösa enheter i rummet. I stora byggnader blir det dock mer komplext och det är viktigt att systemet fungerar stabilt. Säker kommunikation är en viktig utmaning.

### **Projekteringsanvisningar och utmaningar i systemuppbyggnad**

Det finns produktblad med teknisk information och installationsanvisningar för varje komponent i DCV systemet. Ett fåtal systemtillverkare erbjuder kompletta anvisningar för projektering och installation av hela systemlösningar, exempelvis Lindinvent och Swegon (9-11).

Projekteringsanvisningarna har en varierande detaljnivå. Vissa ger mer utförliga riktlinjer för systemuppbyggnad, hantering av tryckfall, dimensionering av luftflöden, dimensionering av systemkomponenter, injustering. Andra ger en översikt av systemkomponenter och systemfunktioner.

Flertalet systemtillverkare har också börjat engagera sig allt mer i projekteringen och driftsättningen. Istället för att gå in i detaljrutningar erbjuder de projektering för systemritningar och/eller agerar som bollplank i projekteringsprocessen.

Det ställs större krav på projektörer som utformar DCV-system. För att säkerställa korrekt funktion av DCV-system krävs en genomtänkt lösning. Enligt tillverkare är det vanligt att stöta på för höga tryckfall och för små kanaler i systemet, vilket kan leda till problem. Å andra sidan kan det ibland observeras överdimensionerade kanaler, aggregat och spjäll. För stora kanaler och för låga tryckfall kan skapa problem med att mäta flödet korrekt. Ibland förekommer även felaktiga zonindelningar med flera rum anslutna till ett spjäll, vilket kan göra det utmanande att bibehålla rätt tryck i systemet. Väl genomtänkt zonindelning och övervakning av systemens funktioner är avgörande för bra funktion.

Projektörer kan simulera DCV-systemet med olika produkter som finns på marknaden och utföra tryckfallsberäkningar för att undvika potentiella fel. Med tillverkarnas programvara är det möjligt att simulera olika driftsförhållanden och utforska möjligheter till optimering. Det är viktigt att förstå hur driftsförhållandena kommer att påverka systemet i verkligheten, vilket ibland kan vara svårt att förutse. För att uppnå bra systemfunktion och prestanda är det avgörande att göra korrekta dimensioneringar från början; ur drift- och energisynpunkt är det exempelvis inte optimalt att överdimensionera aggregatet.

Enligt vissa systemtillverkare krävs det ofta kompetensutvecklingsinsatser från produktsäljare för att skapa bättre lösningar. Säljarna ägnar en del av sin tid åt att utbilda både kunder och





projektörer. Diskussioner förs med projektörer i anbudsskedet för att identifiera områden som kan förbättras. Säljarna granskar ritningarna och samråder med projektörerna för att upptäcka eventuella risker eller möjligheter till förbättringar i lösningen. Tillverkarna kan inte ge garantier för att allt fungerar utan att ha kontrollerat detta. Hur detta presenteras i anbudet är av stor vikt. Det verkar som att beställarkompetens är avgörande för att ta hänsyn till dessa faktorer.

## 2.3 Framtidens teknik och utvecklingspotential

De intervjuade produktleverantörer ser inga större ändringar på tekniksidan, man kan bara förbättra marginaler. Den stora förändringen med framtidens produkter tycks vara hur produkten styrs, övervakas och optimeras. Utveckling av styrplattformar, nätverksanslutna produkter som kopplas upp till ett eget system är redan på gång. Det anses vara viktigt att skapa bra övervakning för att förstå hur systemet fungerar.

Enligt tillverkarna finns det önskemål från kunderna om billigare och enklare produkter. Idag kan DCV-systemlösningar vara för komplexa. Dessutom vill kunderna ha möjlighet att själva styra systemkomponenter utan att vara bundna till en specifik produktleverantör. Det finns en rädsla bland kunderna för att bli låsta till de produkter de köper och de efterfrågar flexibilitet och tydliga priser utan gömda kostnader. Vidare, när det gäller komplexa styrsystem och flera olika styrlösningar för att hantera, behövs ett överordnadsystem för att stötta styrningen.

Flertal tillverkare ser också behov för modernisering och digitalisering av branschen för att möta dagens behov och trender. Vikten av ventilation har ökat i ljuset av covid-19-pandemin. Eftersom ventilation utgör en betydande del av en byggnads energianvändning bör fokus ligga på hållbarhet och digitalisering, inklusive effektiva styr- och mjukvarulösningar.

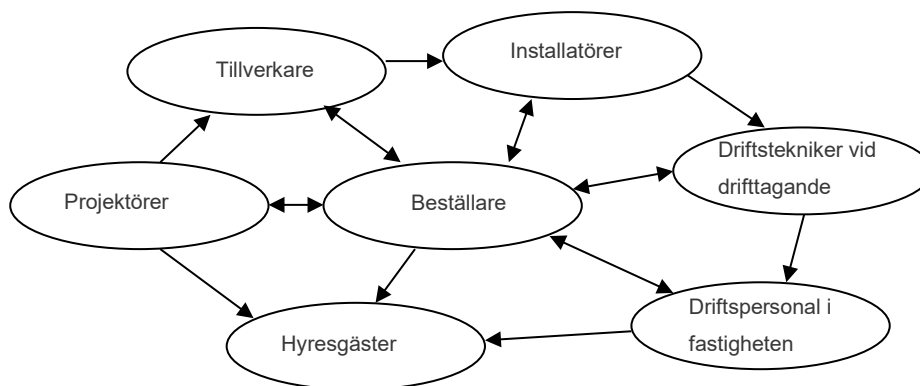
En viktig aspekt är att förbättra givartekniken för att göra den mer tillförlitlig och för att minska mätosäkerheten. Många nya företag inom givarteknik har startats de senaste 10 åren, men kvaliteten på givarna varierar. Kunden kan ibland välja billigare alternativ som temperaturgivare istället för koldioxidgivare på grund av priset, trots att koldioxidgivaren ger viktig information om luftkvaliteten. Det diskuteras även om behovet av att integrera mätningar av atmosfäriskt tryck för att få mer komplett data.

## 3. HUR DCV SYSTEMEN FUNGERAR I PRAKTIKEN?

### 3.1 Förutsättningar från en välfungerande DCV system

Det finns många aktörer inblandade i processen med att bygga upp ett välfungerande DCV system. De olika aktörer och samband mellan de medverkande i processen illustreras i Figur 2.





Figur 2 Samband mellan alla medverkande vid processen att bygga upp ett DCV system.

Det finns ett antal tekniska krav som behöver ställas på DCV systemets utformning och systemkomponentens egenskaper för att det färdiga systemet skall fungera på önskat sätt. Därutöver krävs att projektören är kompetent och har förståelse hur ett VAV system fungerar. Vidare bör alla inblandade ha en åtminstone allmän förståelse för vad VAV tekniken innebär. Allt detta måste uppfyllas för att man skall uppnå önskad funktion i den färdiga anläggningen.

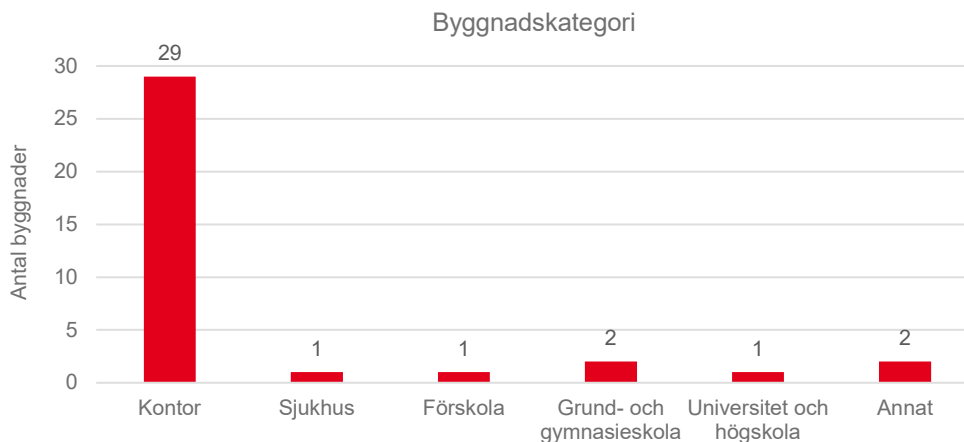
Förutsättningar för ett välfungerande DCV system är:

- Genomtänkta systemfunktioner och projektering med god insikt i vad ett DCV system är och vad som krävs för att det skall fungera korrekt;
- Rätt val av komponenter;
- Genomtänkt och rätt utformat styr- och reglersystem;
- Rätt utförd installation och driftstagande;
- Rätt underhåll och drift.

### 3.2 Resultat från en enkätstudie

En webbaserad enkät skickades ut till alla fastighetsägarna inom BELOK gruppen. Enkätsvaren kom in för 38 anläggningar. För två av svaren skrevs i kommentaren att svaren ges som generella svar för hela förvaltningen och ej för en specifik byggnad. De två svaren har inte tagits med i resultatbilder, men istället behandlas separat i kapitel 3.3.1 *Skolor*.

Anläggningarna omfattade främst kontorslokaler, 81 % av alla byggnader. Andel undervisningslokaler som finns med i enkätstudien är 11 %, inkl. förskolor, grund- och gymnasieskolor, universitet och högskola. Figuren nedan visar fördelningen efter olika verksamhetsslag av de byggnader som ingick i studien.

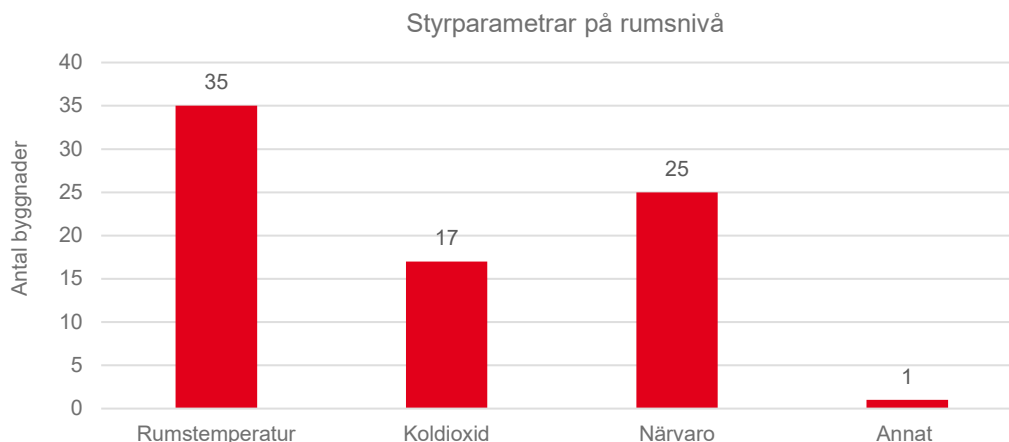


Figur 3. Fördelningen efter olika verksamhetslag av de byggnader som ingick i studien. Totalt visas svaren för 36 anläggningar.

Ungefär hälften av de studerade byggnaderna är ombyggnader, dvs äldre CAV- system har byggts om till DCV-system.

I de flesta utvärderade anläggningar styrs luftflödena på rumsnivå med DCV-don, så kallade aktiva don. I ett flertal anläggningar används både DCV- don och VAV-spjäll för rumsreglering. I några anläggningar finns bara VAV-spjäll. Det finns produkter från flera olika fabrikat. Det mest förekommande fabrikatet för produkter för behovsstyrd ventilation är Lindinvent (ca 45%), följd med Swegon (25%), Fläkt Group (11%) och Halton (9%). Det förekommer också systemlösningar som är egendesignade, så kallade ”platsbyggda” lösningar, med komponenter från olika tillverkare.

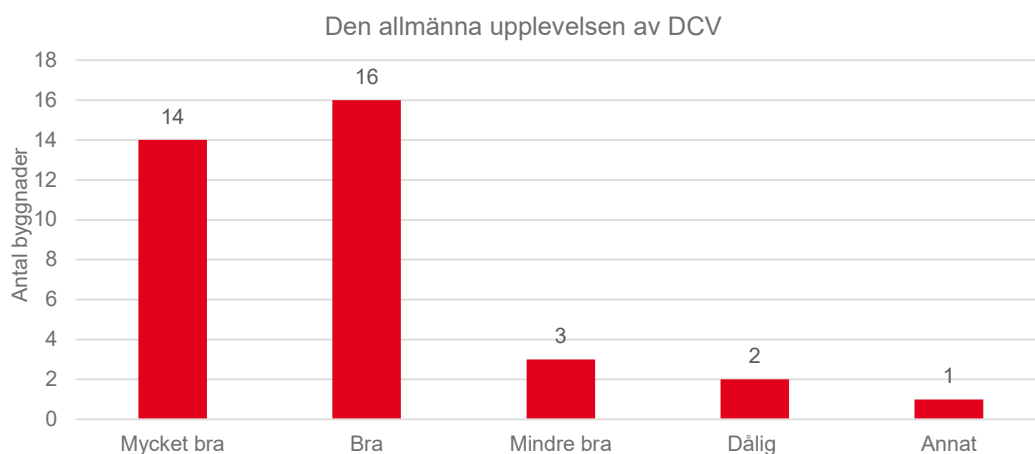
Behovsstyrd ventilation tillämpas för komfortkyla (t.ex. kontorslokaler) eller/och för att styra hygieniska luftflöden, dvs. hålla luftkvalité på acceptabel nivå (t.ex. klassrum, sammanträdesrum, föreläsningssalar). Figur 4 visar olika typer av styrparametrar som används för att styra luftflödena på rumsnivå i de byggnader som ingick i studien. Den vanligaste parametern för styrning av luftflöden på rumsnivå är temperatur, oftast kompletterad med närvaro och/eller koldioxid (se figur 4). I en anläggning styrs luftflödena bara centralt på aggregatnivå. I praktiken utgör temperaturstyrning tillsammans med närvarostyrning nästan en standardlösning.



Figur 4. Styrparametrar som används för styrning av luftflödena på rumsnivå i DCV-system i de byggnader som ingick i studien. Totalt visas svaren för 36 anläggningar.

Figur 5 ger en bild av hur de DCV-system som ingick i enkäten fungerar som helhet. Resultatet visar att i 83 % av byggnaderna som ingick i enkätstudien fungerar DCV-systemen i stort sett bra eller mycket bra. De problem som har förekommit har uppfattats som kortvariga och har generellt inte påverkat den allmänna uppfattningen. Helhetsbilden måste således bedömas som i grunden klart positiv.

I fem anläggningar (ca 14%) upplevs ventilationsanläggningens funktion mindre bra eller som dålig som helhet. Erfarenheter från de anläggningar som uppfattats dåliga eller mindre bra berörs närmare i slutet av avsnittet. Erfarenheter från skolor hanteras i nästa kapitlet. För en anläggning svarades att DCV-systemens funktion anses varar varken eller. De upplever ungefär samma grad av felanmälningar på VAV-systemet som på fastighetens övriga system.

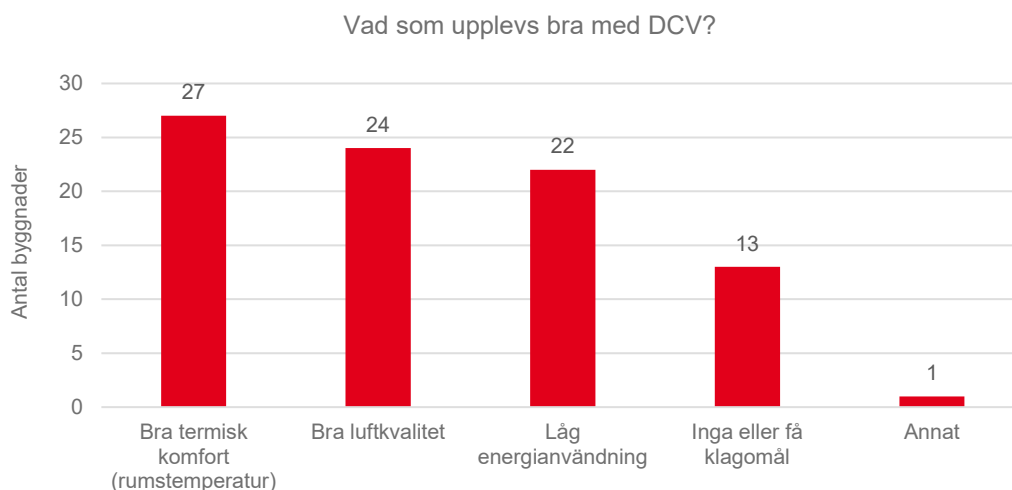


Figur 5. DCV-systemens funktion som helhet i de byggnader som ingick i studien. Totalt visas svaren för 36 anläggningar.

Figur 6 ger en bild av vad som upplevs som bra med behovsstyrd ventilation av dem som bedömde den allmänna upplevelsen av DCV-systemet som mycket bra eller bra. De flesta nämnde om bra termisk komfort och luftkvalitet med DCV. En annan fördel som nämndes var att med DCV går att utläsa många parametrar på don-nivå i realtid och historiskt, vilket

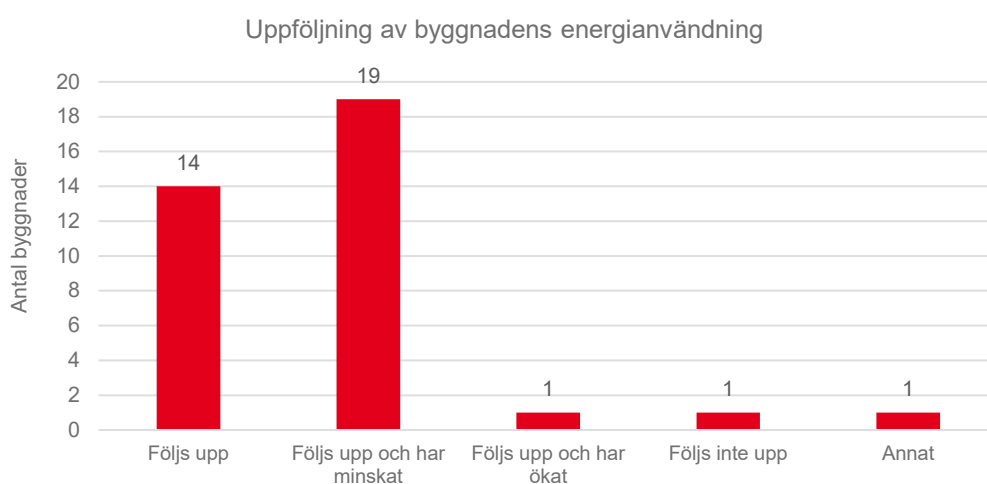


underlättar vid felsökning och uppföljning av energieffektiviseringsarbetet. En kommentar från en fastighetsägare var också att de anser att DCV/VAV i en fastighet utgör en fantastisk grund, men att det sedan kräver engagemang och ytterligare kostnader att uppgradera anläggningen.



Figur 6. Vad som upplevs bra med DCV-system i de byggnader där den allmänna bedömningen för DCV-systemens funktion var bra eller mycket bra.

Ett av huvudskälen för valet av DCV-system vid nybyggnad och vid ombyggnad från CAV till DCV, är minskat energibehov. Figur 7 ger en bild av hur DCV-systemen har påverkat energibehovet i de studerade byggnaderna. För nya byggnader handlar det främst om att följa upp energianvändningen och jämföra med projekterade värden. För ombyggnader handlar det om att jämföra energibehovet före och efter ombyggnaden till DCV. I en av anläggningarna uppgavs det att andra förutsättningar gällde före ombyggnaden när det gäller systemval, vilket innebär att en rättvis jämförelse inte kan göras. I den anläggningen där energianvändningen följs upp och har ökat, kommenterades det att ökningen beror på en dålig värmepump och inte på DCV-anläggningen.



Figur 7. Uppföljning av byggnadens energiprestanda i de byggnader som ingick i studien. Totalt visas svaren för 36 anläggningar.



De problem som har lyfts fram vid analysen av drift och underhåll inkluderar både problem med inneklimatet och tekniska problem med systemkomponenter och utrustning (siffran inom parentes visar antalet svar):

- problem med DCV-don, t.ex. ställdon har fastnat, osv. (1)
- problem med VAV-spjäll (1)
- problem med givare, t.ex. försmutsning av luftflödesgivare, rumsgivare visar fel, nolltrycksfel i tryckgivare, osv (4).
- problem med styr- och reglerutrustning (3)
- obalans mellan till- och frånluftsflöden (2)
- dåligt isolerade tilluftskanaler (höga tilluftstemperaturer) (1)
- feldimensionerade VAV-spjäll eller luftdon (1)
- fel flöde, mätfel eller/och bullerproblem pga. fel placering av reglerpjäll och givare (1)
- dragproblem från donen vid låg takhöjd (1)

Andra erfarenheter enligt enkätsvaren inkluderar:

- för komplicerad funktion (1)
- de som vistas i rummet påverkar givare (1)
- problem med kalibreringen av rumstemperaturen på en stor del av donen (1)
- kan bli kallt i mötesrum där det inte är någon internlast eller andra värmekällor (1)
- kommunikationsslingan kan bli överbelastad (1);
- Utbildningsnivå vid driftpersonal är bristfällig för att hantera DCV system (2)
- Brist i leverans från tillverkare att man inte tänker dödzoner utan systemet går mot fast börvärde vid närvaro. Problem som uppstått innan vi ändrade till dödzon vid närvaro var att fastigheten kylde och värmdes samtidigt (1)
- Ett problem är att systemet är så komplicerat att vi i princip bara kan vända oss till tillverkaren för att få hjälp. Dessa är dessbättre behjälpliga och kompetenta (1)
- Generellt väldigt mycket komponenter som kan gå sönder (1)
- Man måste som anläggningsskötare kunna systemen. Det händer hela tiden saker som måste åtgärdas och görs inte det fungerar inte heller fastigheten. Det går inte att förlita sig på att inhyrda entreprenörer ska klara detta (1)
- Man måste som anläggningsskötare konstant övervaka systemen. Vid ombyggnationer måste anläggningsskötaren vara mycket noggrann, annars riskerar systemen att skadas. Byggentreprenörer, som till exempel flyttar en vägg, har ofta bristande förståelse för att det finns ett DCV-system som måste anpassas efter den nya väggen. I stora fastigheter sker det kontinuerligt förändringar i layouten, och anläggningsskötaren får inte alltid information om detta (1)

I enkäten ställdes också en fråga om fastighetsägare kalibrerar/justerar rumsgivare i den specifika anläggningen. Fem fastighetsägare valde att svara på frågan, varav fyra svarade nej.

För frågan om styrdokumentationen och driftinstruktioner är tillräckliga för att drifva behovsstyrda ventilationssystem i fastigheten svarade bara fem fastighetsägare där majoriteten



tyckte att instruktionen var tillräckliga. där majoriteten tyckte att instruktionerna var tillräckliga. En fastighetsägare nämnde att de även involverar entreprenören under två år efter driftsättningen för att säkerställa att de projekterade värdena uppfylls.

### 3.3 Resultat från intervjuer med fastighetsägare

Utifrån enkätstudien har ett antal fastighetsägare valts ut, och telefonintervjuer har genomförts för att få en mer detaljerad information om den aktuella situationen och de behov som finns. Erfarenheter har hämtats från fastighetsägare som äger och förvaltar skolfastigheter, kontor och universitetsbyggnader. Dessutom inkluderas här svaren från enkätstudien där det noterades i kommentarerna att svaren gavs som generella svar för hela förvaltningen och inte för en specifik byggnad

#### 3.3.1 DCV i skolor

Tillämpning av DCV-system i skolor har varit omdiskuterad sedan ganska länge. En betydande utmaning tycks vara att skolor har ingen aktiv kyla. Verksamheten vill maximera ljusinsläppet från fönstren som resulterar i stora fönsterpartier, men att ha maximalt ljusinsläpp utan att behöva kyla samtidigt är en utmaning. Om den tillförda luften inte är kyld kan ett fullt luftflöde istället resultera i att temperaturen i byggnaden ökar. Idag skapas kylkapacitet på tilluften enbart med uteluft.

Två skolfastighetsägare intervjuades för denna förstudie: Stadsfastighetsförvaltningen i Göteborgs stad (SFF) och Skolfastigheter i Stockholm AB (SISAB). Båda fastighetsägarna beskrev ett antal utmaningar som förekommer med tillämpning av behovsstyrd ventilation i skolor. Det finns DCV-anläggningar i skolor som fungerar acceptabelt medan andra har haft problem av olika anledningar. I flera fall har problemen varit för svåra att åtgärda vilket har lett till att funktionen för variabelt flöde har kopplats bort och idag styrs ett flertal installerade DCV-system som CAV-system.

Både SISAB och SFF har sina egna tekniska krav och anvisningar, som inkluderas i bygghandlingarna. Dessa riktlinjer har utvecklats över tiden. För Stadsfastighetsförvaltningen i Göteborgs stad var det fram till 2016 krav på DCV-system för förskolor och grundskolor vid nybyggnation. Från 2016 till idag krävs DCV endast för nybyggda grund- och gymnasieskolor. Förskolor är inte längre föremål för detta krav, efter en internutredning som visade på höga kostnader för installation, drift och underhåll som inte motiverades av energibesparing. Vidare gjordes en bedömning om att VAV-spjällen går sönder efter 7 år, vilket ledde till beslutet att begränsa användning av DCV-system på grund av dess korta tekniska livslängd.

Även SISAB har ändrat sina tekniska krav och riktlinjer. Den första versionen av deras anvisningar för framtidens skola från 2016 krävde DCV-system i skolor. Detta har nu tagits bort i version 2.0 på grund av brister i drift. Erfarenheter har lett till att de nu inte inkluderar DCV i deras framtida skolbyggnader på grund av kostnader och tidigare problem. SISAB introducerade de första DCV-anläggningarna år 2013-2014, och sammanlagt finns DCV-system installerade i 15 skolor. Den senaste DCV-installationen gjordes 2020, och därefter



har inga DCV-installationer skett. Förhoppningen är att branschen utvecklas med ökad kompetens kring DCV för att återinföra det i deras riktlinjer. Tillit till systemen är av stor vikt.

Det finns olika faktorer som har bidragit till de problem som har uppstått med DCV-systemen i skolor. En del problem har kopplats till brister i systemdesignen, medan andra har att göra med installation och drift. Fel har uppstått både med platsbyggda och prefabricerade DCV-systemlösningar. Samtidigt görs det också en bedömning att den tidigare uppfattningen om dålig funktionalitet med DCV-system inte alltid är rättfärdigad, eftersom den verkliga orsaken till problemen inte alltid har förståtts fullt ut.

### **Utmaningar med egendesignade och anpassade systemlösningar**

Tidigare har SFF installerat i skolor egna anpassade DCV-systemlösningar istället för att använda prefabricerade koncept med integrerad styr. Till exempel, med Swegon Superwise DCV-system, användes endast drivarna i donen och ett eget styrsystem designades och installerades i systemet. Tanken bakom den egna designen var att skapa en flexibel lösning för drift, med en enhetlig visualisering oavsett vilket tekniskt system eller komponent som användes. Det var ett medvetet val att inte fullt utnyttja prefabricerade koncept, istället integrerades delar av DCV funktionaliteten i en annan "ram". Detta ledde tyvärr till problem, som felaktiga värden från styrsystemet och problem med styrning. Daglig förvaltning missade att upptäcka problemen som uppstått på grund av felaktig driftsättning och besiktning. Driftpersonalen hade inte tillräcklig kunskap för att identifiera dessa fel. Leverantörer av system och komponenter var inte alltid närvarande för att lösa problemen, men samtidigt erbjöd de god support när de kontaktades.

Sedan 2016 har alla grund- och gymnasieskolor i Göteborg fortfarande DCV-system som standard, men inte längre med prefabricerade komponent- och systemlösningar. Istället har de övergått till helt egendesignade och så kallade "platsbyggda" DCV-system. Denna anpassning har dock inte alltid fungerat så väl. Den egendesignade lösningen förenklade radikalt DCV-systemlösningen jämfört med prefabricerade systemlösningar. Exempelvis finns det ingen flödesmätning på rumsnivå, utan spjället öppnas mellan min och max läge. Detta gör det svårt att veta hur mycket luft som tillförs till rummet, vilket kräver tryckstyrning på grenkanalerna. I många byggnader har även problem med ljud förekommit.

Injusteringar i dessa system görs vid maximalt flöde men även vid minimalt flöde. Vid max flöde ligger spjällen på en viss % läge för att klara max flödet vid ett visst systemtryck. Efter det ställs flödet på en nivå som ska motsvara det lägsta flödet som alla rum ska ha. Detta motsvarar 0% i styrsignal. Vid 0 % styrsignal har spjällen en viss vinkel, och med ett visst tryck får man ett visst flöde, exempelvis 120 l/s. Problem kan uppstå när andra spjäll öppnar före det spjällen, då kan spjällen få mindre flöde. Trycket påverkas i systemet om allt annat öppnar (spjäll), vilket kan resultera i att flödet bli noll i vissa spjäll eftersom trycket blir för lågt. Samtidigt kommer rumsgivaren reagera och kalla på mer flöde och spjällen kommer att öppna ändå. Dock kan hela denna process ta tid, och lektionen kan vara slut innan systemen kommer igång ordentligt.





En intern utredning som gjordes i 15 skolor med egendesignade platsbyggda DCV-system visade att dessa system vanligen hade stora kanaler för att minska kanaltrycket och säkerställa ett lågt SFP. Luftflödesbalansering görs på stamnivå i alla system, där zonvis luftflödesmätning utförs på total tilluft och balanseras med frånluft. Tryckgivare mäter differentialtryck för att beräkna luftflödet, men för låga tryckfall över mätproben gör det svårt att mäta luftflöden med rimlig mätosäkerhet. Dessutom uppstod problem med långsiktig stabilitet med tryckgivare.

Internutredningen visade även att det fanns problem med överluftsdon och felaktigt ritade systemlösningar i de granskade byggnaderna. SFF kräver att konsulter har en bra förståelse för DCV-systemets uppbyggnad och funktion samt att de läser tekniska datablad för systemkomponenter såsom VAV-spjäll och luftflödesmätare. Med prefabricerade lösningar är det ett färdigt koncept där leverantören av produkterna kan rita och granska systemlösningen för att säkerställa funktionen och förstår hur olika zonindelningar ska hanteras.

### **Utmaningar vid installation och driftsättning**

Felaktiga installationer på grund av slarv och bristande kompetens har också nämnts som en orsak till de problem som har uppstått med DCV-system i skolor. Fastighetsägaren har kravspecifikationer vid ramhandling. Därefter överlämnas allt till totalentreprenören, som kan ha bristande kompetens hos sina underleverantörer. Fastighetsägaren kan påverka i slutbesiktningssfasen och påpeka felen om de ser att något inte kommer att fungera som det borde. Då kan felen åtgärdas av entreprenören, annars blir det fastighetsägarens problem.

Enligt en av de intervjuade fastighetsägarna har integrationen av DCV med andra system varit en utmaning. Vanligtvis lämnar produktleverantörer över en manual, och sedan ringer styrentreprenörerna dem med frågor. Det kan uppstå en del fel på grund av slarv eller/och på grund av bristande kunskap hos utförarna. En del av dessa problem har åtgärdats när produktleverantörer har inkluderats i idrifttagningen och det verkar som att systemen har börjat att presterat bättre. Detta måste dock tydligt specificeras i kravspecifikationer att tillverkare ska inkluderas i idrifttagningen.

Kommunikationen mellan styrentreprenörer anses varar avgörande för ett bra resultat, och det är viktigt att ha gemensamma gränssnitt för kommunikationen mellan olika system och komponenter. Framtiden förväntas innebära en ökad användning av behovsstyrda lösningar. En god kommunikation mellan styrentreprenörer är viktig för framtida utveckling.

En annan utmaning verkar vara att driftsättning och injustering oftast genomförs när lokalerna är tomma. Tyvärr är det vanligt att byggnaden är färdiginjusterad innan verksamheten flyttar in och entreprenören gör oftast inte om injusteringar. Det finns ingen som egentligen tar hand om systemen och finjusterar när verksamheten har kommit igång. Driftorganisationen saknar oftast tillräcklig kunskap och erfarenhet av DCV-system. Endast några få drifttekniker har kunskap om DCV-system enligt de intervjuade fastighetsägarna. Det är alltför lätt för fel att uppstå. SISAB nämnde även att de inte har några egna drifttekniker utan förlitar sig på driftentreprenörer genom ramavtal för att sköta driften. Bristen på specialkompetens kring



DCV är tydlig. Att ha egna drifttekniker skulle kunna öka engagemanget för att lösa en del av problemen.

### **Förslag på att åtgärda problemen**

Enligt intervjuade fastighetsägare är det beklagligt att DCV-system har fått ett dåligt rykte. Specialkunskaper om DCV-system är avgörande för en välfungerande DCV-system. Det krävs förbättrad kunskap vid kravställning, installation, driftsättning, besiktning och drift, oavsett om det gäller platsbyggda eller prefabricerade DCV-system. För att få DCV-systemen att fungera bra krävs ett antal servicepunkter och kontrollåtgärder. Vissa lokalfastighetsägare använder till exempel en checklista för detta ändamål. Entreprenörerna måste ta ansvar för att kontrollera funktionen och finjustera systemen när verksamheten är på plats.

### **Rutiner för underhåll och byte av komponenter**

Stadsfastighetsförvaltningens rutiner för underhåll och komponentbyte inkluderar regelbundna rengöringar av komponenter var femte år. Driftinstruktioner från leverantörer verkar vara bra och ventilationsdatablad har välbeskriven text. Idag är allt digitalt. Entreprenörerna tillhandahåller relationshandlingar för styrning och övervakning, inklusive driftkort som beskriver systemens funktion. Kvaliteten på driftkortet varierar beroende på entreprenör.

Tidigare var den tekniska livslängden för DCV-systemkomponenter cirka 10 år, men enligt fastighetsägare har den förbättrats. Nu är de mer tillförlitliga, och det finns exempel på DCV-systemkomponenter som har varit i drift i 15 år eller mer. Flera fastighetsägare anser att en rimlig teknisk livslängd är 20 år. Det är möjligt att byta ut slitagedelar och datorer i systemet, vilket anses vara rimligt. Det har även skett teknikförändringar, till exempel övergång från javagränssnitt till ett nyare gränssnitt.

SISAB har identifierat brister i underhållsprotokoll för koldioxidgivare samt problem med flödesmätare i aggregat, vilka de har mindre förtroende för jämfört med flödesmätare i VAV-system. De har inte upplevt problem med damm i systemen sedan de övergick från VAV till CAV. När det gäller driftinstruktioner har de inte alltid fungerat optimalt för DCV-systemen, men detta tillskrivs inte enbart instruktionernas brister utan kan också kopplas till brister i support för drifttekniker eller andra faktorer.

## **3.3.2 DCV i kontor**

Enligt resultatet från enkätstudien har installerade DCV-system i de flesta av de kontorsfastigheter, som ingick i studien, fungerat mycket bra eller bra. Detta bekräftades också av de två fastighetsägare som intervjuades: Akademiska Hus och Fabege. Båda fastighetsägarna beskrev att de var nöjda med DCV-systemens funktion och systemen fungerar energieffektivt.

Fastighetsägare bedömer är att DCV-systemen fungerar bra, förutsatt att driftteknikerna har en god förståelse för systemet. I kontorsfastigheter är det vanligare att använda prefabricerade systemlösningar för DCV-system. Akademiska Hus har dock också flera byggnader där de har



installerat standard VAV-spjäll men byggt eget styrsystem och skapat sitt eget överordnade system. Detta var på grund av kostnadsaspekter.

Några problem har dock uppmärksammats som har uppstått ibland. I en fastighet där DCV-system installerades under renovering, framkom klagomål angående otillräcklig lufttillförsel i rummen. Tilluftsflödet var dimensionerat för 5 l/s vid frånvaro och 10 l/s vid närvaro av fem personer, med ytterligare ökning baserat på rumstemperaturen. Nu strävar de efter att ha högre flöden vid frånvaro för att undvika instängd luft när någon kommer in i rummet. Problemet tycks vara att det kan ta lång tid innan det blir svalt och behagligt i rummet. Vid låga flöden värms tilluften upp i kanalen.

En av de intervjuade fastighetsägarna nämnde också att de har märkt att projektörer tenderar att dimensionera DCV-system med så låga tryckfall som möjligt, vilket resulterar i stora kanaler. Detta kan skapa problem där stamspjällen får så lågt tryck att de har svårt att reglera. Det är viktigt att systemleverantörer och projektörer samarbetar för att undvika för låga flöden över stora spjäll. De har fått mycket stöd från leverantören och installationsföretagen, som fortsatte att arbeta under garantitiden för att följa upp och lösa problemen. Utan deras insatser hade systemen inte fungerat optimalt, och de planerar att fortsätta med samma arbetsmodell i framtiden.

För en kontorsfastighet uppkom även problem med temperaturgivare i DCV-don, där givare visade fel på grund av felkalibrering i fabriken. Fastighetsägaren gjorde kontrollmätningar i rummet under donet. Tillverkaren kontaktades, som kom och kalibrerade om givare. Eftersom det finns väldigt många DCV-don i fastigheten har de inte hunnit att kalibrera om alla givare. Att utföra kalibreringar är ganska tidskrävande; det ska inte finnas några störningar i rummet och luftflöden måste vara stabila och inställda på viss nivå. Fastighetsägaren har dock stort förtroende för systemet och att givare visar rätt.

Det nämndes också att i samma kontorsfastighet har de behövt byta ut hela DCV-systemlösningen på grund av fel i temperaturstyrningen och fel i styrsignaler för optimering på systemnivå. Varken de eller tillverkare kunde få ordning på detta och till slut bytte de ut alla don och nätverk till produkter från en annan tillverkare.

Generellt sett upplever samma fastighetsägare att DCV-systemen som finns installerade i deras fastigheter reagerar snabbt och effektivt. De finjusterar systemen kontinuerligt för att anpassa till det behov som finns.

### **Rutiner för underhåll och byte av komponenter**

En av de intervjuade fastighetsägarna tycker att driftinstruktioner för DCV-system har varit bristfälliga och på senare tid har de börjat kräva från leverantörer och installatörer mer detaljerade instruktioner för att förstå hur allt hänger ihop, speciellt när man vill åtgärda vissa problem.

Det finns inga specifika underhållsprotokoll för givare. Givarna byts ut när ventilationssystemet eller styrsystemet byts, och ibland utförs rengöring av donen av entreprenören. Givarna kontrolleras bara när fastighetsägare misstänker att något är fel. Det



nämndes också att temperaturgivare i DCV-don driver över tid, men antalet givare som behövs bytas ut är lågt jämfört med det totala antalet DCV-don som finns installerade i deras fastigheter.

För ventilationsaggregat räknar man med en livslängd på 20 år, men DCV-komponenter behöver bytas ut efter 10-15 år. Vanligtvis förväntar man sig inte att DCV-donen ska behöva bytas ut före aggregatets livslängd. En fastighetsägare påpekade dock att de har behövt byta ut don på flera platser.

## 4. UTVÄRDERING AV DCV SYSTEM I DRIFT

### 4.1 Inledning

Baserat på intervjuer har ett antal DCV-anläggningar valts ut och enklare funktionskontroller med stickprov har utförts på systemkomponenter. Syftet var att undersöka om komponenternas funktion har förändrats över tiden och identifiera om några av de vanligare driftsproblem med DCV-system, som tidigare har observerats i andra studier, förekommer i anläggningen. Mätningarna genomfördes i två fastigheter: en nybyggd skola och en universitetsbyggnad som renoverades för ca 7 år sedan.

### 4.2 Byggnader som ingick i studien

#### Lilla Gårdstensskolan

Lilla Gårdstensskolan är en relativt nybyggd lågstadieskola F-3, som ligger på Saffransgatan 78 i stadsdelen Angered i Göteborg. Skolan färdigställdes år 2021 och har idag två förskoleklasser samt en grundsärskola. Den totala tempererade arean för skolan är 4149 m<sup>2</sup>. Skolbyggnaden ägs av Stadsfastighetsförvaltningen i Göteborg Stad (SFF).

Byggnaden konstruerades som lågenergibyggnad, med krav på byggnadens energiprestanda på 35 kWh/m<sup>2</sup> och år, vilket motsvarar klass A enligt Boverkets energiklassning av byggnader vid energideklarering. Energiuppföljningen har pågått nu för två år och resultatet visar att den specificerade energiprestandan uppnås.

Ventilationen i byggnaden försörjs av tre ventilationsaggregat som är i drift mellan 07:00 och 17:00 från måndag till fredag. På helgdagar är ventilationsaggregaten avstängda.

Skolan har ett ”platsbyggt” DCV-system, byggt enligt SFF:s tekniska krav och anvisningar TKA2018 (13). Behovsstyrd ventilation är installerad i rum där det finns sex personer eller fler, vilket inkluderar alla klassrum, grupprum och personalutrymmen. Luftflödena i dessa rum regleras baserat på temperatur och koldioxidhalt, med rumsgivare placerade vid entrédörren till varje rum. Börvärdet för rumstemperatur är +21 °C i kontorsutrymmen, +20 °C i klassrum, grupprum och personalrum och +17 °C i idrottshallen. Börvärdet för koldioxidhalt är inställt på 1500 ppm. Syftet med att sätta en högre börvärde för



koldioxidhalten är att styra ventilationen efter temperatur i första hand och efter koldioxidhalt i andra hand.

Regleringen av luftflöde till enskilda rum sker med ett gemensamt spjäll på tilluftskanalen och luften distribueras via ett eller flera självverkande reaktiva taktilluftsdon, vilket innebär att donet är utrustat med självreglerande spalter för effektiv rumsluftblandning. De installerade VAV-spjällen saknar inbyggd styrning; i stället har styrningen och regleringen av spjällen implementerats i ett PLC-system (ett programmerbart styrsystem). Det finns ingen flödesmätning på rumsnivå, utan spjället öppnas mellan min- och maxlägen. Detta gör det svårt att exakt bedöma lufttillförseln till varje rum, vilket kräver tryckstyrning på grenkanalerna.

Styrningen av ventilation och värmereglering via radiatorer är sammankopplade. Temperaturen i rummen bibehålls konstant med hjälp av separata regulatorer som reglerar radiatorventilen och respektive VAV-spjäll i sekvens.

Frånluft från rummen tas ut via överluftsdon till korridorer och vidare till trapphus där det finns centrala frånluftskanaler med VAV-spjäll för att centralt styra frånluften. Byggnaden är uppdelad till fyra zoner och flödesmätning sker centralt på till- och frånluft i varje zon med flödesgivare installerade på huvudkanaler.

Enligt fastighetsägaren fungerar DCV-systemet i byggnaden bra, och det finns inga specifika klagomål. Anledningen till att denna skola valdes ut för mätningarna var att byggnaden tycks fungera bättre jämfört med andra nyare byggnader med DCV och har den lägsta energianvändningen av dessa objekt.

### **Chalmers SB2-huset**

Chalmers SB2-huset inrymmer lärosalar, seminarierum och grupprum på fem våningar med en total tempererad area på cirka 7900 m<sup>2</sup>. Byggnaden ägs och förvaltas av Akademiska Hus. Byggnaden byggdes ursprungligen 1967. Under åren 2016-2017 genomfördes en omfattande renovering vilket inkluderade byte av samtliga fönster, byte till LED-belysning, utbyte av ventilationsaggregat samt en fullständig ombyggnad av ventilationssystemet till ett DCV-system. Automatiska ställdon installerades till radiatorer för att styras tillsammans med DCV-systemet. Efter renoveringen minskade byggnadens totala energianvändning (inklusive hyresgästel) med cirka 25 %.

Byggnaden är utrustad med ett prefabricerat DCV-system. Luftflöden till rummen tillförs med aktiva don (DCV-don), medan frånluften dras ut via överluftsdon och kanaler till trapphusen, där den sedan bortförs via stora centrala frånluftskanaler. Frånluftsflödena styrs på aggregatnivå. Luftflöden på rumsnivå styrs baserat på temperatur och närvaro i de flesta grupprum. I seminarierum, lärosalar och vissa grupprum regleras luftflödena också efter koldioxidhalten. Temperatur- och närvarogivare är placerade i varje DCV-don, medan koldioxidhalt mäts med kanalgivare placerade i överluftskanaler. Om det finns flera don i samma rum som tillhör samma ärvärdeszon beräknas medelvärdet av de olika lokala rumstemperaturerna som varje don mäter. Värdet visas under ”Rumstemperatur” i styr- och övervakningssystemet och används för att styra luftflöden på rumsnivå. Börvärdet på



rumstemperatur är inställt på +21 °C medan börvärdet för koldioxidhalt är inställt på 600 ppm.

DCV-systemet har ett eget styr- och övervakningssystem. Övriga tekniska system i byggnaden och ventilationsaggregaten är integrerade med ett annat centralt styr- och övervakningssystem. Ventilationen försörjs av två ventilationsaggregat som styrs i sekvens. Ventilationsaggregaten är i drift mellan 06:00 och 21:00 från måndag till torsdag och mellan 07:00 och 21:00 på fredagar. Under helgdagar är ventilationsaggregaten igång från 07:00 till 16:00.

Fastighetsägaren tycker att det installerade DCV-systemet har fungerat bra, och de har inga större klagomål angående systemets drift. Dock har de observerat att rummen har för låga grundflöden, vilket resulterar i att det tar för lång tid innan ett rum får ett acceptabelt luftflöde. För att åtgärda detta har driftspersonalen sänkt börvärdet för koldioxidgivarna till 600 ppm för att möjliggöra snabbare reaktion från systemet vid närvaro i rummen. De har också ökat grundflödet vid närvaro i flera rum. Vid intervju med samma fastighetsägaren framkom också önskemål om bättre förståelse för DCV-systemets uppbyggnad och funktioner. Det kan vara svårt ibland att förstå hur allt hänger ihop.

## 4.3 Metodiken för utvärdering av DCV- systemen i drift

Först granskades byggdokumentationen, inklusive ritningar, driftkort, tekniska beskrivningar och anvisningar. Systemens drift analyserades med hjälp av styr- och övervakningssystemet. Urvalet av givare som testades på plats berodde på åtkomlighet och hur väl rummen var tillgängliga för mätningar. Målet var att genomföra stickprov på koldioxidgivare, temperaturgivare och flödesgivare som används för styrning av luftflödena i DCV-systemet.

### 4.3.1 Mätningarna på Lilla Gårdstensskolan

Kontrollmätningar utfördes för tolv temperatur- och koldioxidgivare som styr ventilationsluftflöden på rumsnivå. Mätningar gjordes under skoltid, på tisdagen den 5 december 2023 mellan klockan 09:00 och 15:00.

Temperatur- och koldioxidgivarna är placerade på väggen vid entrédörr till varje rum med behovsstyrning. För kontrollmätning av dessa givare täcktes givaren med en specialbyggd plastlåda, och referensinstrumentet kopplades till lådan. Efter att mätvärdena hade stabiliserat sig avlästes värdet på referensinstrumentet. Värdena som visades av rumsgivarna kontrollerades i styr- och övervakningssystemet med hjälp av fastighetsägarens ingenjör.

Kontrollmätningarna gjordes vid två olika nivåer av koldioxidhalt i rummet: lägre halt och högre halt. Lägre halt mättes direkt efter man hade gått in i rummet och täckt givaren med plastlådan. Högre halt mättes efter den första mätningen och efter man hade blåst andningsluft på givaren för att simulera högre koncentration.

De kombinerade temperatur- och koldioxidgivarna är av typ NDIR och är utrustade med inbyggd funktion för automatisk kalibrering (ABCLogic-metoden) för att eliminera problem



med långtidsdrift. Enligt tillverkarens datablad har givaren ett mätområde 0 till 2000 ppm och mätosäkerhet på  $\pm (40 \text{ ppm} + 3\% \text{ från avläst värde})$  vid en temperatur på  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Det rekommenderade kalibreringsintervallet 5 år, även med användning av automatisk kalibrering. För temperaturmätning anges mätosäkerhet på  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Luftflödena på zon-nivå mäts med luftflödestransmitter som både mäter och styr luftmängder. Luftvolymen beräknas baserat på differentialtrycket i kanalen. Det differentiella trycket mäts med mätton (av typen PP-luftvolymsond), som fungerar enligt principen för pitotrör. Enligt tillverkarens datablad har luftflödestransmitter ett mätområde på 0 till 1000 Pa och mätosäkerhet  $\pm (1 \text{ Pa} + \pm 1\% \text{ från avläst värde})$  vid en temperatur på  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ . En tryckskillnad på minst 15 Pa krävs för tillförlitliga mätningresultat enligt tillverkarens datablad. Luftvolymsondens mätosäkerhet anges vara  $\pm 2\%$ . Dessutom har flödesgivarna automatisk nollpunktskalibrering för att säkerställa noggrannheten i mätningen.

Vid kontrollmätning av luftflödesmätare kopplades tryckslangarna bort från mättonet (sonden), och sedan kontrollerades om luftflödestransmitteren visade noll. Avläsningen gjordes direkt på transmitterns display, som växlar mellan att visa antingen beräknad luftvolym eller uppmätt differentiellt tryck.

#### 4.3.2 Mätningarna på Chalmers SB2-huset

Kontrollmätningar har utförts på åtta koldioxidgivare som styr ventilationsluftflöden på rumsnivån. Urvalet baserades delvis på tillgänglighet och delvis på möjligheten att avläsa givarnas mätvärden i styr- och övervakningssystemet. Exempelvis kunde mätningarna inte genomföras på plan fem på grund av ett signalfel i systemet, vilket resulterade i att inga mätvärden var synliga i styrsystemet. Mätningar gjordes onsdagen den 6 december 2023 mellan klockan 12 och 15.

De installerade koldioxidgivarna är av typen NDIR och har en inbyggd funktion för automatisk kalibrering (ABC- algoritmen). Enligt tillverkarens datablad är givarnas mätosäkerhet specificerad som  $\pm(70 \text{ ppm} + 3\% \text{ av avläst värde})$  inom mätområdet 400 ppm - 2000 ppm. Mätosäkerheten gäller över hela driftstemperaturområdet på  $0\text{-}50^\circ\text{C}$ . Det specificerade tryckberoendet är  $+1,6\%$  av avläst värde per kPa avvikelse från luftens normaltryck (101,3 kPa). Enligt tillverkaren är givarna underhållsfria under deras tekniska livslängd på 15+ år.

För kontrollmätning av dessa givare mättes koldioxidhalt i frånluften med referensinstrumentet. Mätningen utfördes så nära som möjligt den koldioxidgivare som sitter i frånluftskanalen. Efter mätvärdena hade stabiliserat sig lästes värdet av på referensinstrumentet. Värdet på rumsgivarna kollades i styr- och övervakningssystemet med hjälp av fastighetsägarens ingenjör.

De temperaturgivare som används i DCV-don är termistorer av typen NTC. Givarens mätosäkerhet är  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  enligt tillverkarens datablad. Kontrollmätningar har utförts på sju temperaturgivare som sitter i DCV-don och mäter rumsluften. För kontrollmätning av dessa temperaturgivare placerades referensinstrumentet direkt intill den temperaturgivare som sitter



i donet. Personen som utförde mätningen lämnade rummet under mätperioden. Efter cirka 5 minuter återvände personen och läste av värdet på referensinstrumentet. Värdet på givaren i donet kontrollerades i styr- och övervakningssystemet. Den avlästa temperaturen för varje enskilt don visas som "Lokal rumstemperatur".

I några rum placerades referensgivaren också under DCV-donet, ungefär 1,2-1,5 meter över golvet, för att bedöma hur väl den uppmätta rumstemperaturen med donets givare överensstämde med temperaturen i vistelsezonen. En jämförelse gjordes med värdet som visas som "Rumstemperatur" i styr- och övervakningssystemet. Dessutom kontrollerades tilluftstemperaturen i DCV-donen i flera rum genom att ansluta referensinstrumentet till donet.

Varje DCV-don har en inbyggd flödesmätare för flödesreglering. Tillverkarens specificerade mättolerans är  $\pm 5\%$  eller minst  $\pm 2$  l/s. Kontrollmätningen utfördes för elva flödesmätare. För att kontrollera luftflödena användes en luftflödesstos, som placerades över donet. Efter att mätvärdena hade stabiliserat sig lästes värdet av på referensinstrumentet. Värdet på flödesgivaren i donet kontrollerades i styr- och övervakningssystemet.

### 4.3.3 Referensinstrument som användes för mätningarna

Som referensinstrument för koldioxidmätning användes Vaisalas GARBOCAP koldioxidmätare GM70 med givare GMP222 (s/n J2620119). Den specificerade mätosäkerheten för referensinstrumentet är  $\pm (30 \text{ ppm} + 2\% \text{ av avläst värde})$  vid temperatur  $+25\text{ }^\circ\text{C}$  och vid luftens normaltryck 1013 hPa. Temperaturberoendet för referensinstrumentet är  $-0,3\%$  av avläst värde per  $^\circ\text{C}$  och tryckberoendet är  $+0,15\%$  av avläst värde per hPa avvikelser från standardtestförhållanden  $+25\text{ }^\circ\text{C}$  och 1013 hPa.

Som referensinstrument för temperaturmätning i skolan användes Vaisalas luftfuktighets- och temperaturmätare HM70 med givare HMP75 (s/n J2730011). Den specificerade mätosäkerheten för givaren är  $\pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$  vid rumstemperatur  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ .

För kontrollmätning av temperaturgivare i DCV-don i Chalmers SB2-huset användes Dostman PO650 (s/n 65003110141). Den specificerade mätosäkerheten för givaren är  $\pm 0,03\text{ }^\circ\text{C}$ .

Luftflödena mättes med luftflödesstos SwemaFlow 4001 (s/n 770070). Den specificerade mätosäkerheten för givaren är  $\pm 3,5\%$  avläst värde eller minst  $\pm 0,5$  l/s.

## 4.4 Resultat från mätningarna

### 4.4.1 Lilla Gårdstensskolan

#### Kontrollmätning av temperatur- och koldioxidgivare

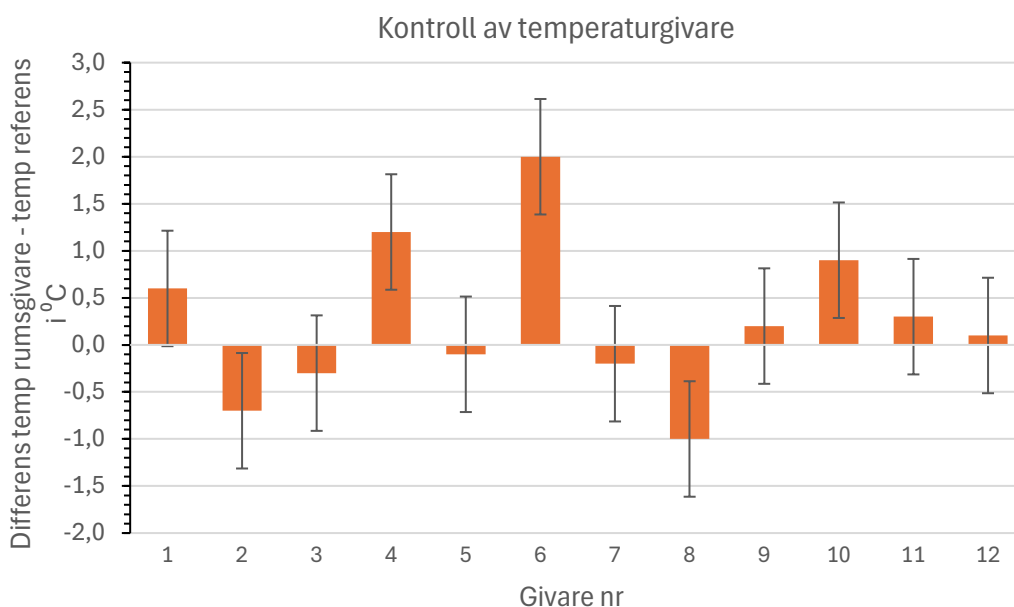
Resultatet från kontrollmätning av temperatur- och koldioxidgivare på Lilla Gårdstensskolan har sammanfattats i Figur 8 och 9. Detaljerade mätresultat finns sammanställda i Bilaga 2. I figurerna visas skillnaden mellan mätningarna med den granskade givaren och





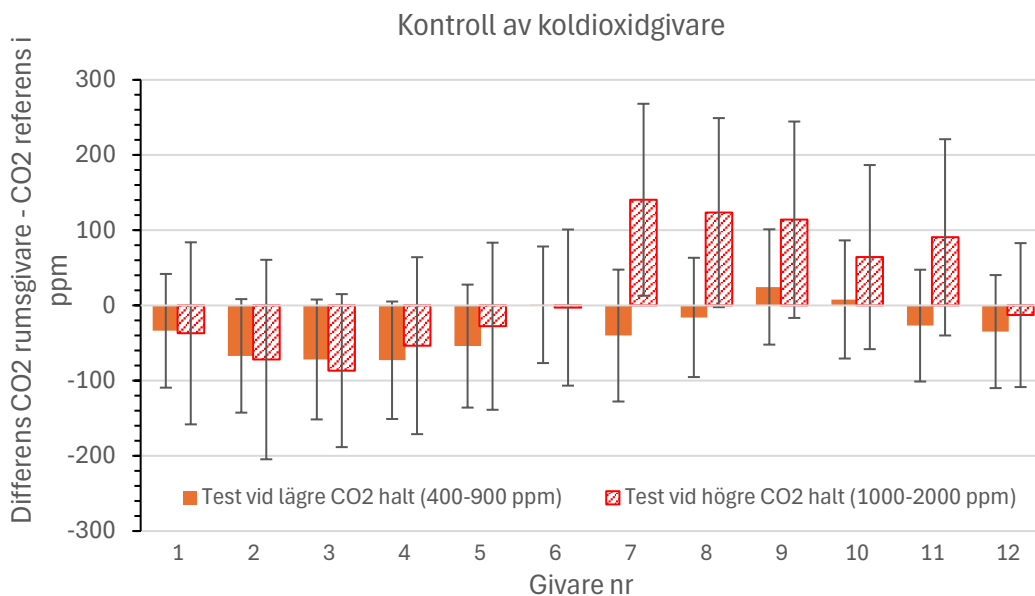
referensinstrumentet, samt den mätosäkerhet som är förknippad med dessa mätningar (visas med felstaplar). Om skillnaden mellan mätresultaten är större än mätosäkerheten för skillnaden kan det indikera att den granskade givaren har en avvikelse. Den totala mätosäkerheten redovisas med en konfidensnivå på cirka 95% och har beräknats utifrån den sammanlagda standardmätosäkerheten enligt riktlinjer från (15) där både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet har tagits hänsyn till.

För temperaturgivarna visades större avvikelser för fem av tolv granskade givare, vilket motsvarar cirka 40% av de granskade givarna. Den största skillnaden mellan mätresultaten var +2°C, med mätosäkerhet på 0,6 °C (med en konfidensnivå på 95 %).



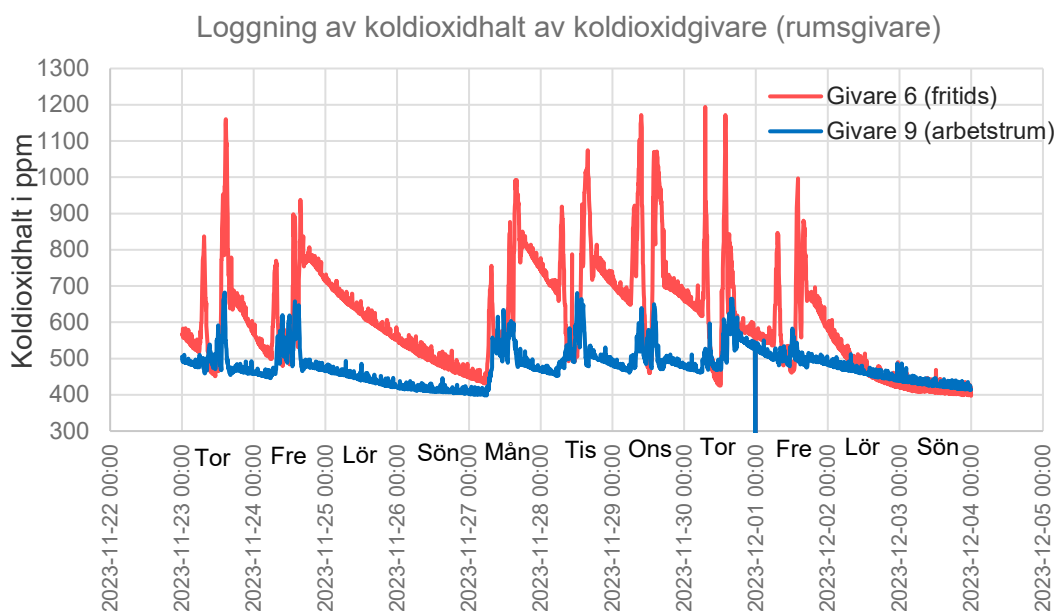
Figur 8. Skillnaden mellan mätningarna med de granskade givarna och referensinstrumentet från kontrollmätningen av rumstemperaturgivare i DCV-systemet på Lilla Gårdstensskolan. Mätosäkerheten redovisas med felstaplar som "utökad mätosäkerhet" med en konfidensnivå på 95%.

Mätresultaten visar att ett av tolv granskade koldioxidgivare (givare 7 på figur 9) visar en betydligt högre koldioxidnivå än referensinstrumentet, men endast vid mätning vid högre koldioxidhalt. Skillnaden mellan mätningarna med den granskade givaren och referensinstrumentet var 142 ppm, med en mätosäkerhet på 127 ppm (med en konfidensnivå på 95 %).



Figur 9. Skillnaden mellan mätningarna med de granskade givarna och referensinstrumentet från kontrollmätningen av koldioxidgivare i DCV-systemet på Lilla Gårdstensskolan. Mätosäkerheten redovisas med felstaplar som "utökad mätosäkerhet" med en konfidensnivå på 95%.

Med styr- och övervakningssystemet är det möjligt att logga värden för alla koldioxid- och temperaturgivare i de olika rummen, vanligtvis med 10 minuters intervall. För att undersöka vad de granskade koldioxidgivarna visar som basnivå, utanför verksamhetstid när ventilationssystemet är avstängt och koldioxidhalten i rummet förväntas närma sig utomhusnivåer på cirka 400 ppm, har loggad data hämtats från styr- och övervakningssystemet. Figur 10 visar exempel på loggad data från två granskade givare, en placerad i ett klassrum för fritidsaktiviteter och en i arbetsrum för personalen, från 23 november till 3 december.



Figur 10 Exempel på loggade värden från två granskade koldioxidgivare i DCV-systemet på Lilla Gårdstensskolan.



Figuren ovan visar att det tar lång tid för koldioxidhalten att klinga av efter frånvaro i rummet. Koldioxidhalten närmar sig vanligtvis utomhusnivåer mot slutet av veckan, särskilt på sen söndag kväll. Under vardagar når halterna aldrig ner till utomhusnivåer. Detta kan troligtvis förklaras av att ventilationssystemet stängs av direkt efter verksamhetens slut (kl. 17) och att byggnaden är väldigt tät, vilket resulterar i låg infiltration och därmed långsam utspädning av koldioxidhalten i rummen. Samtidigt visar loggade värden från givare nr 6 (klassrummet med fritidsverksamheten) att även under dagtid när ventilationen är i drift kan det ta väldigt lång tid för koldioxidhalter att sjunka efter användarna har lämnat rummet. Till exempel tog det cirka 5 timmar för koldioxidhalten att minska från 1194 ppm till det lägsta uppmätta värdet på 426 ppm, vilket indikerar en låg luftomsättning i rummet.

Om koldioxidhalterna i rummet inte når utomhusnivån på cirka 400 ppm, kommer den automatiska självkalibreringen inte att fungera korrekt. Koldioxidgivare med självkalibreringsfunktionen förväntar sig att koldioxidhalten sjunker till utomhusnivån minst två gånger per vecka för att genomföra en korrekt kalibrering. ABC-algoritmen kalibrerar automatiskt givaren mot det lägsta uppmätta värdet i rummet för att motverka givardrift. Om utomhusnivån är felaktig kommer givaren att visa en avvikelse i mätningen efter kalibreringen, vilket kan påverka luftflödesstyrningen och systemets energiprestanda. Det är möjligt att den felaktiga kalibreringen korrigeras inom nästa kalibreringsintervall, men detta kan vara beroende av hur ventilationssystemet används och verksamheten i rummet. En möjlig lösning kan vara att förlänga drifttiden med något högre luftflöde efter att verksamheten har avslutats, för att ge givarna möjlighet att kalibrera sig korrekt.

En annan observation från loggningen av mätvärden från givarna är att signalen från givarna fluktuerar mycket, runt  $\pm 10$ -20 ppm. Vad detta beror på har inte undersökts i detalj.

### Kontrollmätning av luftflödesmätare

Kontroll av flödesmätarna på stamkanaler visade att tre av fyra granskade luftflödestransmitters hade en offset, dvs visade värdena över noll när inget mätbart flöde förekom (när tryckslangen till luftflödestransmitteren kopplades bort). Resultatet är sammanställt i Tabell 1. En av flödesmätarna visade mycket instabila värden. Samma flödesmätare kalibrerade sig själv till noll, efter det att tryckslangen kopplades bort.

Tabell 1. Resultat från kontrollmätning av luftflödesgivare i DCV-systemet på Lilla Gårdstensskolan.

Givare	Flödesmätning	Mätvärde på display vid 0 tryck <sup>1)</sup>	Kommentarer
1	LB02-zon3 frånluft	-2 Pa	Mycket instabilt värde, svänger mycket. Mätaren noll-kalibrerade sig själv under noll-mätningen (när tryckslangen kopplades bort). I SÖS noterades värde 88 l/s vid 0 flöde <sup>2)</sup>
2	LB02-zon3 tilluft	0,5 Pa (235 l/s)	I SÖS noterades värde 114 l/s vid 0 flöde <sup>2)</sup>
3	LB02-zon4 tilluft	0 Pa	I SÖS noterades värde 34 l/s vid 0 flöde <sup>2)</sup>
4	LB02-zon4 frånluft	0,3-0,5 Pa (150-166 l/s)	I SÖS noterades värde 102 l/s vid 0 flöde <sup>2)</sup>

Noteringar:

- 1) Mätvärde på luftflödestransmittens display när tryckslangen från mätton till mätaren kopplades bort.
- 2) Kontroll i styr- och övervakningssystemet 2023-12-05 kl 06:16



Offseten vid noll flöde kunde också observeras från styr- och övervakningssystemet, till exempel tidigare samma morgon runt klockan 6, innan ventilationssystemen kom igång. Vid den tiden visade alla åtta luftflödesmätare en offset, med högsta avvikelse runt 100 l/s.

Felet vid nollflöde kan bero på olika faktorer, såsom fel i noll-kalibreringen, felaktigt inställd K-faktor eller problem med signalöverföringen från givaren till styrsystemet.

Luftflödesmätarna mäter tryck och omvandlar sedan dessa värden till luftflöde med hjälp av inbyggd elektronik och inställd K-faktor. Signalen från mätaren visar ett flödesvärde som är omräknat från det uppmätta trycket. Enligt fastighetsägarens tidigare erfarenheter är det inte ovanligt med problem relaterade till felaktigt inställda K-faktorer för spjäll.

Vidare anses de installerade luftflödesmätarna vara överdimensionerade och inte anpassade för flödesmätningar inom de trycknivåer som finns i kanalsystemet. Överdimensioneringen kan kopplas till fastighetsägarens krav på att hålla tryckfallen under 1 Pa i kanalsystemet. Låga tryckfall över mätområdet resulterar i betydande osäkerheter kring mätresultatet. Enligt tillverkarens datablad har luftflödestransmittorn ett mätområde på 0 till 1000 Pa och det krävs minst 15 Pa tryckskillnad för tillförlitliga mätningresultat. Mätfelet ökar kraftigt vid låga trycknivåer, vilket kan leda till mycket instabila mätningar. Enligt produktbladet kan mätosäkerheten för flödesmätningen vara upp till 10% eller mer vid trycknivåer under 30 Pa. De trycknivåer som flödesmätarna mäter i drift ligger mellan 1-25 Pa.

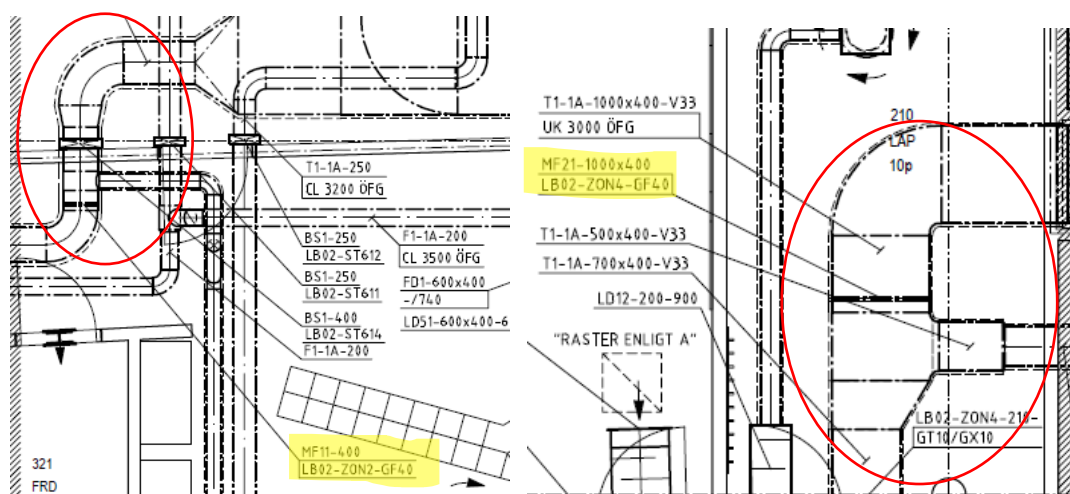
Den installerade flödesmätaren har ett arbetsområde på 0-1000 Pa, vilket innebär att en signal på 0- 10 V motsvarar 1 Pa till 0,01 V, vilket verkar vara vanligt förekommande vid drift. Ett fel på 1 Pa i givarens värde kan ha en betydande påverkan på styrsignalen. Dessutom kan signalöverföringen från givaren till styrsystemet skapa fel på storleksordningen 0,01 V, vilket delvis kan förklara den offset som visas i driftbilden.

### **Övriga anmärkningar från utvärdering av DCV-systemet**

- 1) Från granskningen av relationshandlingar noterades att flera luftflödesmätare och spjäll hade ritats in med felaktig placering och planerades nära böjar och brandspjäll (exempel visas i Figur 11). För en korrekt mätning krävs en raksträcka före givaren, åtminstone två kanaldiametrar enligt tillverkarens specifikationer. Resultatet blir att flödesmätningen inte kommer att ge rätt flöde eftersom mätpunkten inte kommer att vara representativ på grund av hög turbulens. Vissa sådana installationer kunde bekräftas på plats, men det var svårt att komma åt vissa luftflödesmätare, vilket gjorde det svårt att bekräfta om ritningarna överensstämde med installationen.

På vänster sida av bilden i figur 11 kan man också se att en grenkanal har hamnat utanför luftflödesmätningen, vilket innebär att luftflödet som tillförs ett rum med variabelt flöde inte tas med i zonens luftflödesmätning.





Figur 11 Exempel på placering av luftflödesmätare i DCV-systemet på Lilla Gärdstensskolan

- 2) Luftflödena i DCV-systemet är främst temperaturstyrda på rumsnivå, vilket är ett medvetet val. Koldioxidbörvärdena har ställts på höga nivåer, runt 1500 ppm, med syfte att temperaturen ska vara den huvudsakliga styrparametern. Koldioxidstyrning aktiveras endast när det är mycket folk i rummet. Samtidigt betraktas systemet som ganska trögt. Radiatorerna har automatiska ställdon och vid temperaturökning stängs först ställdon, därefter skickas signal till VAV-spjällen för att öppna, vilket leder till att systemet kallar på mer tryck och mer luft. Ibland kan hela denna processen vara långsam och risken finns att lektionen kan avslutas innan luftflödesstyrningen är klar. Styrningen är helt enkelt inte tillräckligt snabb. En möjlig lösning kan vara att radiatorerna stängs direkt efter det att närvaro registrerats i rummet, vilket kan ge en snabbare reglering. Alternativt kan ekonomidrift användas. Enligt fastighetsägarens ingenjör har ekonomidrift implementerats i några andra skolbyggnader där exempelvis börvärdet sänks direkt vid närvaro i rummet för att uppnå snabbare reglering.

#### 4.4.2 Chalmers SB2-huset

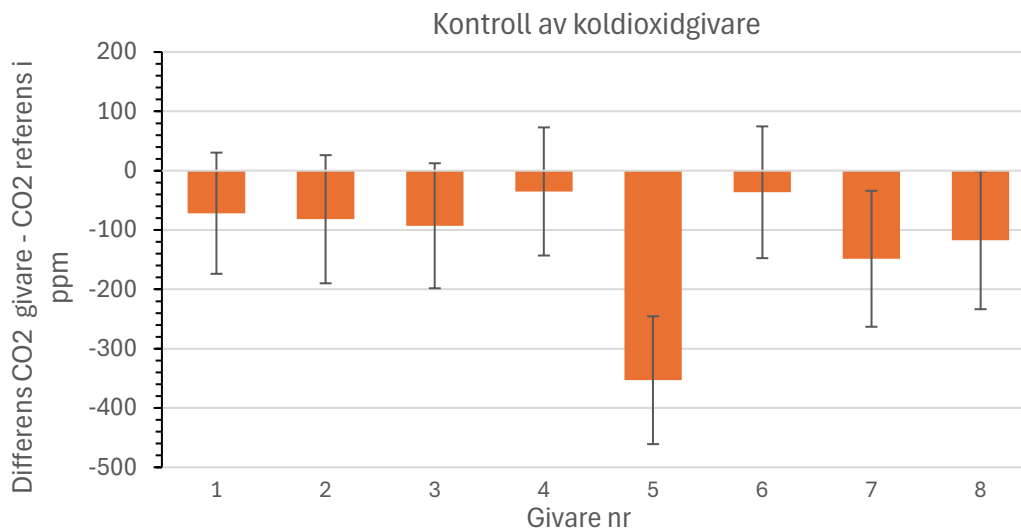
##### Kontrollmätning av koldioxidgivare

Resultatet från kontrollmätningen av koldioxidgivare på Chalmers SB2-huset visas i figur 12. Detaljerade mätresultat är sammanställt i Bilaga 2. Figuren visar skillnaden mellan mätningarna med den granskade givaren och referensinstrumentet samt den mätosäkerhet som är förknippad med dessa mätningar. Om skillnaden mellan mätresultaten är större än mätosäkerheten för skillnaden kan det indikera att den granskade givaren har en avvikelse. Den totala mätosäkerheten redovisas med en konfidensnivå på cirka 95% och har beräknats enligt riktlinjer från (15).

Som kan ses från resultatet hade två av de åtta testade koldioxidgivarna en avvikelse som var betydligt större än den beräknade mätosäkerheten (givare 5 och 7). För en givare låg skillnaden väldigt nära den beräknade mätosäkerheten (givare 8), så det är svårt att dra konkreta slutsatser. För den givaren som hade störst avvikelse, 353 ppm, kunde man också fastställa orsaken till avvikelsen på platsbesiktningen. Koldioxidgivaren (givare 5) hade



nämigen installerats inne i ljuddämparen (mot väggen inne i ljuddämparen), vilket innebär att givaren inte kunde mäta rätt frånluftsförhållanden.

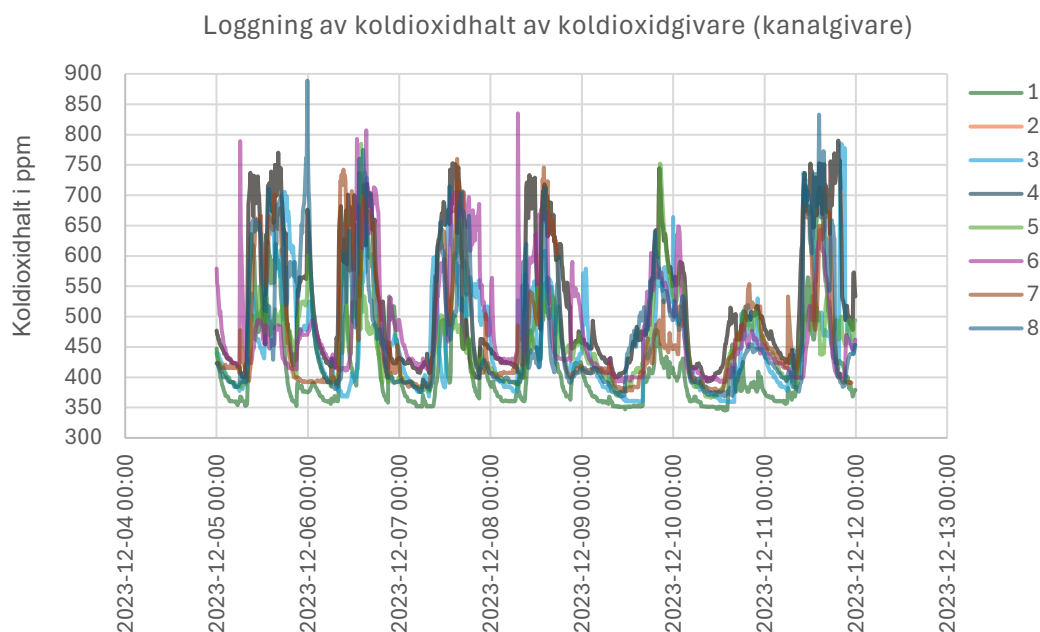


Figur 12. Skillnaden mellan mätningarna med de granskade givarna och referensinstrumentet från kontrollmätningen av koldioxidgivare i DCV-systemet på Chalmers SB2-huset. Mätosäkerheten redovisas med felstaplar som "utökad mätosäkerhet" med en konfidensnivå på 95%.

Alla granskade koldioxidgivare visade något lägre mätvärden jämfört med referensinstrumentet, även om avvikelserna låg inom givarens mätosäkerhetsintervall för de flesta givare. Med styr- och övervakningssystemet är det också möjligt att logga värden för alla givare. Loggningen sker vanligtvis med 10 minuters intervall. För att se vad de granskade koldioxidgivare visar som basnivå utanför verksamhetstiden, då koldioxidhalten i rummet ska vara samma som utomhus cirka 400 ppm, har loggad data hämtats från styr- och övervakningssystemet. Figur 13 visar exempel på loggad data från alla granskade givare, från 5 december fram till 11 december. Som kan ses på figuren visade alla granskade givare koldioxidhalter under 400 ppm utanför verksamhetstiderna. Den lägsta uppmätta halten var 327 ppm, mätt av givare 2. De övriga givare visade halter mellan 345 ppm och 393 ppm utanför verksamhetstider.

Problemet med så låga uppmätta koldioxidhalter har troligtvis orsakats av felaktig självkalibrering av den inbyggda ABC-algoritmen. Algoritmen utför kalibreringen var 7,5:e dag, då givaren automatiskt justeras mot den lägsta nivån som har uppmätts under den perioden. Enligt tillverkaren av givarna krävs det att koldioxidhalten inomhus minskas till utomhusnivån åtminstone ett antal gånger per vecka för en korrekt kalibrering. För självkalibrering måste även flera andra kriterier uppfyllas. Det lägsta mätvärdet måste ha en viss stabilitet och får inte understiga ett visst målvärde (400 ppm).





Figur 13 Loggade koldioxidhalter av de granskade koldioxidgivarna i DCV-systemet på Chalmers SB2-huset.

Felaktiga 'utomhushalter' innebär att givaren visar en offset i mätningen efter kalibreringen, och när inomhushalterna normaliseras till utomhushalterna därefter kommer givaren att visa halter långt under 400 ppm. Enligt tillverkare kommer detta korrigeras med hjälp av självkalibreringen inom nästkommande kalibreringsperioder. För att bekräfta detta analyserades loggade värden även för tre efterföljande veckor. Tabell 2 visar de lägsta uppmätta värden av de granskade koldioxidgivare under en fyra veckors period. Tyvärr visar resultatet låga koldioxidhalter även under de efterföljande veckorna. Om felet i mätningen beror på att den självkalibreringsfunktionen i givarna inte fungerar eller på något annat, behöver undersökas vidare.

Tabell 2. Lägsta uppmätta värden av de granskade koldioxidgivarna under en fyra veckors period. Data baseras på loggad data som har hämtats från styr- och övervakningssystemet.

Givare	Uppmätt koldioxidhalt i ppm			
	vecka 1	vecka 2	vecka 3	vecka 4
1	345	337	328	343
2	327	320	305	332
3	359	-	-	-
4	393	384	376	398
5	366	368	352	378
6	392	350	376	397
7	376	365	357	383
8	368	360	352	375

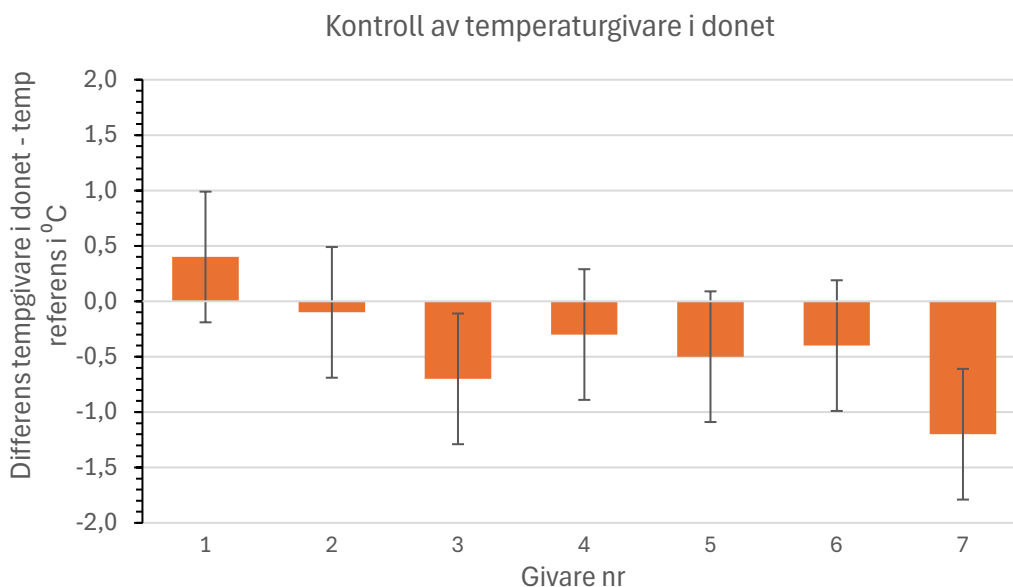
Det bör också noteras att de granskade koldioxidgivarna har en relativt hög mätosäkerhet. Enligt tillverkarens datablad är mätosäkerheten  $\pm (70 \text{ ppm} + 3\% \text{ av det avlästa värdet})$  inom mätområdet. Detta innebär att vid uppmätt koldioxidhalt 1000 ppm är mätosäkerheten  $\pm 10\%$ . Vid 400 ppm är mätosäkerheten  $\pm 20\%$ . Mätosäkerheten på mätningen av koldioxidhalt har en betydande påverkan på styrningen av luftflöden. Till exempel kan en mätosäkerhet på



$\pm 100$  ppm vid en rumshalt 1000 ppm leda till en avvikelse på mer än  $\pm 30\%$  från den avsedda luftflöden (1).

### Kontrollmätning av temperaturgivare

Resultatet från kontrollmätningen av temperaturgivare i DCV-don visas i figur 14. För temperaturgivarna observerades större avvikelser för två av de sju kontrollerade givarna (givare 3 och 7). Den största skillnaden mellan mätresultaten var  $+1,2$  °C, med en mätosäkerhet på  $0,6$  °C (med en konfidensnivå på 95 %). Detaljerade mätresultat är sammanställd i Bilaga 2.



Figur 14. Skillnaden mellan mätningarna med de granskade givarna och referensinstrumentet från kontrollmätningen av rumstemperaturgivare i DCV-systemet på Chalmers SB2-huset. Mätosäkerheten redovisas med felstaplar som "utökad mätosäkerhet" med en konfidensnivå på 95%.

Tabell 3 presenterar den uppmätta rumstemperaturen i jämförelse med värdet som visas som "Rumstemperatur" i styr- och övervakningssystemet för DCV-don, samt kontrollmätningen av tilluftstemperaturen. Inga större avvikelser kunde påvisas med det begränsade antalet stickprov av rumstemperatur.

Det är värt att notera att värdet som visas som "Rumstemperatur" för varje enskilt don är medelvärdet av de olika lokala rumstemperaturerna som varje don mäter. Jämförelsen med "rumstemperatur" ger bara en indikation om hur väl givarens mätvärde motsvarar temperaturförhållandena i vistelsezonen. Samtidigt varierar temperaturen inne i vistelsezonen beroende på värmekällor och kalla ytor (så som fönster) i rummet. Därför är det inte alltid så lätt att direkt jämföra det uppmätta värdet i vistelsezonen med det uppmätta värde med temperaturgivaren som sitter i donet för att bedöma temperaturgivarens prestanda. Därför har endast ett fåtal mätningar gjorts inne i rummet, och jämförelserna har främst fokuserat på kontrollmätningen av donets givare med ett referensinstrument som var placerat direkt intill.



Tabell 3. Resultatet från kontrollmätningen av rumstemperatur- och tilluftstemperaturgivare i DCV-systemet på Chalmers SB2- huset.

Givare	Uppmätt temperatur i °C		Differens (givare- ref)	Utökad mätosäkerhet i °C <sup>1)</sup>
	temp ref	Temp givare		
Jämförelse med rumstemperatur				
8	22,3	22,5 <sup>2)</sup>	0,2	0,6
5	21,2	20,8 <sup>2)</sup>	-0,4	0,6
Jämförelse med tilluftstemperatur				
9	20,0	20,6 <sup>3)</sup>	0,6	0,6
10	17,6	17,6 <sup>3)</sup>	0,0	0,6
11	19,7	19,8 <sup>3)</sup>	0,1	0,6

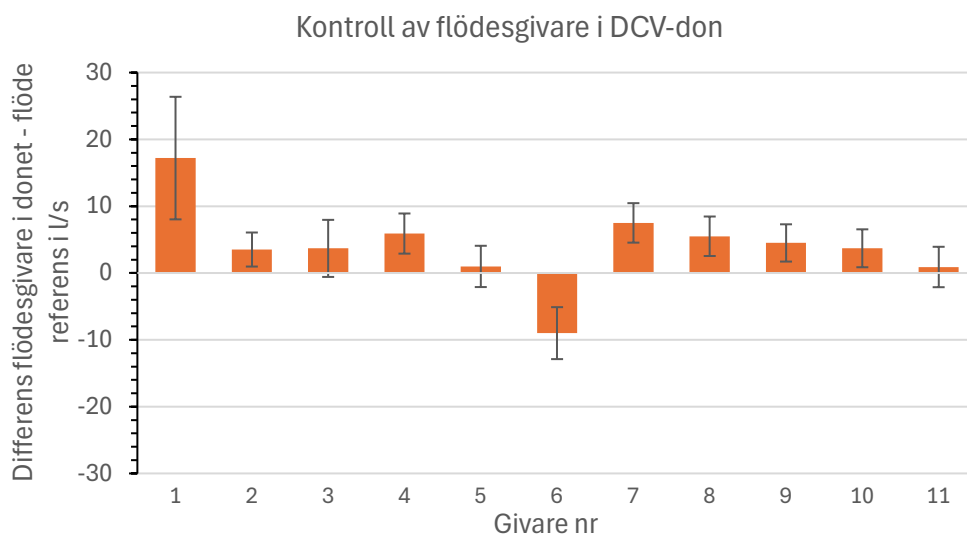
Noteringar:

- 1) Den totala mätosäkerheten redovisas med konfidensnivå på cirka 95% och har beräknats enligt (15).
- 2) Värdet som visas som "Rumstemperatur" för DCV-don i styr-och övervakningssystemet.
- 3) Värdet som visas som "Kanaltemperatur" för DCV-don i styr-och övervakningssystemet.

Kontrollmätningen av kanaltemperaturgivare (tilluftstemperatur) visar inte heller några avvikelser som är större än den mätosäkerhet som är förknippad med dessa mätningar

### Kontrollmätning av flödesgivare

Resultaten från kontrollmätningen av flödesgivare i DCV-don visas i figur 15. Detaljerade mätresultat är sammanställt i Bilaga 2. Resultaten visar att för åtta av de elva granskade flödesgivarna var skillnaden mellan givarens värde och referensinstrumentets värde större än mätosäkerheten i mätningen. För två av givarna var avvikelserna något mindre och låg närmare mätosäkerheten. Den totala mätosäkerheten redovisas med en konfidensnivå på cirka 95% och har beräknats enligt riktlinjer från (15) och (16). Mätning av låga luftflöden ( $\leq 10$  l/s) har alltid en större mätosäkerhet, vilket har tagits hänsyn till i beräkning av den sammanlagda mätosäkerheten för mätningen.

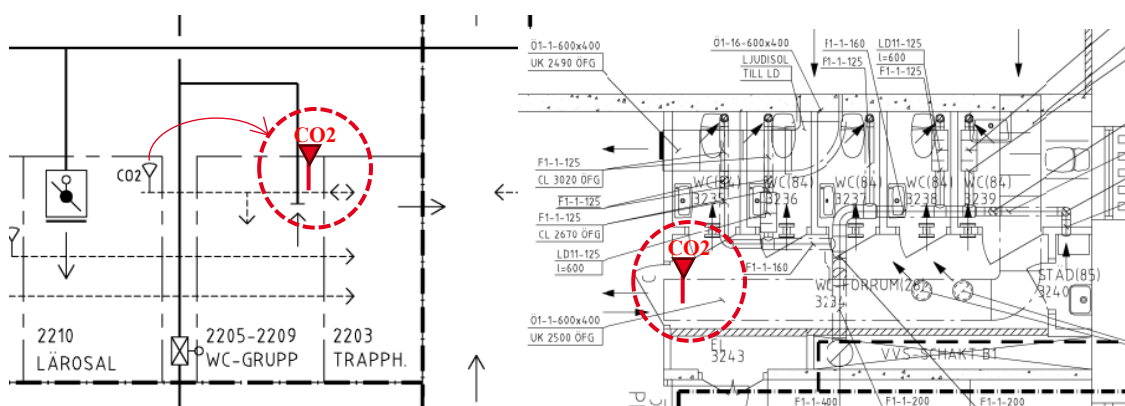


Figur 15. Skillnaden mellan mätningarna med de granskade givarna och referensinstrumentet från kontrollmätningen av flödesgivare i DCV-don på Chalmers SB2-huset. Mätosäkerheten redovisas med felstaplar som "utökad mätosäkerhet" med en konfidensnivå på 95%.



## Övriga anmärkningar från utvärdering av DCV-system på Chalmers SB2-huset

- 1) Frånluften från lärosalar och grupprum dras ut till trapphus via överluftskanaler. På flera ställen används samma överluftskanal både för toalettgruppen och lärosalar, vilket visas i figur 16 nedan. När flödet från klassrummet är lågt och när toalettdörren är stängd, tas kompensationsluft till toaletterna både från lärosalen och från trapphuset. Vid platsbesök upptäcktes att på flera platser har koldioxidgivaren för lärosalar placerats i överluftskanalen närmare trapphuset (markerad med röd färg i figur 16) och inte närmare rummet, som det var tänkt. Detta innebär att beroende på flödesbalansen mellan lärosalen och toaletterna mäter koldioxidgivaren luften från trapphuset och inte från klassrummet.



Figur 16 Placering av koldioxidgivare i frånluften i överluftskanalen på Chalmers SB2-huset.

- 2) I ett grupprum var det svårt att lokalisera koldioxidgivarens placering i frånluften (i överluftskanalen). För att bekräfta givarens existens användes koldioxid gas från en gasflaska och gas släpptes in i frånluften. Värdena från koldioxidgivaren lästes av i styr- och övervakningssystemet. Koldioxidgivaren reagerade inte alls för höjda halter i frånluften, vilket tyder på att den givaren som är kopplad i styr- och övervakningssystemet ligger någon annanstans och mäter inte luften från det specifika rummet.

## 5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Denna förstudie har syftat till att utvärdera den nuvarande funktionen och prestandan hos behovsstyrda ventilationssystem i Sverige samt att identifiera eventuella utmaningar och områden för förbättring. Undersökningen är begränsad till ca 40- tal byggnader som ägs av medlemmar inom BELOK gruppen, men det bedöms att resultaten ger en överskådlig bild av situationen och visar på både framsteg och utmaningar inom området behovsstyrd ventilation.

Det är tydligt att tekniken för behovsstyrd ventilation har genomgått betydande framsteg under de senaste decennierna, vilket har ökat dess funktionalitet och potential att optimera energieffektiviteten i byggnader. Baserat på enkätstudien och intervjuer bland fastighetsägare upplevs i de flesta undersökta byggnaderna att DCV-system fungerar bra eller mycket bra. De främsta fördelarna inkluderade god termisk komfort och luftkvalitet, samt möjligheten att övervaka systemparametrar i realtid för att underlätta felsökning och energieffektivisering. En



viktig förutsättning för välfungerande system är att driftteknikerna har en god förståelse för systemet.

Samtidigt rapporterade ett antal fastighetsägare om en del problem och utmaningar med DCV-system. I de anläggningarna där DCV-system fungerade mindre bra identifierades bland annat tekniska brister med systemkomponenter, felaktig design, problem luftflödesstyrningen, felaktiga inställningar i systemet, osv.

Flest problem med DCV-system har förekommit i skolor. Enligt fastighetsägare finns det DCV-anläggningar i skolor som fungerar acceptabelt medan andra har haft problem av olika anledningar. I flera fall har problemen varit för svåra att åtgärda vilket har lett till att funktionen för variabelt flöde har kopplats bort och idag styrs ett flertal installerade DCV-system som CAV-system.

Det finns olika faktorer som har bidragit till de problem som har uppstått med DCV-systemen i skolor. En del problem har kopplats till brister i systemdesignen, medan andra har att göra med felaktiga installationer på grund av slarv och bristande kompetens vid installation, i driftsättning och i drift. Samtidigt görs det också en bedömning att uppfattningen om dålig funktionalitet med DCV-system inte alltid är rättfärdigad, eftersom den verkliga orsaken till problemen inte alltid har förståtts fullt ut.

Resultaten från funktionskontrollerna av DCV-systemen i två fastigheter pekar på att funktionen och prestanda av givare som styr luftflöden på rumsnivå borde utredas mer i detalj. Fältmätningar genomfördes i byggnader där inga uppenbara klagomål förekom från brukare eller driftpersonal. Stickprov på givare visade avvikelser i temperatur- och koldioxidgivarnas prestanda samt problem med flödesmätare. Flest avvikelser observerades med temperatur- och flödesmätare samtidigt som för koldioxidgivare upptäcktes brister i självkalibreringsfunktionen. Felaktig installation av givare/mätare och överdimensionerade komponenter upptäcktes också på platsbesök.

Kraven som ställs på givare i DCV-systemet borde ses över och hur uppfyllandet av dessa krav ska verifieras samt hur funktionen kan säkerställas under givarnas livslängd, exempelvis vilka test- och underhållsprotokoll som gäller för givare. Många fastighetsägare tror att givare är underhållsfria och saknar rutiner för underhåll av givare. Fältmätningar visar att sådana rutiner borde tas fram. Enligt tillverkaren av en av de testade koldioxidgivarna är deras givare underhållsfria under den tekniska livslängden på 15+ år. Samtidigt har en annan leverantör beskrivit i tekniska datablad att det rekommenderade kalibreringsintervallet är 5 år, även vid användning av automatisk kalibrering. Det var något som fastighetsägaren inte var riktigt medveten om.

Resultatet från denna förstudie visar också att fokus på framtiden borde ligga på kompetensutveckling av utförare i hela processkedjan från projektering till drift. Sammanfattningsvis krävs det förbättrad kunskap vid kravställning, projektering, installation, driftsättning och drift, oavsett om det gäller ”platsbyggda” eller prefabricerade DCV-system. Specialkunskaper om DCV-system är avgörande för ett välfungerande DCV-system. För att säkerställa korrekt funktion hos DCV-system krävs en välgenomtänkt lösning och bra



förståelse för DCV-systemets grundprinciper. Det finns behov av förbättrade riktlinjer för utförare i hela processkedjan för att säkerställa bra funktion och prestanda av DCV-systemen.

Det krävs också bättre samverkan mellan fastighetsägare, systemtillverkare och entreprenörer för att säkerställa korrekt installation och integration av DCV-system i byggnader. Att systemtillverkare befinner sig långt ifrån projektet under garantitiden verkar vara ett problem enligt en av de intervjuade systemtillverkarna. Om de inte får veta vilka problem som uppstår, har de också svårt att ge stöd till fastighetsägare för att hitta lösningar och vidta åtgärder. Istället kan det leda till att DCV-system får ett oförtjänt dåligt rykte.

Det önskas även att det skapas ett automatiskt sätt att driftsätta systemen. Med rätt design och korrekt installation bör driftsättningen bli automatisk. För installatörer bör möjligheterna till fel minskas. Det är viktigt att både mjukvara och hårdvara utformas på ett bra sätt för att begränsa möjliga fel.

Även drifttekniker har en avgörande roll för DCV-systemens prestanda. Regelbunden övervakning och underhåll av DCV-system är avgörande för att förebygga och åtgärda eventuella driftstörningar och problem. Det måste finnas en balansgång mellan behovet/kompetensen hos drifttekniker och tekniken. Det rekommenderas att fastighetsdriften samarbetar med någon som är kunnig inom DCV-systemen från början av driften. Enligt intervjuer har många drifttekniker blivit motvilliga att jobba med DCV system.

Ett önskemål som lyftes fram under intervjuer var att det borde utvecklas branschgemensamma standarder och bästa praxis exempel för systemdesign och installation för att undvika fel och brister. Det handlar om kvalitetssäkring av systemdesign och installation.

Enligt produktleverantörer kommer framtida produktutvecklingar främst att handla om hur styr, övervakning och optimering kan förbättras. Utvecklingen av styrplattformar och nätverksanslutna produkter, som integreras i befintliga system, pågår redan. Det finns också en ökad efterfrågan från kunderna på billigare och mer användarvänliga produkter, eftersom dagens DCV-system uppfattas som alltför komplexa. Kunden önskar flexibilitet att styra systemkomponenter utan att vara låst vid en specifik leverantör och begär transparenta priser utan dolda avgifter. För att hantera komplexa styrsystem behövs överordnade system som ger stöd åt styrprocessen. En annan viktig faktor är förbättringar inom givartekniken för att öka tillförlitligheten och minska mätosäkerheten. Många nya företag har etablerats på marknaden, dock med varierande kvalitet på givarna.

Det är viktigt att bra funktion och prestanda av DCV system säkerställs. Dålig funktion och bristfällig uppföljning ökar risken att man kan gå miste om den energibesparingspotentialen som DCV systemlösningen ger.



## 6. REFERENSER

1. Mari-Liis Maripuu, *Demand controlled Ventilation (DCV) systems in commercial buildings: functional requirements on systems and components*. Doktorsavhandling, Installationsteknik, Chalmers tekniska högskola 2009.
2. Dennis Johansson, *Measured occupancy levels in twelve Swedish School class rooms*. Clima 2010 Conference, Antalya
3. Belok, *Behovsstyrd Ventilation. Uppföljning av och rekommendationer för utformning av DCV- system*, februari 2016 <http://belok.se/behovsstyrd-ventilation/>
4. Nordic Ventilation Forum, *Ventilation control by demand - Nordic experience*, September 2022, <http://www.scanvac.eu/nvf2022.html>
5. Siru Lönnqvist, *Behovsstyrd ventilation kan bli bättre*, Energi och Miljö, Nr 8 2023
6. Vaisala, *Infrared Sensor Technology and its impact on HVAC CO2 Measurement Accuracy*. Vaisala Application Note. [CEN-TIA-Infrared-Sensor-Technology-and-Impac-HVAC-CO2-Measurement-Accuracy-B211311EN-A.pdf \(vaisala.com\)](#)
7. CaliforniaEnergyCommission, *Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings., Title 24, Part 6, California Code of Regulations, Title 24., 2019*
8. Lars Ekberg, *Indoor Air Quality. Achieving the desired indoor climate- Energy efficiency aspects of system design*, Studentlitteratur, 2003
9. Lindinvent, *Projekteringsanvisning Ventilation, värme och kyla*, [Microsoft Word - vvs\\_proj2\\_13\\_införtemppublicering \(lindinvent.se\)](#)
10. Lindinvent, *Projekteringsanvisning Klimatstyr*, [Microsoft Word - klimatstyr\\_proj2\\_21\\_förpublicering \(lindinvent.se\)](#)
11. Swegon. *Swegon Wise- Systemguide*. [wise\\_systemguide.pdf \(swegon.se\)](#)
12. Swegon. *Swegon Wise- Projekteringsguide- VS, Kyla och Ventilation* [WISE - Projekteringsguide \(swegon.com\)](#)
13. Lokalförvaltningen, Göteborgs Stad. *Tekniska krav och anvisningar- Luftbehandlingsystem- Huvuddokument*. Göteborgs Stad Lokalförvaltningen, 2018.
14. Vaisala. *How to Measure Carbon Dioxide*. Application Note. <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-G-How-to-measure-CO2-Application-Note-B211228EN.pdf>
15. JCGM-100:2008. *Evaluation of measurement data- Guide to the expression of the uncertainty of measurement*. International Organisation of Legal Metrology, Paris, France
16. Svensk Standard SS-EN 16211:2015. *Luftbehandling- Fältmetoder för mätning av luftflöden*. SIS Svenska Institutet för Standarder.
17. Langer S, Ramalho O, Le Ponner E, Derbez M, Kirchner S, Mandin C. 2017. *Perceived indoor air quality and its relation to air pollutants in French dwellings*.
18. Licina D, Langer S. 2021. *Indoor air quality investigation before and after relocation to WELL-certified office buildings*. Building and Environment 204, 108182.



## BILAGA 1 - ENKÄT

### Följande frågor ställdes:

#### Byggnadskategori (Om flera, ange den huvudsakliga)

- Kontor
- Sjukhus
- Äldreboende
- Annan vårdlokal
- Förskola
- Grund- och gymnasieskola
- Universitet och högskola

#### Vilket år installerades behovsstyrd ventilation (DCV) i byggnaden?

- Behovsstyrd ventilation installerades i byggnaden vid:
- Nybyggnation
- Ombyggnation

#### Vad betjänar den behovsstyrda ventilationsanläggningen huvudsakligen?

- Kontorsrum (för 1-2 personer)
- Kontorslandskap
- Mötesrum (för 6-20 personer)
- Klassrum (för 20-40 personer)
- Lektionssal (för 40-100 personer)
- Större lektionssalar (för >100 personer)

#### Ange vad som stämmer bäst in på ventilationsanläggningen med behovsstyrd luftflöde

- Har ett fläktaggregat
- Har flera fläktaggregat
- Är renodlad(e) med variabelt behovsstyrd luftflöde
- Innehåller delar med konstant luftflöde

#### Hur många tilluftsdon har ventilationsanläggningen med behovsstyrd luftflöde?

- 1-15 tilluftsdon per fläktaggregat
- 16-40 tilluftsdon per fläktaggregat
- 41-100 tilluftsdon per fläktaggregat
- >100 tilluftsdon per fläktaggregat

#### Vem är tillverkare för produkter/systemlösningar för behovsstyrningen i byggnaden?

- Lindinvent
- Swegon
- Lindab
- Fläkt Group
- Halton
- Annat

#### Hur styrs luftflödena på rumsnivå i byggnaden?

- med aktiva don (VAV-don)
- med VAV-spjäll
- med aktiva don och VAV-spjäll
- Annat



**Vilka parametrar styr luftflödena på rumsnivå?**

- Rumstemperatur
- Koldioxidhalt
- Närvaro
- Halt av flyktiga organiska föreningar (VOC)
- Annat

**Är värmesystem i rummen kopplade till det behovsstyrda ventilationssystemet (t.ex. via styrning av rumstermostater)?**

- Ja
- Nej
- Annat

**Är kylsystem i rummen kopplade till det behovsstyrda ventilationssystemet?**

- Ja, luftflödena är dimensionerade efter kylbehovet
- Delvis. Det finns vattenbaserad kylsystem som är sammankopplad med behovsstyrda ventilationssystem.
- Nej
- Finns inget kylsystem
- Annat

**Vad stämmer bäst in på uppföljning av byggnadens energianvändning?**

- Följs upp och har minskat
- Följs upp och har ökat
- Följs inte upp
- Annat

**Hur upplevs den behovsstyrda ventilationsanläggningens funktion som helhet?**

- Mycket bra
- Bra
- Mindre bra
- Dålig - främst klagomål från de som vistas i rummen
- Dålig - främst problem för drift- och underhållspersonal

**Vad upplevs som dåligt av de som driftar och underhåller den behovsstyrda ventilationen?**

- Tekniska problem med don (t.ex. ställdon har fastnat)
- Tekniska problem med kanalspjäll
- Tekniska problem med givare (t.ex. försmutsning av luftflödesgivare, rumsgivare visar fel, nolltrycksfel i tryckgivare)
- Tekniska problem med fläktaggregat
- Problem med styr- och reglerutrustning
- Problem med mät- och reglering i drift pga stor variation i luftflödesområdet (min/max)
- Obalans mellan till- och frånluftsflöden
- Överdimensionerat fläktaggregat
- Underdimensionerat fläktaggregat
- Dåligt isolerade tilluftskanaler (höga tilluftstemperaturer)
- Feldimensionerade VAV-spjäll eller luftdon
- För lågt luftflöde i rum
- Fel flöde, mätfel eller/och bullerproblem pga. fel placering av reglerspjäll och givare
- Felaktigt installerade kablar/tryckslangar för flödesmätning



**Komplicerad funktion**

- De som vistas i rum påverkar givare
- De som vistas i rum påverkar don
- De som vistas i rum påverkar radiatorer
- Annat

**Har ni behövt att byta ut några komponenter i den behovsstyrda ventilationsanläggningen?**

**Om så, vilka?**

**Upplever ni att systemdokumentation och driftinstruktioner är tillräckliga för att drifva behovstyrda system i fastigheten?**

**Kalibrerar/justerar ni givarna i DCV-systemet (t.ex. koldioxid, temperatur, tryck, flöde)?**

**Vilka och hur ofta?**





## BILAGA 2 RESULTAT FRÅN MÄTNINGARNA

Resultat från mätningarna på Lilla Gårdstensskolan visas i tabeller B1 och B2, resultat från mätningarna på Chalmers SB2-huset i tabeller B3-B5.

Både de granskade givare och referensinstrumentet har en viss mätosäkerhet, vilket påverkar noggrannheten vid fastställandet av det sanna värdet. Den osäkerhet som är förknippad med dessa mätningar har beräknats som den sammanlagda standardmätosäkerheten enligt riktlinjerna från (15), där både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet har beaktats. Slutligen redovisas mätosäkerheten som "utökad mätosäkerhet" med en 95% konfidensnivå.

Tabell.B1 Resultat från kontrollmätning av koldioxidgivare i DCV-systemet på Lilla Gårdstensskolan.

Givare	Uppmätt koldioxidhalt i ppm		Korrigerad koldioxidhalt <sup>1)</sup> i ppm		Differens (givare-ref)	Mätosäkerhet i ppm			
	CO <sub>2</sub> ref	CO <sub>2</sub> givare	CO <sub>2</sub> ref	CO <sub>2</sub> givare		CO <sub>2</sub> ref <sup>2)</sup>	CO <sub>2</sub> givare <sup>3)</sup>	Sammanlagd standardmätosäkerhet <sup>4)</sup>	Utökad mätosäkerhet 95% (k=2)
Kontrollmätning vid lägre koldioxidhalt									
1	550	515	539	505	-34	41	55	38	76
2	570	501	559	492	-67	41	55	38	75
3	680	606	669	597	-72	43	58	40	80
4	640	565	630	557	-73	43	57	39	78
5	720	664	707	653	-54	44	60	41	82
6	570	570	561	561	1	41	57	39	78
7	860	818	845	805	-40	47	64	44	88
8	630	613	618	602	-16	42	58	40	79
9	530	554	522	546	25	40	56	38	77
10	590	597	582	589	8	42	58	39	79
11	510	482	501	474	-27	40	54	37	74
12	540	504	528	493	-35	41	55	38	75
Kontrollmätning vid högre koldioxidhalt									
1	1710	1670	1678	1641	-37	64	89	61	121
2	2030	1954	1993	1921	-72	70	98	66	133
3	1250	1160	1231	1144	-87	55	74	51	102
4	1630	1573	1605	1551	-53	62	87	59	118
5	1450	1420	1422	1395	-28	58	82	56	111
6	1240	1235	1221	1218	-3	54	77	52	104
7	1740	1880	1711	1851	141	64	96	64	128
8	1700	1822	1675	1798	123	64	94	63	126
9	1830	1942	1804	1918	114	66	98	65	131
10	1660	1722	1637	1701	64	63	91	61	122
11	1850	1939	1819	1910	91	66	97	65	131
12	1050	1036	1026	1013	-13	51	70	48	96

Noteringar:

- Mätningen av koldioxid med NDIR-givare påverkas av både atmosfärens tryck och temperatur. Den mätosäkerhet som visas i produkttillverkarnas datablad gäller vanligtvis vid standardtestförhållanden, det vill säga vid standard lufttryck på 1013 hPa och vid temperatur på



+25 °C. För att redovisa mätosäkerheten har mätresultaten först korrigerats till standard temperatur och standard tryck enligt tillverkarnas anvisningar. Därefter har skillnaden mellan mätningarna med givaren och referensinstrumentet beräknats. Lufttryck under mätperioden har tagits från SMHI-s data som var uppmätt i Göteborgs station. Lufttemperatur har mäts på plats med referensinstrument. Uppmätt lufttryck under mätperioden 1018 hPa enligt SMHI-s mätning i Göteborgs station under tidsperioden 2023-12-05 10:00-12:00. Lufttemperatur har mäts på plats med referensinstrument.

- 2) Den specificerade mätosäkerheten för referensinstrumentet är  $\pm (30 \text{ ppm} + 2\% \text{ av avläst värde})$  vid temperatur +25 °C och vid normaltryck 1013 hPa.
- 3) Givarens mätosäkerhet enligt tillverkarens datablad:  $\pm 40 \text{ ppm} \pm 3\% \text{ av avläst värde}$  vid en temperatur på +25 °C.
- 4) Den sammanlagda standardmätosäkerheten beaktar både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet. Uppskattad mätosäkerhet för metoden relaterad till mätinstrumentets positionering är  $\pm 1 \text{ ppm}$

Tabell B2. Resultat från kontrollmätning av rumstemperaturgivare i DCV-systemet på Lilla Gärdsstensskola

Givare	Uppmätt temperatur i °C		Differens (givare-ref)	Mätosäkerhet i °C			
	temp ref	temp givare		temp ref <sup>1)</sup>	temp givare <sup>2)</sup>	Sammanlagd standardmätosäkerhet <sup>3)</sup>	Utökad mätosäkerhet 95% (k=2)
1	20,6	21,2	0,6	0,2	0,5	0,3	0,6
2	21,3	20,6	-0,7	0,2	0,5	0,3	0,6
3	22,1	21,8	-0,3	0,2	0,5	0,3	0,6
4	22,2	23,4	1,2	0,2	0,5	0,3	0,6
5	21,7	21,6	-0,1	0,2	0,5	0,3	0,6
6	22	24,0	2,0	0,2	0,5	0,3	0,6
7	21,8	21,6	-0,2	0,2	0,5	0,3	0,6
8	21	20,0	-1,0	0,2	0,5	0,3	0,6
9	22,4	22,6	0,2	0,2	0,5	0,3	0,6
10	22,7	23,6	0,9	0,2	0,5	0,3	0,6
11	21,7	22,0	0,3	0,2	0,5	0,3	0,6
12	19,9	20,0	0,1	0,2	0,5	0,3	0,6

Noteringar:

- 1) Den specificerade mätosäkerheten för referensinstrumentet är  $\pm 0,2 \text{ °C}$  vid rumstemperatur +20 °C.
- 2) Givarens mätosäkerhet enligt tillverkarens datablad:  $\pm 0,5 \text{ °C}$ .
- 3) Den sammanlagda standardmätosäkerheten beaktar både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet. Uppskattad mätosäkerhet för metoden relaterad till mätinstrumentets positionering är  $\pm 0,05 \text{ °C}$ .

Tabell B3. Resultat från kontrollmätning av koldioxidgivare i DCV-systemet på Chalmers SB2-Huset.

Givare	Uppmätt koldioxidhalt i ppm		Korrigerad koldioxidhalt <sup>1)</sup> i ppm		Differens (givare-ref)	Mätosäkerhet i ppm			
	CO <sub>2</sub> ref	CO <sub>2</sub> givare	CO <sub>2</sub> ref	CO <sub>2</sub> givare		CO <sub>2</sub> ref <sup>2)</sup>	CO <sub>2</sub> givare <sup>3)</sup>	Sammanlagd standardmätosäkerhet <sup>4)</sup>	Utökad mätosäkerhet 95% (k=2)
1	470	394	461	390	-72	39	82	51	102
2	630	541	617	535	-82	42	86	54	108
3	570	472	560	467	-93	41	84	53	105
4	590	550	579	544	-35	42	86	54	108
5	840	476	824	471	-353	46	84	54	108
6	670	628	657	621	-36	43	89	56	111
7	850	695	836	687	-148	47	91	57	115
8	860	742	851	734	-117	47	92	58	116



Noteringar:

- 1) Uppmätta värden har korrigerats för avvikande tryck och temperatur enligt tillverkarnas anvisningar. Uppmätt lufttryck under mätperioden 1020 hPa enligt SMHI-s mätning i Göteborgs station under tidsperioden 2023-12-06 12:00-15:00. Lufttemperatur har mätts på plats med referensinstrument.
- 2) Den specificerade mätosäkerheten för referensinstrumentet är  $\pm (30 \text{ ppm} + 2\% \text{ av avläst värde})$  vid temperatur  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$  och vid normaltryck 1013 hPa.
- 3) Givarens mätosäkerhet enligt tillverkarens datablad:  $\pm 70 \text{ ppm} \pm 3\% \text{ av avläst värde}$  inom mätområdet 400ppm - 2000ppm. Tryckberoendet  $+1,6\% \text{ av avläst värde per kPa}$  avvikelse från normaltryck.
- 4) Den sammanlagda standardmätosäkerheten beaktar både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet. Uppskattad mätosäkerhet för metoden relaterad till mätinstrumentets positionering är  $\pm 1 \text{ ppm}$

Tabell B4. Resultat från kontrollmätning av rumstemperaturgivare i DCV-systemet på Chalmers SB2-huset.

Givare	Uppmätt temperatur i $^\circ\text{C}$		Differens (givare- ref)	Mätosäkerhet i $^\circ\text{C}$			
	temp ref	temp givare		temp ref <sup>1)</sup>	temp givare <sup>2)</sup>	Sammanlagd standard-mätosäkerhet <sup>3)</sup>	Utökad mätosäkerhet 95% (k=2)
1	21,5	21,9	0,4	0,03	0,5	0,3	0,6
2	22,4	22,3	-0,1	0,03	0,5	0,3	0,6
3	22,2	21,5	-0,7	0,03	0,5	0,3	0,6
4	22,1	21,8	-0,3	0,03	0,5	0,3	0,6
5	22,2	21,7	-0,5	0,03	0,5	0,3	0,6
6	22,9	22,5	-0,4	0,03	0,5	0,3	0,6
7	23,1	21,9	-1,2	0,03	0,5	0,3	0,6

Noteringar:

- 1) Den specificerade mätosäkerheten för referensinstrumentet är  $\pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$  vid rumstemperatur  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 2) Givarens mätosäkerhet enligt tillverkarens datablad:  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- 3) Den sammanlagda standardmätosäkerheten beaktar både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet. Uppskattad mätosäkerhet för metoden relaterad till mätinstrumentets positionering är  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabell B5. Resultatet från kontrollmätningen av flödesgivare i DCV-don på Chalmers SB2-huset.

Givare	Uppmätt luftflöde i l/s		Differens (givare- ref)	Mätosäkerhet i $^\circ\text{C}$			
	Flöde ref	Flöde givare		Flöde ref <sup>1)</sup>	Flöde givare <sup>2)</sup>	Sammanlagd standard-mätosäkerhet <sup>3)</sup>	Utökad mätosäkerhet 95% (k=2)
1	71	88	17	2,5	4,4	5	9
2	6	10	4	0,5	2,0	1	3
3	33	37	4	1,2	2,0	2	4
4	13	19	6	0,5	2,0	2	3
5	19	20	1	0,7	2,0	2	3
6	29	20	-9	1,0	2,0	2	4
7	12	20	8	0,5	2,0	1	3
8	12	18	6	0,5	2,0	1	3
9	14	19	5	0,5	2,0	1	3
10	15	19	4	0,5	2,0	1	3
11	18	19	1	0,6	2,0	2	3

Noteringar:

- 1) Den specificerade mätosäkerheten för referensinstrumentet är  $\pm 3,5\% \text{ avläst värde}$  eller minst  $\pm 0,5 \text{ l/s}$ .
- 2) Givarens mätosäkerhet enligt tillverkarens datablad:  $\pm 5\% \text{ eller minst } \pm 2 \text{ l/s}$
- 3) Den sammanlagda standardmätosäkerheten beaktar både referensinstrumentets, givarens och mätmetodens mätosäkerhet. Metodens standardosäkerhet är  $5\% (7\% \text{ vid lägre flöden } < 13 \text{ l/s})$ .

