

Rapport CO₂-målinger på Mølholm Privathospital

1. Formål

Med dette dokument ønskes det at vise nøjagtigheden af Belimos rumpaneler med indbyggede CO₂-sensorer.

2. Baggrund

Der er fra kundens side tvivl om, hvor vidt de leverede sensorer er unøjagtige. Denne mistanke er bl.a. opstået ved, at der på Belimo panelet er målt værdier under 300 ppm på nogle af sensorerne. Der er meget teori, som vil fortælle, at en CO₂ værdi på under 400 ikke kan opnås.

Belimo panelets CO₂ målinger er desuden af kunden blevet sammenlignet med målingerne fra en Regin RCC-C3DOCS. Regin anvender dog en CO₂-sensor med automatisk baggrundskalibrering (ABC-logik), hvor Belimo panelet benytter 2 kanals NDIR. Dette problem belyses også kort i denne rapport.

3. Udstyr og nøjagtigheder

Belimo har en avanceret luftkvalitetslogger, som bl.a. kan tjekke reel CO₂ værdi. Denne er benyttet som reference-måler. Desuden har kunden benyttet en Regin RCC-C3DOCS, men den er ikke yderligere omtalt i dette dokument, da der ikke er logningsdata fra denne enhed.

Der er benyttet følgende udstyr

- KIMO Kistock KCC320 data logger (reference)
 - Nøjagtighed: CO₂: ±50 ppm ±3% of the reading
- Belimo rum panel P-22RTM-1U00A-2
 - Nøjagtighed: ±(50 ppm + 2 % af måleværdien)
 - Langtidsstabilitet: ±20 ppm p.a.
- Belimo rum panel med display P-22RTM-1U00D-2
 - Nøjagtighed: ±(50 ppm + 2 % af måleværdien)
 - Langtidsstabilitet: ±20 ppm p.a.

Maksimal unøjagtighed på sammenligning af Belimo panelet og KIMO måleren som begge er 1 år gamle er således 100 ppm + hhv. 2 og 3% af udlæsningen + 40 ppm (2xLangtidsstabilitet)
Eksempel på en måling på 400 ppm: $100 + (0,02 \times 400) + (0,03 \times 400) + 40 = 160$ ppm

4. Teori om CO₂ måling

Der findes grundlæggende 2 principper, som bruges til CO₂-målinger i forbindelse med moderne byggerier. Begge typer bruger NDIR teknologien. Men hvor den ene type kun bruger en måler og gætter på 0-punktet, som værende det laveste, den har målt inden for fx 7 dage, så benytter den anden type 2 kanals NDIR – altså 2 målere. Den ene måler holder øje med **det** reelle CO₂-niveau, og den anden holder øje med lysstyken af den lyskilde, der benyttes af til aflæsning af CO₂-niveauet. Det er denne lyskilde, der over ti d bliver forringet, og derfor har måleren brug for at kende denne forringelse for at være præcis over tid.

4.1 ABC (Automatic Baseline Correction) – sensor / enkelt-kanal NDIR

- Sensoren bruger **én infrarød kanal** til at måle CO₂-absorption.
- **ABC-funktionen antager**, at sensoren jævnligt kommer ned på et lavt CO₂-niveau (typisk 400 ppm udendørs).
- Den **kalibrerer sig selv automatisk** ved langsomt at justere baseline ned mod dette forventede minimum.
- Fordel: Billig, stabil over tid uden manuel kalibrering.
- Ulempe: Kan give **fejlkalibrering**, hvis sensoren **aldrig** kommer i et miljø med lav CO₂ (fx konstant beboede rum).

4.2 Dual / Dual-wavelength – to-kanals NDIR

- Har **to IR-kanaler**: én målekanal for CO₂ og én referencekanal.
- Referencekanalen kompenserer for **drift, temperatur og ældning af sensoren**.
- Kræver normalt **ingen ABC**, da referencen stabiliserer målingen.
- Fordel: Mere **præcis og driftssikker** i miljøer med konstant høj CO₂.
- Ulempe: Dyrere end ABC-baserede sensorer.

4.3 Fordele og ulemper

- **ABC**: billigere, én kanal, autokalibrering baseret på forventet minimum, kan fejle hvis luften aldrig bliver "frisk".
- **Dual**: to kanaler, indbygget reference, mere stabil og præcis uden behov for ABC.

Belimos CO₂ målinger er sammenlignet med målingerne fra en Regin RCC-C3DOCS. Regin anvender en CO₂-sensor med automatisk baggrundskalibrering (ABC-logik).

Denne type sensor gemmer de laveste målinger fra de seneste 7 dage og justerer automatisk offsettet for at holde de laveste målinger på 400 ppm. Hvis den laveste måling for eksempel er

350 ppm, vil sensoren automatisk lægge et offset på +50 ppm til for at matche 400 ppm. Det betyder faktisk, at målingerne altid vil være over 400 ppm.

Derfor har denne type sensor ikke en absolut nøjagtighed. I stedet måler den afvigelsen i forhold til en antaget minimumsværdi på 400 ppm. Hvis CO₂-koncentrationen i rummet konstant er over 600 ppm (fx behovsstyret ventilation i et rum med 24/7-aktivitet), vil sensorens laveste måling også være 600 ppm. Som følge heraf vil den lægge et offset på -200 ppm til aflæsningen, hvilket med tiden kan føre til dårlig DCV-ydelse og forringet luftkvalitet.

På et hospital vil der ofte være rum, der ikke affolkes helt på noget tidspunkt i løbet af fx en uge. Her vil en 2-kanals NDIR være det rigtige valg.

5 CO₂-måling og ventilation

Man bruger CO₂-måling til ventilation, fordi CO₂ er en meget praktisk indikator for luftkvalitet og ophobning af menneskelige udåndingsgasser i et rum. CO₂ stiger, når der er mange mennesker i rummet, da mennesker udånder CO₂. Derfor stiger niveauet hurtigt i dårligt ventilerede eller tætpakkede rum. Det gør CO₂ til en direkte proxy for, hvor "brugt" luften er.

5.1 CO₂-grænseværdier i praksis

0–1000 ppm – God luftkvalitet

- Typisk mål for skoler, kontorer og institutioner.
- Bruges ofte som komfortgrænse i bygningsreglementer og standarder.
- Indikerer, at ventilationen er passende.

1000–1500 ppm – Acceptabel, men let forringet luft

- Ofte set i klasselokaler og møderum med høj belastning.
- Kan give let træthed og nedsat koncentration.
- I mange DCV-systemer (behovsstyret ventilation) er 1500 ppm øvre grænse, hvor ventilationen kører på max.

1500–2000 ppm – Dårlig luftkvalitet

- Tydelig "tung" luft, træthed, hovedpine.
- Ventilationen bør forbedres.
- Over ca. 1800–2000 ppm betragtes som utilfredsstillende i de fleste standarder (fx EN 16798 / tidligere EN 15251).

5.2 Indeklima standard

EN 16798-1 er en europæisk standard for indeklima. Den opererer med disse designkategorier:

- Kategori I (høj kvalitet): ~ 750 ppm over udendørsniveau
- Kategori II (normal): ~ 900 ppm over udendørsniveau
- Kategori III (moderat): ~ 1200 ppm over udendørsniveau

Udendørs CO₂ er typisk 400–450 ppm → dermed bliver de praktiske grænser:

- Kategori I: ca. 1150 ppm
- Kategori II: ca. 1300–1350 ppm
- Kategori III: ca. 1600–1700 ppm

6. Målingerne

6.1 Beskrivelse af rum

Der er testet paneler i 6 forskellige rum i forskellige tidsrum. Den samlede test har stået på i 6 døgn. De fleste rum har været aflukkede og uden mennesker i rummet. Målinger er foretaget i sengestuer, lejligheder og ambulatorier, alle med beton, gips/fermacell, linoleumsgulve og nedhængte lofter. Rumstørrelsen er omtrent ens, mens lejligheden er dobbelt så stor.

6.2 Målemetode

Det gør det muligt at bruge dobbeltkanalsensorer i applikationer med belægning hele døgnet. Regelmæssig kalibrering med frisk udeluft, som det er tilfældet med sensorer med ABC-logik, er ikke nødvendig med dobbeltkanalsensorer. Det anbefales at recalibrere sensoren efter 5 års drift.

Målingerne er udført ved hjælp af kalibrerede CO₂-målere placeret strategisk rundt om i bygningen. Der er målt på forskellige tidspunkter af dagen for at få et repræsentativt billede af variationerne, både i sengeafsnit, lejlighed og ambulatorier.

6.3 Rum og tid

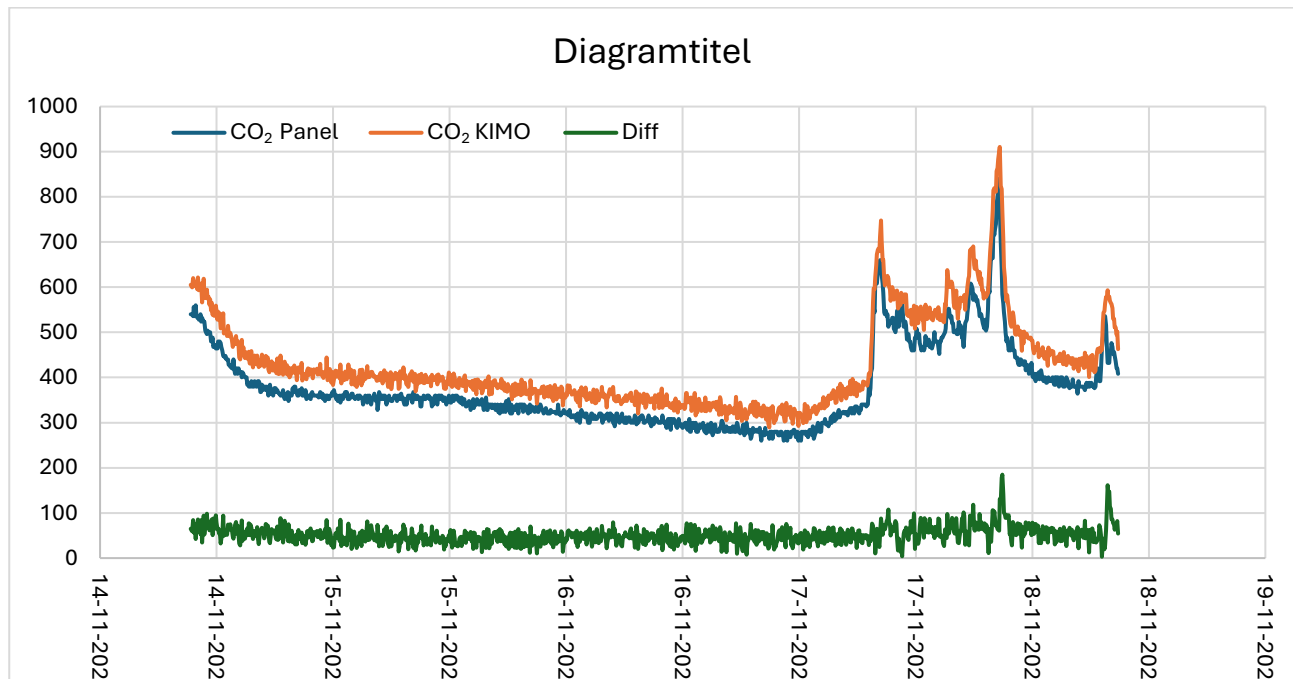
Start	Slut	Rum	Rum	Note
Fredag 14.11.2025 kl 9:15	Tirsdag 18.11.25 kl. 08:50	A5 Sengeafsnit	EST-S1-34	Delvis befolket
Tirsdag 18.11.2025 kl. 09:00	Torsdag 20.11.2025 kl. 09:16	C6 Lejlighed	EST-C-40	Delvis befolket
Torsdag 20.11.2025 kl. 09:33	Torsdag 20.11.2025 kl. 11:30	AMB 1.9	E01-U-41	Delvis befolket
Torsdag 20.11.2025 kl. 11:30	Torsdag 20.11.2025 kl. 13:43	AMB 0.2	EST-U-10	Delvis befolket
Torsdag 20.11.2025 kl. 13:43	Torsdag 20.11.2025 kl. 15:42	AMB 0.6	EST-U-25	Tom
Torsdag 20.11.2025 kl. 15:42	Mandag 24.11.2025 kl. 11:30	B3 Sengeafsnit	EST-S2-06	Delvis befolket

6.4 Kurverne

Se bilag for større kurver

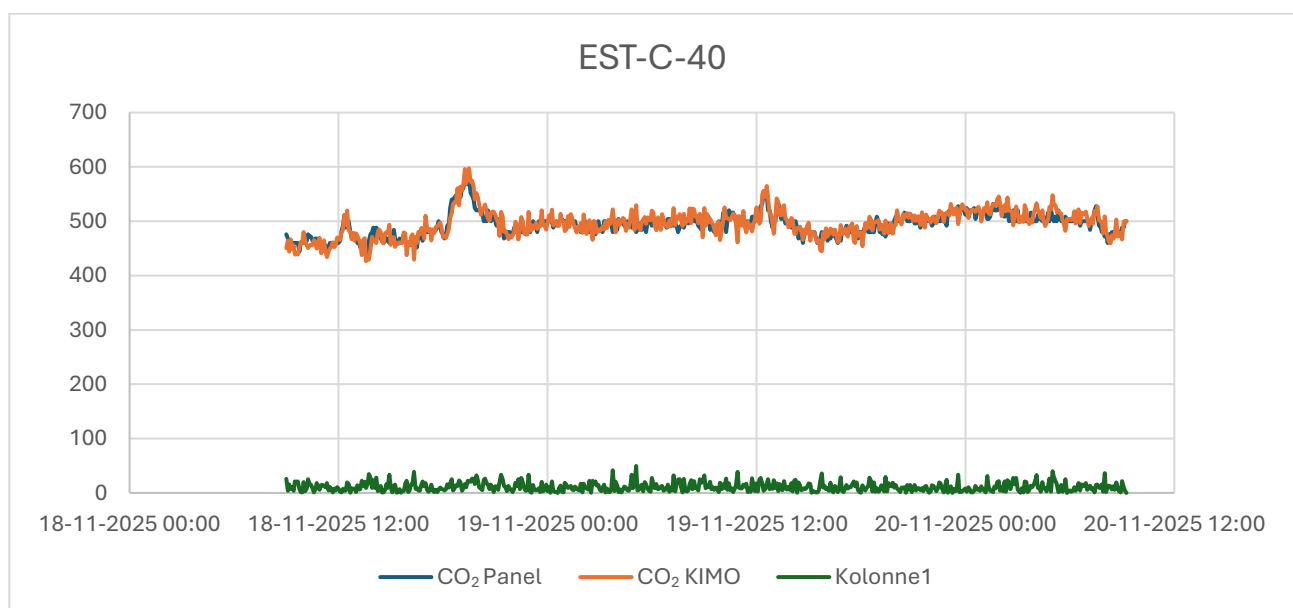
6.4.1 Sengeafsnit EST-S1-34

Gennemsnitlig afvigelse er 51,4 ppm.



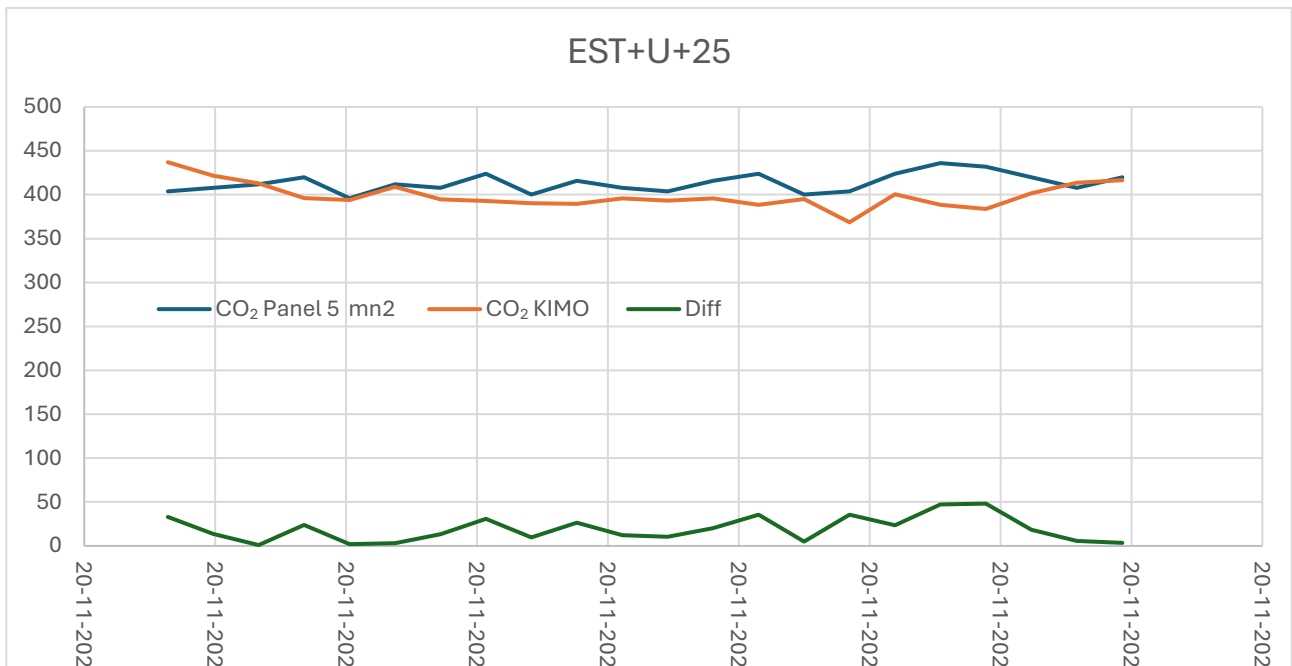
6.4.2 Lejlighed EST-C-40

Gennemsnitlig afvigelse er 11,0 ppm.



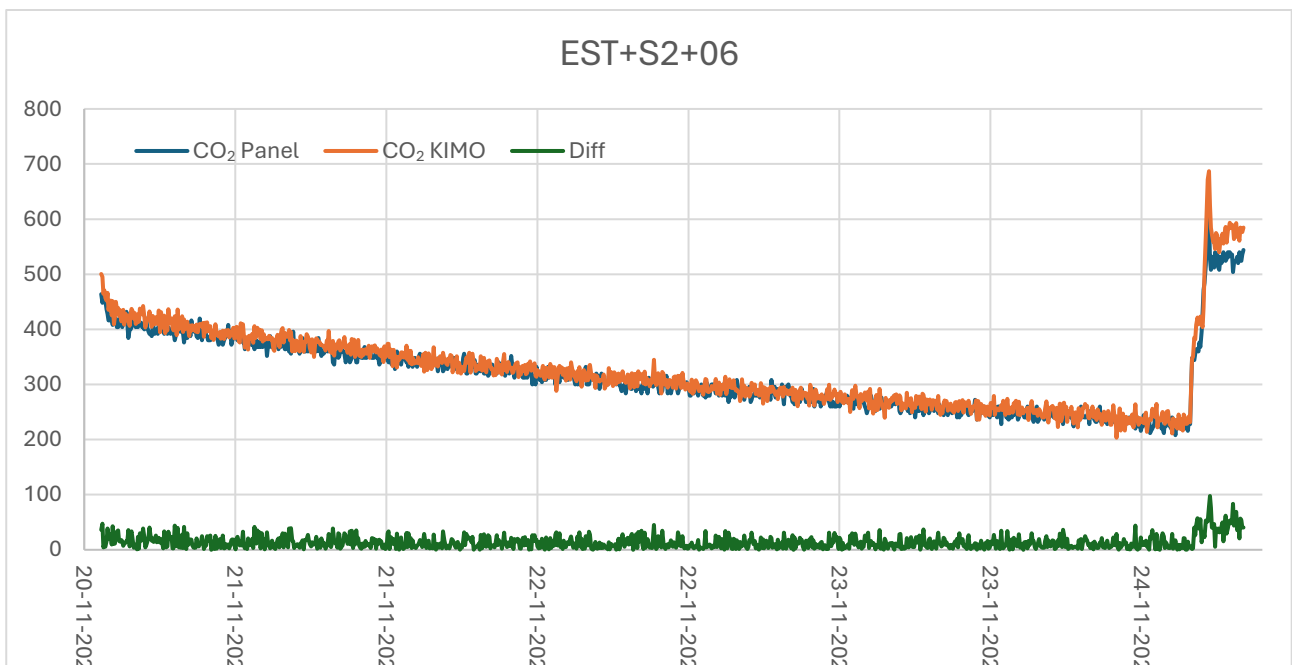
6.4.5 Ambulatorie EST-U-25

Gennemsnitlig afvigelse er 19,2 ppm.



6.4.6 Sengeafsnit EST-S2-06

Gennemsnitlig afvigelse er 13,7 ppm



6.4.7 Sammenfattende tabel over kurver

Rum	Gennemsnitlig Afvigelse	Bemærkning
EST-S1-34	51,4 ppm	Ok
EST-C-40	11,0 ppm	Ok
E01-U-41	12 ppm	Ok
EST-U-10	9 ppm	Ok
EST-U-25	19,2 ppm	Ok
EST-S2-06	13,7 ppm	Ok

6.4.8 Lave CO₂- værdier

Både Belimo panelerne og reference måleren måler til tider meget lave CO₂- værdier. Grunden til de meget lave værdier måles er ikke nemt at forklare. Dog kan man se, hvis rummet ikke er i brug og ikke ventileres, så er tendensen for CO₂- værdien faldende over et par dage.

Hos Belimo i Skanderborg er der udført et meget simpelt eksperiment. Her er et Belimo panel og KIMO måleren lagt i en lufttæt plastkasse både sammen med og uden en belægningssten. Dette forsøg indikerer at beton giver en relativt stor forskel på målingerne. Se bilag "Belimo Danmarks forsøg med CO₂ måling i lukkede kasser" Jf. EN 16798-1, så har værdier, der ligger under 900 ppm ingen værdi udover at indikere, at ventilationen skal køre normal hastighed.

7. Konklusion

Ud af de 6 målinger, der er foretaget, ligger alle Belimo panelerne i gennemsnit inden for tolerancen jf. databladet for enhederne. Worst case – det panel, der ligger højest i gennemsnitlig afvigelse, er føleren i rum EST-S1-34. Den ligger i gennemsnit 51,4 højere end referencemåleren. Dette er dog stadig ok – selv hvis man kun kigger på tolerancen for Belimo panelet. som jo er 50 ppm + 2% visning + Langtidsstabilitet. Men i praksis skal panelet blot holde sig inden for ca. 160 ppm for at overholde de tolerancer, der opgivet fra leverandør – både Belimo og KIMO.

Jf. punkt 5 og 5.1 er en CO₂-måling en god indikator for om et rum er befolket. Den første værdi, der normalt benyttes i forbindelse med denne detektion, er omkring 900-1000 ppm. Hvis dette sammenholdes med den gennemsnitlige afvigelse, så vil man, jf. de testede paneler, minimum ramme punktet for skift i ventilation inden for 5% af værdien. Dvs. imellem 950 og 1050 ppm. Hvilket ingen mennesker kan registrere.