

# High accuracy low-cost NDIR sensing

Author licentiate thesis: **Bakram Guynullin**  
STC Research Centre  
Mid Sweden University

## Abstract

Sensing gas concentrations using optical absorption offers valuable advantages over other methods in a wide variety of real-world applications from industrial processes to environmental change. One of the most rapidly developing detection techniques on the global market is the non-dispersive infrared method (NDIR). Sensors developed based on this technique satisfy a growing demand for low-cost, reliable and long-term maintenance-free solutions. The technologies available to support this field for sensor key components such as light sources, photo detectors, optic cavities, and electronic components, have advanced rapidly in recent years. This development has led to an increasing number of application fields, due to significant improvements in accuracy, sensitivity and resolution.

However, this technique has limitations related to basic physical principles and sensor design performance. Variation in sensing environments' temperature and pressure, the impact of water vapour presence and sensor component ageing are the most important interfering factors for investigation. Errors in measured values could be caused by any of these factors because they influence various sensor parts and the environment's physical properties. The correct interpretation of error sources is one the most difficult and important tasks involved in designing stable, high-precision sensors.

To facilitate investigations into measurement performance limitations, test equipment was developed along with test approaches capable of creating experimental conditions that exceed the tested sensor's tolerances. The studied resolution limit for long-path sensors is about 100 ppb. For measurements in fresh air concentrations (approximately 400 ppm of CO<sub>2</sub>), this is equivalent to a precision of less than 0.1%. The methods used to reduce possible inaccuracies due to various error sources' impacts should possess compensatory capabilities and precisions that exceed this value.

To improve the pressure compensation procedure's performance, a complete advanced system that includes everything from a lab test bench to the supporting software and comprehensive calculation algorithm was developed. The test bench creates pressure conditions that deviate from the reference value by less than 0.2 mbar (or 0.02% of the standard pressure, 1013 mbar).

One of this study's major findings is the concentration range-independent pressure compensation method. The advanced conditions achieved with the test station also facilitated the discovery and characterisation of the sources of long-term drift in methane concentration measurement.

# High accuracy low-cost NDIR sensing

Författare licentiateavhandling: **Bakram Guynullin**

STC Research Centre

Mittuniversitetet

## Sammanfattning

Att mäta gaskoncentration med optisk absorption har många fördelar jämfört med andra tekniker inom ett stort antal områden från industriella processer till klimatförändringar. En av teknikerna under snabbast utveckling på den globala marknaden är icke-dispersiv infraröd teknik (NDIR). Sådana sensorer uppfyller ett stort antal krav som låg kostnad, hög tillförlitlighet och underhållsfri funktion under lång tid. Nyckelteknologierna som krävs inom området så som ljuskällor, fotodetektorer, optiska kaviteter och elektronikkomponenter har utvecklats snabbt de senaste åren. Utvecklingen har, tack vare förbättrad noggrannhet, känslighet och upplösning, lett till ett ökat antal tillämpningar i fält.

Tekniken har dock prestandabegränsningar relaterade till den fysikaliska principen och sensorkonstruktionen. Variationer i omgivningens temperatur och tryck, inverkan av vattenånga och åldring av komponenter är de dominerande störfaktorerna som behöver utforskas. Måtfel kan orsakas av alla dessa faktorer då de påverkar olika delar av sensorn och dess fysiska omgivning. Korrekt tolkning av felkällorna är en av de svåraste och viktigaste uppgifterna vid konstruktion av stabila sensorer med hög precision.

För att möjliggöra utvärdering av en sensors prestandabegränsningar måste testutrustning och metodik utvecklas för att uppnå testförhållanden som är mer stabila än sensorn. Den studerade upplösningens begränsningen för sensorn med lång optisk sträcka ligger på gaskoncentrationer i storleksordningen 100 ppb. För mätning av koldioxid i friskluft, med en halt runt 400 ppm, innebär det ett krav på relativ precision bättre än 0,1%. Metoderna som används måste således stabiliseras och kompenseras för noggrannheter med en precision som är ytterligare bättre än så.

För att förbättra prestanda hos tryckkompenserings-proceduren har ett avancerat system utvecklats. Det inkluderar allt från en testbänk med tillhörande mjukvara till nyutvecklade algoritmer för beräkning. Testbänken kan skapa tryckstabiliserade förhållanden som avviker mindre än 0,2 mbar från referensvärdet vilket motsvarar 0,02% av omgivningstrycket på 1013 mbar.

Ett av de större framstegen i den presenterade avhandlingen är den framtagna metoden för koncentrationsberoende tryckkompensering. De stabila miljöerna i testbänken möjliggjorde även upptäckt och karakterisering av källorna till långtidsdrift vid mätning av metankoncentration.