

Hiilidioksidin mittaaminen

Hiilidioksidia mitataan monissa sovelluksissa rakennusautomaatiosta ja kasvihuoneista aina life science-sovelluksiin.

Tämä dokumentti käsittelee seuraavia aiheita:

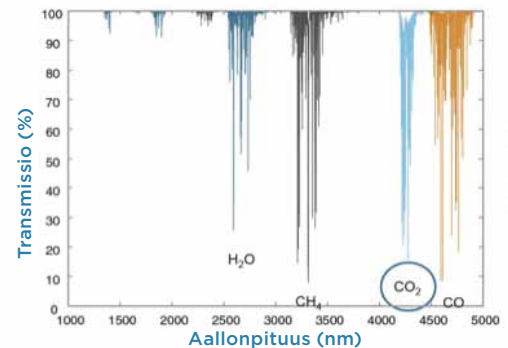
- Infrapuna-hiilidioksidi (CO_2)-anturin toimintaperiaate
- Ideaalikaasulaki ja sen soveltaminen ympäristötekijöiden kompensoimiseksi hiilidioksidimittauksessa
- Hiilidioksidilähettimeiden optimaalinen sijoittelu
- Hiilidioksidi ja turvallisuus



Infrapuna-anturin toimintaperiaate

Hiilidioksidi ja muut kahdesta tai useammasta erilaisesta atomista koostuvat kaasut absorboivat infrapunasäteilyä niille ominaisella tavalla. Tällaiset kaasut voidaan havaita käyttäen infrapunatekniikkaa. Vesihöyry, metaani, hiilidioksidi ja hiilimonoksidi ovat esimerkkejä kaasuista, joita voidaan mitata infrapuna-anturin avulla. Niille ominaiset absorptiojuovat esitetään kuvassa 1.

Infrapunateknologia on yleisimmin käytetty menetelmä hiilidioksidin mittaamiseen. Infrapuna-antureissa on useita etuja kemiallisiin antureihin verrattuna. Ne ovat stabiileja ja hyvin selektiivisiä mitattavalle kaasulle. Niillä on pitkä käyttöikä, ja koska mitattava kaasu ei ole suoraan vuorovaikutuksessa anturin kanssa, infrapuna-anturit kestävät hyvin korkeita kosteuspitoisuuksia, pölyä, likaa ja muita vaativia olosuhteita.



Kuva 1. Hiilidioksidin ja joidenkin muiden kaasujen infrapuna-absorptio

Hiilidioksidilähettimeiden optimaalinen sijoittelu

- Vältä paikkoja, joissa ihmiset saattavat hengittää suoraan anturiin. Vältä myös asettamasta antureita lähelle ilman sisäänotto- tai poistokanavia tai ikkunoiden ja ovien läheisyyteen.
- Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa seinään asennettavat anturit antavat tarkempaa tietoa ilmanvaihdon tehokkuudesta kuin kanavaan asennettavat anturit. Kanavaan asennettavat anturit sopivat parhaiten järjestelmiin, joissa kokonaista aluetta ohjataan samalla säädöllä. Kanavälähettimeet tulee asentaa mahdollisimman lähelle oleskelualueetta niiden huollon helpottamiseksi.
- Kun hiilidioksidia mitataan mahdollisten turvallisuusriskien minimoimiseksi, tulee lähettimeet asentaa lähelle mahdollisia vuotokohtia, jotta vuodot havaittaisiin mahdollisimman nopeasti. Valvottavan alueen geometria, ilmanvaihto ja ilmavirtaus tulee ottaa huomioon. Hiilidioksidilähettimeiden määrän ja sijainnin tulee perustua riskien arviointiin.

Infrapuna-hiilidioksidianturin tärkeimmät osat ovat valonlähde, mittauskammio, interferensisuodatin ja infrapunadetektor. Infrapunasäteily ohjataan valonlähteestä mitattavan kaasun läpi detektorille. Detektorin edessä sijaitseva suodatin estää muiden kuin mitattavalle kaasulle spesifisten aallonpituuksien kulkemisen detektorille. Detektori havaitsee sille saapuvan säteilyn voimakkuuden, joka muunnetaan kaasun pitoisuudeksi.

Vaisala CARBOCAP® -hiilidioksidianturi käyttää infrapuna-anturitekniikkaa hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen. Anturi sisältää ainutlaatuisen, sähköisesti säädettävän Fabry-Perot-Interferometrisuodattimen (FPI), joka mahdollistaa mittauksen kahdella eri aallonpituudella. Tämä tarkoittaa sitä, että CARBOCAP-anturi suorittaa hiilidioksidin absorptiomittauksen lisäksi myös referenssimittauksen, jolla kompensoidaan mm. valonlähteen voimakkuuden mahdollisia muutoksia sekä lian ja muiden epäpuhtauksien aiheuttamia muutoksia. Referenssimittaus tekee anturista erittäin stabiilin pitkällä aikavälillä. Voit tutustua Vaisalan hiilidioksidin mittaamiseen soveltuviin tuotteisiin osoitteessa www.vaisala.fi/hiilidioksidi.

Ideaalikaasulaki

Ideaalikaasulakia voidaan hyödyntää arvioitaessa lämpötila- ja painemuutosten vaikutuksia hiilidioksidimittaukseen. Sitä voidaan käyttää hiilidioksidilukemien kompensointiin.

Ideaalikaasu on teoreettinen kaasu, joka koostuu mitättömän pienistä, satunnaisesti liikkuvista identtisistä pistehiukkasista. Ideaalikaasussa molekyylien väliset voimat ovat merkityksettömiä. Ideaalikaasumolekyylien oletetaan törmäävän kimmoisasti sekä toistensa että säiliön seinämien kanssa.

Todellisuudessa kaasut eivät käyttäydy kuten ideaalikaasut, mutta mallia käytetään kuitenkin usein reaalikaasujen käyttäytymisen kuvaamiseen. Ideaalikaasulaki liittyy tietyn kaasumäärän tilan sen paineeseen, tilavuuteen ja lämpötilaan seuraavan kaavan mukaisesti:

$$pV = nRT$$

jossa

p = paine [Pa]

V = kaasun tilavuus [m^3]

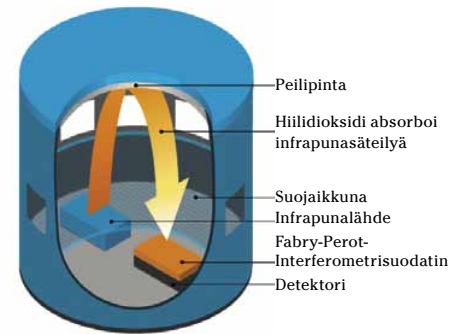
n = kaasun ainemäärä [mol]

R = yleinen kaasuvakio
(= 8.3145 J/mol K)

T = lämpötila [K]

Lämpötilan ja paineen vaikutus hiilidioksidimittaukseen

Useimpien kaasuantureiden ulostulosignaali on verrannollinen mitattavan kaasun molekyyli tiheyteen (molekyyliä/kaasun tilavuus), vaikka laitteen lukema ilmaistaankin miljoonasosina (tilavuus/tilavuus, ppm). Paineen ja/tai lämpötilan

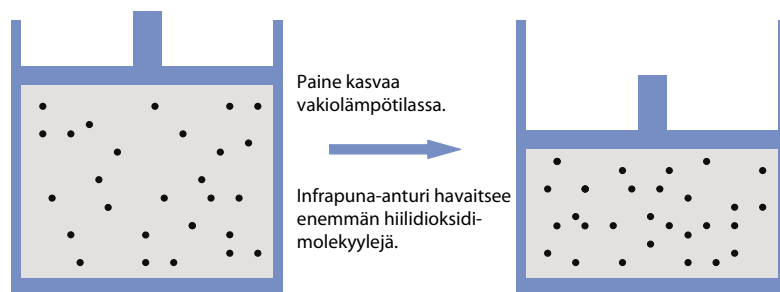


Kuva 2. Vaisala CARBOCAP -hiilidioksidianturin rakenne

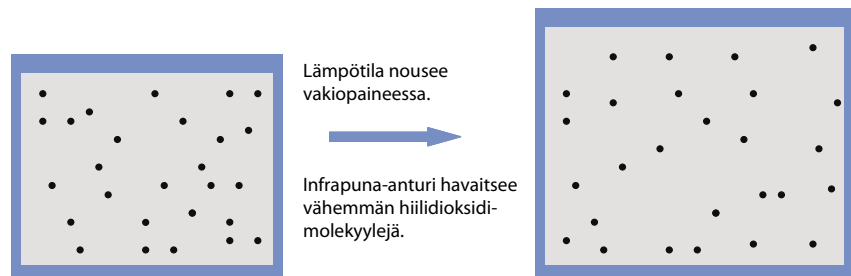
muutuessa kaasun molekyylin tiheys muuttuu ideaalikaasulain mukaisesti. Muutos näkyy anturin ppm-lukemassa.

Seuraavat kuvat havainnollistavat, kuinka paineen tai lämpötilan muutokset vaikuttavat kaasun tilaan ja hiilidioksidin mittaukseen.

Paine kasvaa lämpötilan pysyessä vakiona



Lämpötila nousee paineen pysyessä vakiona



Ideaalikaasulakia voidaan käyttää kaasun molekyylitiheyden laske-
miseksi tietyssä lämpötilassa ja
paineessa, kun kaasun tiheys SATP
(Standard Ambient Temperature and
Pressure) olosuhteissa tunnetaan.
Kun kaasun ainemäärä (n) korvataan
arvolla $\rho V/M$ ja kaasun moolimassan
(M) oletetaan olevan vakio kahdessa
eri tilanteessa, laskutoimitus voidaan
ilmaista yhtälön 1 avulla.

Tätä kaavaa voidaan käyttää
arvioitaessa miten kaasuanturin
lukema muuttuu lämpötilan ja/tai
paineen muuttuessa.

Kaavaa voidaan käyttää myös
lämpötilan ja paineen muutosten
kompensointiin hiilidioksidia
mittaessa. Tyypillisesti hiilidioksi-
dimitalaitteet eivät mittaa painetta,
eivätkä ne sen vuoksi kykene
automaattisesti kompensoimaan
paineen vaihteluita. Kun mittalaitteet
kalibroidaan tehtaalla, asetetaan
olosuhteet tavallisesti vastaamaan
merenpinnan paineolosuhteita
(1 013 hPa). Muulla kuin merenpinnan
tasolla mitattaessa on hyvä kompen-
soida paineen vaikutus mittaukseen.
Tämä voidaan tehdä joko syöttämällä
paineasetukset sisäistä kompensointia
varten (vakioaineessa) tai ohjelmoi-
malla kompensatio automaatio-
järjestelmään tai tietokoneelle
(vaihtuvat paineolosuhteet).

Samoja sääntöjä voidaan soveltaa
lämpötilan vaikutusta kompen-
soitaessa. Nykyään on kuitenkin

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}\text{C}, 1013\text{hPa}) \times \frac{p}{1013} \times \frac{298}{(273 + t)}$$

jossa

ρ = kaasun (tilavuus)pitoisuus [ppm tai %]
 p = paine [hPa]
 T = lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

Yhtälö 1. Kaasupitoisuuden laskeminen tietyssä lämpötilassa ja paineessa

saatavilla yhä enemmän hiilidioksi-
dimittareita, jotka sekä mittaavat että
kompensoivat lämpötilan muutoksia,
eivätkä ne siksi tarvitse ulkoista
kompensointia.

Taulukossa 1 on esimerkki
hiilidioksidianturin lukeman
muutoksista (kaasu sisältää 1 000
ppm hiilidioksidia SATP olosuhteissa)
lämpötilan ja paineen muuttuessa
ideaalikaasulain mukaisesti.

Kosteaa kaasunäytteen kuivaaminen

Ideaalikaasulain avulla voidaan
ymmärtää, mitä tapahtuu, kun
kaasuseoksen koostumus muuttuu
vakioaineessa, -lämpötilassa ja
-tilavuudessa. Tästä on hyötyä
esimerkiksi arvioitaessa
ilmankosteuden muutoksen
vaikutusta hiilidioksidilukemaan.

Kaasuseoksen molekyylit ovat
samassa tilavuudessa (V on sama
kaikille kaasuille) ja samassa

lämpötilassa. Ideaalikaasulakia voidaan
muokata muotoon:

$$p = (n_{\text{kaasu1}} + n_{\text{kaasu2}} + n_{\text{kaasu3}} + \dots + n_{\text{kaasun}}) \times \frac{RT}{V}$$

jossa

$$n_{\text{kaasu1}} = \text{kaasun 1 ainemäärä [mol]}$$

$$n_{\text{kaasu2}} = \text{kaasun 2 ainemäärä [mol] jne.}$$

ja

$$p = p_{\text{kaasu1}} + p_{\text{kaasu2}} + p_{\text{kaasu3}} + \dots + p_{\text{kaasun}}$$

jossa

$$p = \text{kaasuseoksen kokonaispaine}$$

$$p_{\text{kaasu1}} = \text{kaasun 1 osapaine}$$

$$p_{\text{kaasu2}} = \text{kaasun 2 osapaine jne.}$$

Toista kaavaa kutsutaan Daltonin
osapainelaiksi. Sen mukaan
kaasuseoksen kokonaispaine
on seoksen kaikkien kaasujen
osapaineiden summa.

Tätä tietoa voidaan hyödyntää kun
arvioidaan vesihöyryn vaikutusta
hiilidioksidianturin lukemaan. Kun
vesihöyryä lisätään kuivaan kaasuun
vakioaineessa, -lämpötilassa
ja -tilavuudessa, vesimolekyylit
syrjäyttävät osan kaasuseoksen
muista molekyyleistä. Samaan tapaan
otettaessa kaasunäytettä erittäin
kosteasta ympäristöstä vesimolekyyli-
vähennys kaasunäytteen kuivuessa
muuttaa kaasun koostumusta, mikä
vaikuttaa hiilidioksidimittaukseen.

		Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)									
		-20	-10	0	10	20	25	30	40	50	60
Paine (hPa)	700	814	783	754	728	703	691	680	658	638	618
	800	930	895	862	832	803	790	777	752	729	707
	900	1046	1007	970	936	904	888	874	846	820	795
	1000	1163	1119	1078	1039	1004	987	971	940	911	883
	1013	1178	1133	1092	1053	1017	1000	983	952	923	895
	1100	1279	1230	1185	1143	1104	1086	1068	1034	1002	972
	1200	1395	1342	1293	1247	1205	1185	1165	1128	1093	1060
	1300	1512	1454	1401	1351	1305	1283	1262	1222	1184	1148

Taulukko 1. Hiilidioksidianturin ppm-lukema, kun 1 000 ppm pitoisuuden kaasua mitataan eri lämpötila- ja paineolosuhteissa

Tätä ns. laimennusvaikutusta voidaan arvioida taulukon 2 avulla. Erittäin kostean ympäristön hiilidioksidipitoisuus voidaan laskea, kun kuivattun kaasun hiilidioksidipitoisuus tunnetaan. Sekä mären että kuivan olosuhteen kastepiste (1 013 hPa paineessa) tai vesipitoisuus (ppm) tulee olla tunnettu. Erittäin kostean ympäristön kosteusolosuhde valitaan vaakariviltä ja kuivattun kaasun olosuhde pystyriviltä.

	T _d (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
T _d (°C)	ppm H ₂ O	127	377	1 020	2 580	6 060	12 200	23 200	42 000	73 000	122 000	197 000
-60	11	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	39	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	127	1.0000	0.9997	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30	377		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-20	1 020			1.000	0.998	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.804
-10	2 580				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.880	0.805
0	6 060					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10	12 200						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20	23 200							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30	42 000								1.000	0.969	0.920	0.845
40	73 000									1.000	0.951	0.876
50	122 000										1.000	0.925
60	197 000											1.000

Taulukko 2. Laimentumiskertoimet kaasunäytettä kuivattaessa

Esimerkki: Kaasunäyte otetaan ympäristöstä, jonka kastepiste on 40 °C (73 000 ppm vettä) ympäristöön 20 °C T_d (23 200 ppm vettä). Mitattu 5,263%:n hiilidioksidipitoisuus kastepistelämpötilassa 20 °C tarkoittaa 5,0%:n hiilidioksidipitoisuutta 40 °C T_d ympäristössä (5,263% × 0,950 = 5,00%). Alempi lukema johtuu korkeamman vesihöyrypitoisuuden aiheuttamasta laimennuksesta 40 °C T_d ympäristössä.

Hiilidioksidi ja turvallisuus

Hiilidioksidi on myrkytön ja palamaton kaasu. Altistuminen korkeille pitoisuuksille voi kuitenkin olla kohtalokasta. Kun hiilidioksidikaasua tai -kuivajäätä käytetään, tuotetaan, kuljetetaan tai varastoidaan, hiilidioksidipitoisuudet voivat nousta vaarallisen korkealle tasolle. Koska hiilidioksidi on hajutonta ja väritöntä, vuotoja on mahdoton havaita. Asianmukaisia antureita tarvitaan henkilöstön turvallisuuden takaamiseksi.

Eri hiilidioksiditasojen vaikutus

PITOISUUS	VAIKUTUS
350 - 450 ppm	Tyypillinen ilmakehän pitoisuus
600 - 800 ppm	Hyvä sisäilman laatu
1 000 ppm	Tyydyttävä sisäilman laatu
5 000 ppm	Keskimääräinen altistumisen raja-arvo 8 tunnin aikana
6 000 - 30 000 ppm	Vaara, ainoastaan lyhyt altistuminen
3 - 8%	Nopeutunut hengitystiheys, päänsärky
> 10%	Huonovointisuus, oksentelu, tajuttomuus
> 20%	Nopea tajuttomuus, kuolema

VAISALA

www.vaisala.com

Ota yhteyttä tästä
www.vaisala.com/requestinfo



Saat lisätietoja skannaamalla QR-koodin

Ref. B211228FI-A ©Vaisala 2013

Tämä materiaali on tekijänoikeussuojan alainen ja Vaisala sekä sen yksittäiset yhteistyökumppanit pidättävät kaikki tekijänoikeudet siihen. Kaikki oikeudet pidätetään. Kaikki liikemerkit ja/tai tuotenimet ovat Vaisalan tai sen yksittäisten yhteistyökumppaneiden tavaramerkkejä. Tässä esitteessä olevien tietojen kaiken muutoinen kopiointi, siirto, jakelu tai tallentaminen ilman Vaisalalta aiemmin saatua lupaa on ehdottomasti kielletty. Kaikkia tietoja - myös teknisiä - voidaan muuttaa ilman erillistä ilmoitusta.

