

Hiilidioksidin mittaus inkubaattoreissa - kysymyksiä ja vastauksia



Usein kysytyt kysymykset

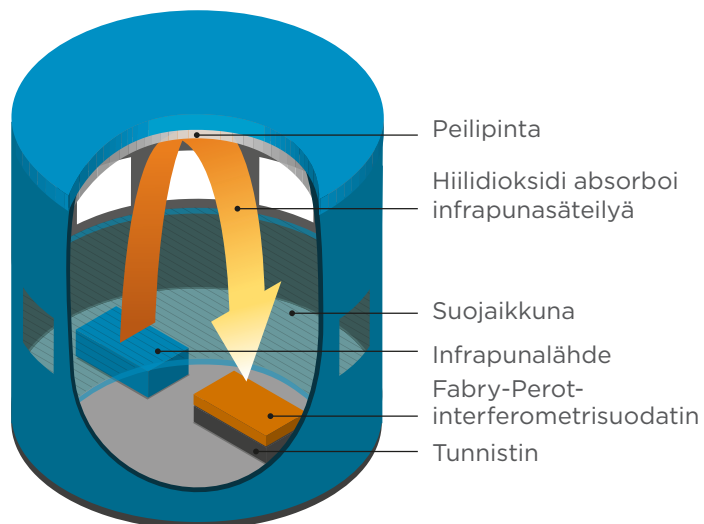
1. Miten CARBOCAP®-teknologiaa ja NDIR-tekniikkaa (ei-dispersiivinen infrapuna) käyttävä, yhden säteen ja kahden aaltopituuden anturi toimii?
2. Miten lämpötila ja paine vaikuttavat hiilidioksidin mittaukseen?
3. Miten lämpötila- ja painevirheet voi korjata, kun käytetään Vaisalan CO₂-tuotteita?
4. Miten inkubaattorien näytteenotossa voi välttää kondensaatiota?
5. Miksi hiilidioksidipitoisuuden lukema on odotettua korkeampi, kun kuivausputkien kanssa käytetään pumppuun perustuvaa näytteenottotapaa?

Tässä asiakirjassa pyritään vastaamaan usein kysytyihin kysymyksiin, jotka liittyvät hiilidioksidimittaukseen ja -mittalaitteisiin.

1. Miten CARBOCAP®-teknologiaa ja NDIR-tekniikkaa (ei-dispersiivinen infrapuna) käyttävä, yhden säteen ja kahden aaltopituuden anturi toimii?

Vaisala CARBOCAP® -anturissa on seuraavat kolme pääasiallista komponenttia: valonlähde, interferometri ja infrapunadetektor. Valonlähde sijoitetaan valaisemaan infrapunadetektoria niin, että valo kulkee määrätyn etäisyyden detektoriin, jossa valon intensiteetti mitataan.

Fabry-Perot-interferometri (FPI) on sijoitettu infrapunadetektorin eteen. FPI on säädettävä suodatin, joka päästää detektoriin vain tietyt valon aallonpituudet.



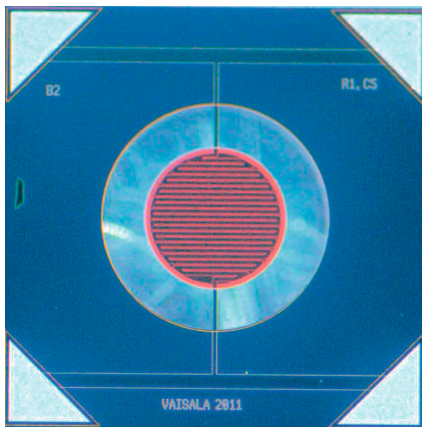
Kaasussa oleva hiilidioksidi absorboi valoa hiilidioksidin absorption aallonpituudella. FPI suodattaa kaikki muut aallonpituudet pois, jotta infrapunatunnistimeen pääsevän valon intensiteetti vaihtelee anturin sisällä olevan hiilidioksidimäärän mukaan.

Hiilidioksidi absorboi tietyt valon aallonpituudet, mutta ei kaikkia. FPI on suunniteltu niin, että se päästää läpi hiilidioksidin absorptioon aallonpituudella (4,26 μm) olevan valon sekä läheisen absorboimattoman aallonpituuden. Katso oikealla olevaa kuvaa.

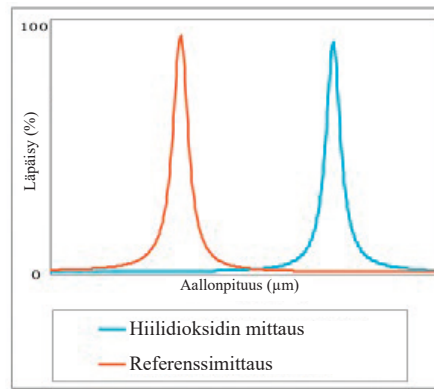
Anturin ollessa toiminnassa FPI:tä säädetään säännöllisesti kahden aallonpituuden välillä. Hiilidioksidin absorptioon aallonpituudella tunnistetun valon intensiteetti pienenee suhteessa optisen polun hiilidioksidipitoisuuteen. Absorboimattomalla aallonpituudella mitatun valon intensiteetti toimii vertailun lähtökohdana.

Hiilidioksidipitoisuuden vaihdella valon intensiteettien erot vaihtelevat. Infrapunavalon intensiteetin ja hiilidioksidin tilavuuspitoisuuden täsmällinen suhde määritetään, kun mittalaite kalibroidaan käyttämällä puhdasta tyyppiä (0 ppm CO_2) ja tunnettua hiilidioksidipitoisuutta.

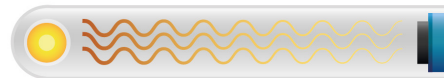
CARBOCAP®-anturissa on yksinkertainen ja vankka rakenne, ja siinä käytetään vain yhtä valonlähdettä ja infrapunadetektoria. Tämä poistaa virheet, jotka johtuvat kahdella säteellä toimivien sensoreiden rakenteissa olevien komponenttien pienistä eroista. CARBOCAP®-anturissa käytetty



Microglow on Väisälän patentoima piipohjainen MEMS-infrapunalaite.



Sekä absorptio että referenssi mitataan CARBOCAP®-anturilla.



FPI säädetään läheiseen absorboimattomaan referenssiaallonpituuteen, jossa infrapunatunnistin mittaa valon kokonaisintensiteetin ja luo vertailupohjan. Kaikki valonlähteen, FPI:n ja infrapunatunnistimen suorituskyvyn muutokset vaikuttavat molempiin mittauksiin, jolloin ne säilyttävät mittauseron ja samalla myös anturin kalibroinnin. Tämä on tärkeää anturin pitkäaikaisen vakauden kannalta.

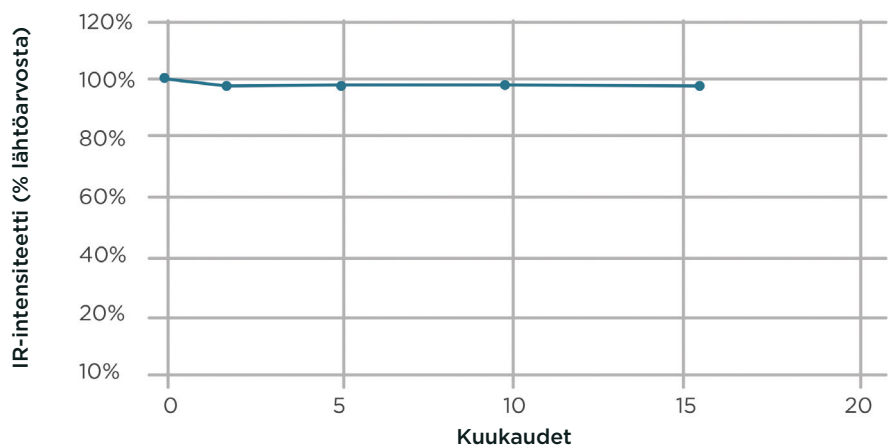
pienikokoinen FPI on valmistettu silikonista eikä siinä ole liikkuvia osia, minkä ansiosta se on paljon mekaanisia "kopterimaisia" rakenteita luotettavampi.

CARBOCAP-anturissa on myös uusimman sukupolven infrapunavalonlähde Microglow. Microglow'n mikrohehkuteknologia ratkaisee monia perinteisiä infrapunalähteitä vaivanneita haasteita. Mikrohehkuteknologian tärkeimmät edut ovat parempi stabiilius, pienempi energiankulutus

ja huomattavasti pidempi käyttöikä. Mikrohehkuvalonlähteen käyttö hehkulampun sijaan parantaa anturin käyttöikää 50 %, ja sen virrankulutus on vain 25 % perinteisiin infrapunalähteisiin verrattuna.

Mikrohehkuvalonlähteen intensiteetti pysyy todella vakaana koko käyttöiän ajan. Teknologian muita etuja ovat nopea vasteaika ja erinomainen valmistettavuus, sillä komponentti voidaan latoa suoraan piirilevylle.

Lue lisää mikrohehkuteknologiasta osoitteessa <https://www.vaisala.com/fi/lp/download-microglow-technology-application-note>.



Microglow-infrapunalahteen erinomainen stabiilius pitkällä aikavälillä.

2. Miten lämpötila ja paine vaikuttavat hiilidioksidin mittaukseen?

Kaikki NDIR-mittalaitteet (ei-dispersiivinen infrapuna) mittaavat molekyyliitiheyden (molekyylien määrä sädepolulla). Useimmat käyttäjät haluavat nähdä tuloksen prosenttiosuutena tilavuudesta, joten hiilidioksidimittalaitteet on säädetty näyttämään molekyylien määrä suhteutettuna tunnettuun hiilidioksidin tilavuuspitoisuuteen.

Kaasut painuvat kokoon, joten niiden molekyyliipitoisuudet muuttuvat ympäröivän ilmanpaineen ja lämpötilan mukaan, mikä tarkoittaa, että tulos riippuu lämpötilasta ja paineesta.

Hiilidioksidin mittausta on kompensoitava, jos mittausolosuhteet eroavat merkittävästi kalibrointiolosuhteista (1013 hPa ja 25 °C). Katso seuraavalla sivulla olevat taulukot 1 ja 2, jotta näet, miten suuri vaikutus kompensoimattomilla paineen ja lämpötilan muutoksilla on ideaalikaasulain mukaan.

Jotta kompensoinnin tarve voidaan ymmärtää, on hyödyllistä tietää perusteet kaasujen käyttäytymisestä. Kaikissa kaasuseoksissa kaasun kokonaispaine on kaikkien kaasujen osapaineiden summa. Tämä on nimeltään Daltonin osapainelaki, ja se esitetään seuraavasti:

$$P_{\text{yhteensä}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

Minkä tahansa kaasun määrän seoksessa voi ilmaista paineena. Esimerkiksi ilman pääasialliset komponentit ovat typpi, happi, hiilidioksidi ja vesihöyry, joten kokonaisilmanpaine koostuu näiden kaasujen osapaineista.

Jokaisen kaasun osapaine on tilavuuspitoisuuden ja järjestelmän kokonaispaineen summa.

Hengittämämme ilma on 78 % typpeä, 21 % happea, 0,9 % argonia ja noin 0,04 % hiilidioksidia. Nämä prosenttiosuudet ovat suunnilleen samat koko ilmakehässä riippumatta siitä, miten korkealla merenpinnan yläpuolella ollaan.

Ilmakehän keskimääräinen paine merenpinnan korkeudella on

noin 1013 hPa, jolloin hiilidioksidin osapaine on 0,04 % 1013 hPa:sta (0,0004*1013) eli 0,405 hPa. Esimerkiksi Coloradon Denverissä, USA:ssa, jossa korkeus merenpinnan tasolta on noin 5 280 jalkaa ja ilmanpaine on noin 834,3 hPa:ta, 0,04 %:n hiilidioksidiosuus tarkoittaa sitä, että osapaine on 0,405 hPa:n sijaan 0,334 hPa:ta.

Tälläkin korkeudella hiilidioksidi on 0,04 % ilmasta, mutta paine on pienempi, ja paineen laskiessa molekyyliitiheys kasvaa. NDIR-anturit mittaavat käytännössä molekyyliitiheyttä, joten kompensointia tarvitaan, kun tarvitaan tilavuusprosentti tai ppmv-arvo. Lämpötilakompensointi on tärkeää myös sen vuoksi, että lämpötilan laskiessa molekyyliitiheys kasvaa.

Suurimpaan osaan Vaisalan hiilidioksidilähettimistä on integroitu lämpötila-anturi, jolloin laite voi kompensoida mittauksen lämpötilaan liittyvät vaihtelut automaattisesti. Lisäksi myös happeen ja suhteelliseen kosteuteen liittyvät kompensoinnit voidaan asettaa, mutta näillä parametreilla on vain pieni vaikutus mittauksen tarkkuuteen.

Taulukko 1. Hiilidioksidilukemien kompensoimattomien painemuutosten vaikutus NDIR-anturiin ideaalikaasulain mukaan.

Mittalaitteet, jotka on kalibroitu 25 °C:ssa ja 1013 hPa:ssa					
Korkeus merenpinnan tasolta		Paine (hPa)	Mitattu pitoisuus (%CO ₂)	Korjattu pitoisuus (%CO ₂)	Ero (%CO ₂)
jalkaa	metriä				
0	0	1013	5.00	5.00	0.00
500	153	992.8	4.90	5.00	0.10
1000	305	979.1	4.83	5.00	0.17
1500	458	958.4	4.73	5.00	0.27
2000	610	937.7	4.63	5.00	0.37
2500	763	923.9	4.56	5.00	0.44
3000	915	903.2	4.46	5.00	0.54
3500	1068	889.4	4.39	5.00	0.61
4000	1220	868.7	4.29	5.00	0.71
4500	1373	854.9	4.22	5.00	0.78
5000	1526	834.3	4.12	5.00	0.88
5500	1679	820.5	4.05	5.00	0.95
6000	1831	806.7	3.98	5.00	1.02

Taulukko 2. Hiilidioksidilukemien kompensoimattomien lämpötilamuutosten vaikutus NDIR-anturiin ideaalikaasulain mukaan.

Mittalaitteet, jotka on kalibroitu 25 °C:ssa ja 1013 hPa:ssa			
Lämpötila (°C)	Mitattu pitoisuus (%CO ₂)	Korjattu pitoisuus (%CO ₂)	Ero (%CO ₂)
25	5.00	5.00	0.00
26	4.98	5.00	0.02
27	4.97	5.00	0.03
28	4.95	5.00	0.05
29	4.93	5.00	0.07
30	4.92	5.00	0.08
31	4.90	5.00	0.10
32	4.89	5.00	0.11
33	4.87	5.00	0.13
34	4.85	5.00	0.15
35	4.84	5.00	0.16
36	4.82	5.00	0.18
37	4.81	5.00	0.19



Vaisala GM70 ja kosteusmittapää sekä hiilidioksidimittapää.

3. Miten lämpötila- ja painevirheet voi korjata, kun käytetään Vaisalan CO₂-tuotteita?

Kalibrointiolosuhteista eroavissa lämpötila- ja paineolosuhteissa tehdyt hiilidioksidimittaukset on ehkä korjattava, jotta voidaan saavuttaa tarvittu tarkkuus. Tilavuusprosenttilukeman yksinkertaisin korjaustapa on ideaalikaasulain mukaisen kaavan käyttö:

$$c_{\text{korjattu}} (\%/ppm) = \frac{c_{\text{mitattu}} (\%/ppm) * (1013 * (t(^{\circ}C) + 273))}{(298K * p(\text{hPa}))}$$

Vaisalan kannettavassa CARBOCAP® GM70 -hiilidioksidimittalaitteessa mittauspisteen olosuhteiden lämpötilan ja paineen voi määrittää helposti GM70:n käyttövalikossa. Kompensoinnit tehdään sisäisesti, ja mittalaite näyttää korjatun mittauksen.

Sisäisessä korjauksessa otetaan huomioon myös todellisten kaasulakien sekä mittalaitteen sähköisten ja optisten komponenttien aiheuttamat riippuvuussuhteet. GM70:n sisäinen korjaus on tarkempi kuin ideaalikaasulain mukainen korjaus. Toinen tapa tehdä lämpötilakompensointi on yhdistää Vaisalan HUMICAP® kosteus- ja lämpötilamittapää HMP77B MI70-näyttölaitteeseen hiilidioksidimittapään lisäksi. Mittapäällä mitatun lämpötilan voi määrittää kompensoimaan hiilidioksidilukeman automaattisesti.

Vaisalan CARBOCAP®-hiilidioksidimittapäässä GMP231 ja GMP251 on sisäinen lämpötilakompensointi, jonka ansiosta mittapää mittaa ja kompensoi lämpötilan automaattisesti. Myös hapteen ja suhteelliseen kosteuteen liittyvät kompensoinnit voidaan määrittää parhaan mahdollisen tarkkuuden varmistamiseksi.

4. Miten inkubaattorien näytteenotossa voi välttää kondensaatiota?

GM70-laitteessa on kaksi eri näytteenottotapaa: diffuusio ja pumppukäyttöinen. Pumpun imuvaihtoehto on suunniteltu näytteenottoon tiloista, joissa diffuusiioon perustuva suora mittaus ei ole mahdollinen.

Jos kaasunäyte otetaan kosteassa ympäristössä, on noudatettava erityistä varovaisuutta, sillä mittapään sisällä olevan NDIR-anturin ja pumppukammion optisia pintoja on suojattava kondensaatiolta.

Inkubaattorien ja olosuhdekammioiden mittaukset ovat haastavia, koska kaasunäyte otetaan yleensä lämpimistä ja kosteista olosuhteista ja tuodaan huoneenlämpöisiin olosuhteisiin, jolloin syntyy kondensaatiota.



Vaisala GM70:ää käytetään inkubaattorien hiilidioksiditason tarkistamiseen.

Kondensaatio putken ja näytejärjestelmän sisällä voidaan estää käyttämällä näyteputkea, joka on valmistettu materiaalista nimeltään Nafion® (saatavilla lisävarusteena, Vaisala osanro 212807GM).



Nafion® -putket, Vaisalan osanro 212807GM.

Putkien ydinteknologiana on Nafion®¹, joka on erittäin selektiivinen veden poistossa. Vesi kulkee kalvoseinän läpi ja höyrystyy ympäröivään ilmaan. Tätä prosessia kutsutaan pervaporaatioksi. Nafion® poistaa vettä absorptiolla, joka tapahtuu ensimmäisen tason kineettisenä reaktiona. Kuivaussovelluksissa kosteudensiirrin siirtää vesihöyryn märästä kaasuvirrasta ympäröivään ilmaan. Kuivaus on valmis, kun näytteen kosteustaso on sama kuin ympäristön kosteustaso. Kuivaus jatkuu ensimmäisen tason kineettisenä reaktiona, joten tämä taso saatetaan saavuttaa erittäin nopeasti, yleensä noin 100-200 millisekunnin kuluessa. Tämä käyttäytyminen tekee putkista ideaaliset sovelluksiin, joissa erittäin kostea näyte tuodaan huoneenlämpöön. Kaasunäytteen kosteutta voi vähentää lyhyilläkin putkilla. Lue lisätietoja putkista osoitteesta www.permapure.com.

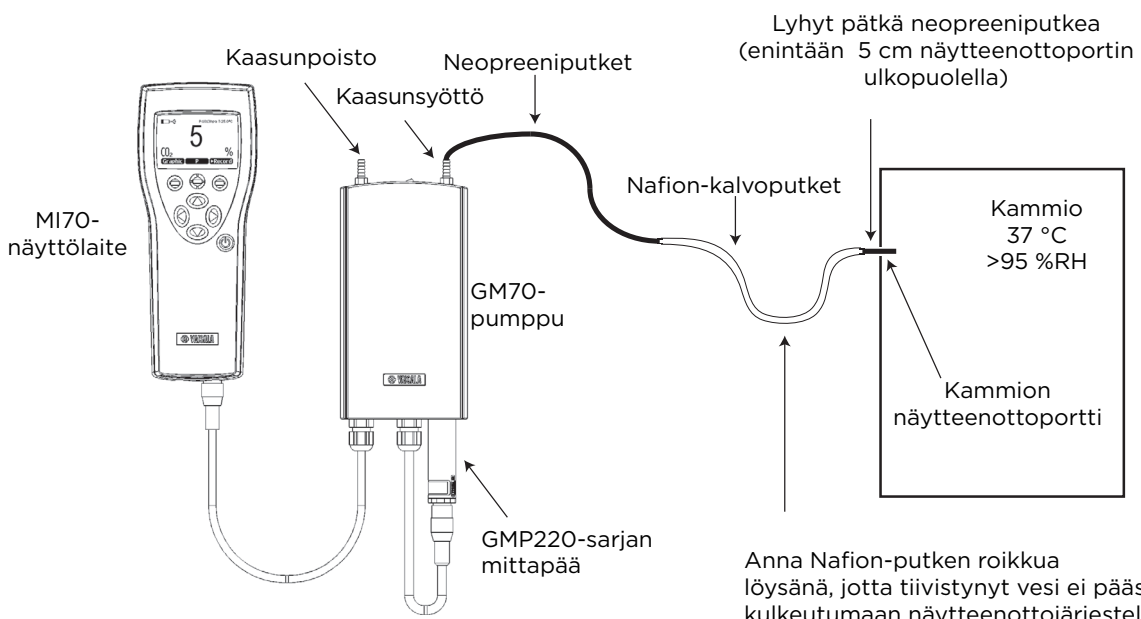
¹ Nafion® on Dupontin kopolymeeri, joka muodostuu tetrafluorietaanistä (Teflon) ja perfluori-3,6-dioksi-4-metyyli-7-okteeni-sulfonihaposta.

Kun inkubaattorista otetaan näyte GM70-pumpulla, käytä Nafion®-putkia näytejärjestelmään syntyvän kosteuden kondensaation estämiseksi. Suosittelemme seuraavia ohjeita:

- Inkubaattorin ja ympäröivien olosuhteiden välisessä siirtymäpisteessä kannattaa olla Nafion®-näyteputket. 20 cm:n Nafion® riittää siirtämään vesihöyryn poimitusta näytteestä ympäristöön. Näyteputkien loppuosa voi olla neopreenia tai muuta materiaalia. Yhdistä putket käyttämällä letkuventtiilin heloja tai muita tapoja, jotka estävät ympäröivän ilman pääsyn näytteeseen. Pidä kokonaisnäytelinja mahdollisimman lyhyenä.

- Jos näytteenotto tehdään inkubaattorin oven kautta, aseta Nafion®-putki inkubaattoriin ja sulje inkubaattorin ovi kevyesti niin, että oven tiiviste ei vahingoita putkea ja sulkeutuu hyvin sen ympärille.
- Kun kammioista otetaan kaasunäytettä, muutama senttimetri näytelinjasta tulisi sijoittaa kammion sisälle. Jos näytteenottokammiossa on kondensaatoriski, varo, ettei kondensaatio pääse putkeen.
- Varmistaaksesi, että kondensaatio ei ole saavuttanut mittapäätä, voit vetää hiilidioksidimittapään ulos GM70-pumpusta. Kun laitat mittapään takaisin paikalleen, älä työnnä mittapäätä kokonaan sisään. Yhdistä sen sijaan kaksi O-rengasta mittapään sileään pintaan saavuttaaksesi tiiviin liitännän.

- Jos näytteenotto tehdään rei'än tai toisen inkubaattorin portin läpi, laita Nafion®-putki inkubaattoriin ja tiivistä se.
- Jos näytteenotto tehdään letkuventtiilin helan / näytteenottoportin kautta, käytä hieman neopreeniputkea yhdistääksesi Nafion-putken helan inkubaattorin helaan. Käytä neopreenia liittimenä, joka pitää Nafion®-putken mahdollisimman lähellä letkuventtiiliä. Näytekaasun ei kannata antaa siirtyä neopreenin läpi, sillä neopreeniputken sisällä tapahtuu todennäköisesti kondensaatiota.
- Pidä varmuuden vuoksi GM70-pumppu kammion näytteenottoportin tason yläpuolella. Jos näytelinjassa syntyy kondensaatiota, tämä estää nestemäistä vettä vahingoittamasta hiilidioksidianturia.



Näytteenottojärjestelmä ja Nafion®-kalvoputki.

5. Miksi hiilidioksidipitoisuuden lukema on odotettua korkeampi, kun kuivausputkien kanssa käytetään pumppuun perustuvaa näytteenottotapaa?

Kun näytteen kuivauksessa käytetään Nafion®-putkia, kuivan näytteen hiilidioksidipitoisuus on hieman kosteaa näytettä korkeampi.

Tämä johtuu laimennusilmiöstä. Hiilidioksiditiheys laimenee inkubaattorissa sen tilavuuden verran, jonka vesihöyry vie. Jos näytteestä poistetaan vesihöyry, muiden kaasujen, mukaan lukien hiilidioksidi, osuus kasvaa sen mukaisesti.

Taulukko 3 sisältää kaasun pitoisuuden laimennuskertoimet, kun kaasunäytettä kuivataan. Inkubaattorin kaasunäytteen

kastepiste (1013 hPa) valitaan pystyriiviltä, ja mittauspisteen kaasunäytteen kastenäyte valitaan vaakariiviltä. Mittauspisteen kaasunäytteen kastepisteen voi määrittää kosteusmittapäällä (HMP75B, HMP76B tai HMP77B).

Taulukko 3. Laimentumiskertoimet

Td (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
-60	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	1.0000	0.9998	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.928	0.879	0.804
-20			1.000	0.998	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.804
-10				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.881	0.806
0					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30								1.000	0.969	0.920	0.845
40									1.000	0.951	0.876
50										1.000	0.925
60											1.000

Esimerkki: Kaasunäyte otetaan 40 °C:n (Td) ympäristöstä ja viedään 10 °C:n (Td) ympäristöön, jossa mitattu kaasupitoisuus on 5,32 %. 40 °C:n (Td) ympäristössä tämä vastaa 5 % hiilidioksidia ($5,32 \% \times 0,939 = 5,00 \%$), sillä veden suurempi osuus laimensi näytteen.

VAISALA

Ota meihin yhteyttä osoitteessa
www.vaisala.fi/contactus



Skannaamalla koodin saat lisätietoja aiheesta

Viite B210826FI-D ©Vaisala 2022

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

www.vaisala.fi