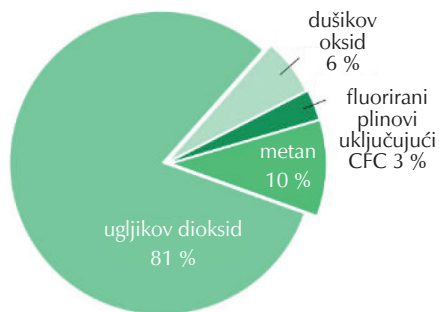


Mjerenje CO₂ u atmosferi

Pripremio: N. Bolf

Ugljikov dioksid i drugi plinovi koji se sastoje od dva ili više različitih atoma apsorbiraju infracrveno (IC) zračenje na karakterističan način. Vodena para, metan, CO₂ i CO mogu se mjeriti IC sensorima, stoga se za analizatore CO₂ najčešće rabe IC detektori. Karakterizira ih stabilnost i visoka selektivnost za CO₂, dug vijek trajanja i, budući da plin nije u kontaktu sa senzorom, otpornost na visoku vlažnost, prašinu, prljavštinu i druge teške uvjete. Poznavanje koncentracije CO₂ u atmosferi važno je pri procjeni globalnog zagrijavanja. Instrumenti koji se upotrebljavaju za mjerenje koncentracija ugljikova dioksida u atmosferi moraju imati točnost do 1 ppm ili čak bolju.



Slika 1 – Emisija stakleničkih plinova

U prošlosti se koncentracija CO₂ određivala laboratorijskim analizama uzoraka iz zraka uzetih u blizini Zemljine površine. Kao standardi uzimale su se smjese CO₂ i N₂, a ostvarena točnost bila je ± 0,2 ppm. Osim laboratorijskih analiza uzetih uzoraka, kontinuirano mjerenje CO₂ u industriji provodi se prijenosnim ili instaliranim nedisperzivnim infracrvenim (NDIR) analizatorima CO₂. Takvi prijenosni uređaji uzimaju uzorak kombinacijom difuzije i konvekcije u glavi senzora, bez potrebe za usisom i filtriranjem.

Za vrlo točna mjerenja u atmosferi primjenjuju se pulsirajući laserski detektori (laserski inducirani diferencijalni apsorpcijski radar – LIDAR). Oni rade na valnim duljinama nešto većim od 2 μm na kojima se CO₂ dobro apsorbira, a apsorpcijska područja vodene pare i CO₂ minimalno preklapaju.

Uporaba senzora koji zahtijevaju uzorkovanje uglavnom je ograničena na industrijsku primjenu. Za praćenje koncentracije CO₂ u atmosferi 2004. godine formirana je mreža za promatranje ukupne mase ugljika po jedinici površine (engl. *Total carbon column observing network* – TCCON), a 2015. činile su je 23 nadzorne postaje širom svijeta. TCCON je globalna mreža postaja koje mjere količine CO₂, CO, CH₄, N₂O, HF i drugih plinova u atmosferi primjenom spektrofotometra temeljenih na Fourierovoj transformaciji koji bilježe sunčev spekter u NI (engl. *near-infrared*) području. Cilj TCCON-a je istražiti tok ugljika između atmosfere, kopna i oceana (tzv. ciklus ugljika). To se postiže mjerenjem atmosferske mase ugljika (odnosno udjela u zraku). Mjerenja TCCON-a pomažu znanstvenicima tijekom istraživanja ciklusa ugljika, kao i urbane emisije stakleničkih plinova. TCCON također pomaže u mjerenjima koja se izvode u zrakoplovima, bespilotnim ili satelitskim sustavima usporedbenim mjerenjima iznad mjesta na kojima se nalaze postaje TCCON-a.

Mjerenja CO₂ iz zemljine orbite

Većina tehnika se oslanja na promatranje IC spektra koji se reflektira od Zemljine površine. Promjene u albedu površine i kutu gledanja mogu utjecati na mjerenja. Oblaci također ometaju mjerenja, tako da proračuni uključuju i kompenzaciju.

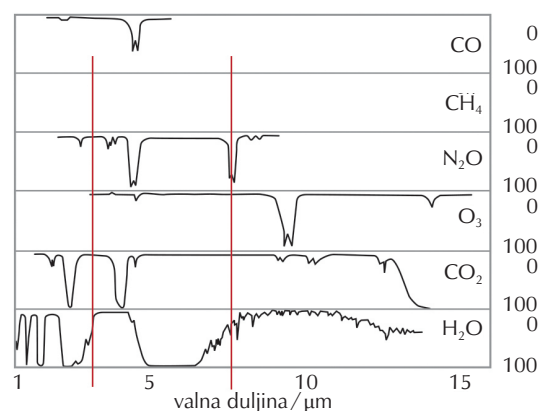
Prva satelitska misija bila je interferometrijski monitor za stakleničke plinove (engl. *interferometric monitor for greenhouse gasses* – IMG) na satelitu ADEOS I 1996. godine. Nakon toga mjerenja visoke preciznosti (1 ppm) provedena su dvama satelitima (GOSAT i OCO-2).

Dva desetljeća napora NASA-e s LIDAR-om i razvoj “dvomikronskih” pretvornika rezultirali su IPDA (engl. *integrated path differential absorption*) LIDAR-om s visokoenergetskim dvopulsnim laserima. Laserski impulsi se ugađaju na valnu duljinu blizu 2,05 mikrona, što je idealno za mjerenje CO₂. Odvojeni za 150 μs, prvi impuls je ugođen na valnu duljinu visoke apsorpcije CO₂, a drugi na valnu duljinu niske apsorpcije. Usmjeravanjem impulsa na čvrstu metu razlika između povratnih signala korelira s prosječnom količinom CO₂ između instrumenta i mete.

NASA je nedavno pokrenula *Orbiting Carbon Observatory-2* s tzv. pasivnim nadzorom, pri čemu se CO₂ mjeri promatranjem učinka plina na sunčevu svjetlost. Kod prolaska sunčeve svjetlosti kroz atmosferu CO₂ i druge molekule apsorbiraju svjetlo na različitim frekvencijama. Obrazac apsorpcije je jedinstven, slično otisku prsta. Intenzitet reflektirane sunčeve svjetlosti sa Zemljine površine koji su djelomično apsorbirali CO₂ i O₂ bilježi se na satelitu i proračunava količina CO₂ na putu između satelita i površine. Mjerenja na različitim visinama omogućuju praćenje globalne distribucije CO₂ i njegove promjene s vremenom, slika 2.

Ključno ograničenje pasivnih mjerenja je da mogu raditi samo na dnevnom svjetlu. Noćno mjerenje važno je zbog utjecaja biljnog svijeta tijekom noći i zimi. Također, postoji varijacija na visokim geografskim širinama, gdje zimi uopće nema sunčeve svjetlosti.

Za razliku od pasivnih sustava nadzora koji rade s reflektiranim sunčevim svjetlom, tim ACES-a (*ASCENDS – CarbonHawk Experiment Simulator*) mjeri aktivno slanjem laserskih zraka kontinuirano na Zemlju. Sustav je instaliran na zrakoplovu koji leti na visini nešto iznad 9000 metara. Ima pet lasera koji se mogu usredotočiti na površinu oceana primjenom LIDAR-a za mjerenje CO₂. ACES je “aktivan” tako da njegova pulsirajuća LIDAR zraka koncentrira svu lasersku energiju u vrlo kratke impulse trajanja oko milijuntnog dijela sekunde. Visoka snaga lasera na dobro kontroliranim frekvencijama potrebna je za precizno mjerenje CO₂ bolje od 1,0 ppmv (za današnjih 410 ppmv, što je ± 0,24 %).



Slika 2 – Valna duljina koja se često uzima pri mjerenju CO₂ nešto je veća od 2 μm na kojoj CO₂ jako, a H₂O vrlo slabo apsorbira

Izvori

- <http://www.tccon.caltech.edu/>
- <https://www.controlglobal.com/articles/2019/measuring-atmospheric-carbon-dioxide/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Area_density#Column_density
- <https://www.nasa.gov/larc/new-tool-for-measuring-carbon-dioxide-in-the-atmosphere-shows-promise>