

Okoljski senzori in umerjanje

Andraž Janežič, Gaber Begeš

Laboratorij za metrologijo in kakovost, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
E-pošta: aj2753@student.uni-lj.si

Environmental sensors and calibration

Abstract. This paper includes some of the most used sensors for environment measurements except temperature sensor where technical and calibration properties are well known. We mainly concentrated in sensors for measurement carbon dioxide, nitrogen oxide, dust particles, carbon monoxide and presence of radon in air. In the paper is described how sensors work and which principles do they use for measurements. It is also included calibration methods and standards requirements for different sensors and their measurement methods.

1 Uvod

V zadnjih nekaj letih, vedno več pozornosti posvečamo okoljskim spremembam, ki so nastale zaradi človeških aktivnosti. Da pa te spremembe lahko ovrednotimo (jim pripišemo številke), so ključne meritve. Najpogosteje omenjamo globalno segrevanje ozračja, ki je neposredno povezano z izkoriščanjem naravnih virov, kot so fosilna goriva. Poleg segrevanja ozračja pa dostikrat pozabimo tudi na druge dejavnike, ki prav tako vplivajo na kakovost življenja ljudi, živali in rastlin na zemlji.

Na naslednjih nekaj straneh, se bomo posvetili meritvam CO₂, NO_x, prašnih delcev, radona in NO spojim. [1]

2 Meritve ogljikovega dioksida v zraku

Onesnaževalci zraka so snovi, ki škodljivo vplivajo na človeka in okolje. Mednje sodijo plini, kot so dušikovi in žvepovi oksidi, hlapi ogljikovodikov, amoniak in prizemni ozon. Med onesnaževalce štejemo tudi trde delce, ki lebdi v zraku in radon kateri nastane iz razpadov radioaktivnih snovi.

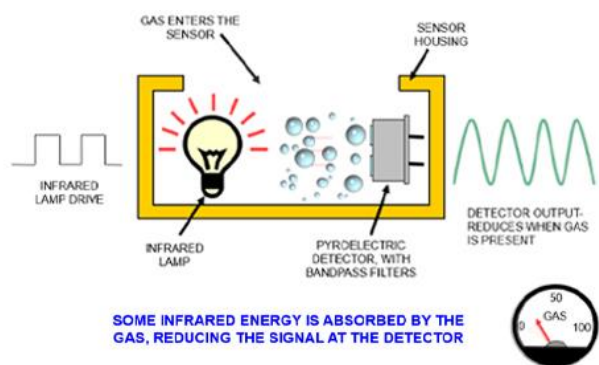
Pri učinku tople grede in segrevanja ozračja največ pozornosti posvečamo izpustom ogljikovega dioksida (CO₂), ki nastaja pri kurjenju lesa in fosilnih goriv. CO₂ je plin, ki je brezbarven, brezvonja in brez okusa. Poleg negativnih ima tudi pozitivne vplive, saj je nujno potreben za proces fotosinteze. V celotni sestavi zraka, CO₂ zavzema zelo majhen delež in sicer 0,04 %. [2]

2.1 Merjenje ogljikovega dioksida

Meritve CO₂ v zraku so pomembne iz vidika spremljanja izpustov CO₂, koncentracijo v zraku in kakovosti notranjega in zunanjega zraka. CO₂ je tipično merjen z nedisperznim infrardečim absorpcijskim analizatorjem (Ang. Nondispersive infrared NDRI) ali

pa z elektro-kemijskimi procesi. Izboljšani NDRI merilniki ogljikovega dioksida so najpogostejši način merjenja koncentracije CO₂ v zraku.

NDRI senzori temeljijo na absorpciji infrardeče svetlobe v specifični valovni dolžini. Merilniki vsebujejo vir infrardeče svetlobe, svetlobno cev, pasovni filter in detektor. Zaznavanje željenega plina se določi z izbiro pasovnega filtra. Za zaznavanje CO₂ je napogosteje uporabljen filter z valovno dolžino 4.26 μm. Količina absorbirane svetlobe v svetlobni cevi, je pretvorjena v električni signal, ki rezultat predstavi kot delcev na milijon (ppm- parts per milion), ali pa kot procentualni delež (%). Delovanje sensorja je prikazano na sliki 1. [2]



Slika 1: Delovanje CO₂ sensorja

2.2 Kalibriranje senzorjev ogljikovega dioksida

Vsi merilniki CO₂ morajo biti kalibrirani. Na voljo imamo dve izvedbi kalibracij, uporabimo lahko poznani plin ali pa avtomatsko časovno kalibracijo. Najbolj uporabljena metoda je NDRI metoda. Čez čas vir infrardeče svetlobe in detektor postajata šibkejša, kar povzroča manjše število zaznanih molekul CO₂. Ta pojav imenujemo lezenje (Ang. Drift). Za zaznavanje lezenja, med kalibracijo senzor izpostavimo znanemu plinu, ki ga dovajamo v kalibracijsko komoro. Iz izmerjenih podatkov izračunamo povprečje. Razlika med izmerjenim povprečjem in tovarniško vrednostjo se imenuje odstopanje. To odstopanje je nato avtomatsko dodano vsem izmerjenim vrednostim.

Naslednja možnost kalibracije CO₂ merilnikov je kalibracija z uporabo dušika. Ta metoda velja za najbolj učinkovito. Problem pri kalibraciji z dušikom predstavlja cena. Kalibracijska komora, jeklenka čistega dušika in kalibracijska programska oprema stanejo kar nekaj denarja.

Brez posluževanja zahtev, pa točnost kalibracije ne more biti zagotovljena.

Kjer pa je točnost kalibracije manj pomembna od cene, pa se poslužujemo kalibracije s svežim zrakom. Pri kalibraciji ne merimo od 0 ppm naprej, ampak začnemo pri 400 ppm. Kalibracija s svežim zrakom je naprimernejša za senzorje, ki so nenehno izpostavljeni nihanju koncentracije CO₂ v zraku. [3,4]

2.3 Opis standarda SIST EN 12039:2020

Ta dokument določa temeljno strukturo in najpomembnejše značilnosti delovanja avtomatskih sistemov za merjenje ogljikovega monoksida (CO), ogljikovega dioksida (CO₂) in kisika (O₂), ki se uporabljajo pri emisijah nepremičnih virov. Ta dokument opisuje metode in opremo za merjenje koncentracij teh plinov. Metoda omogoča neprekinjen nadzor s trajno vgrajenimi sistemi za merjenje emisij CO, CO₂ in O₂. Ta mednarodni standard opisuje ekstraktivne sisteme ter sisteme in situ (ne ekstraktivne) v povezavi z analizatorji, ki delujejo na primer z naslednjimi načeli: – infrardeča absorpcija (CO in CO₂); – paramagnetizem (O₂); – cirkonijev oksid (O₂); – elektrokemična celica (O₂); – nastavljiva laserska spektroskopija (TLS) (CO, CO₂ in O₂). Uporabiti je mogoče tudi druge instrumentalne metode, če izpolnjujejo minimalne zahteve, predlagane v tem dokumentu. V tej aplikaciji se za uporabo merilnih območij, opisanih v dodatku G, uspešno uporabljajo avtomatizirani merilni sistemi (AMS), ki temeljijo na zgornjih načelih. [8]

3 Meritve NO_x v zraku

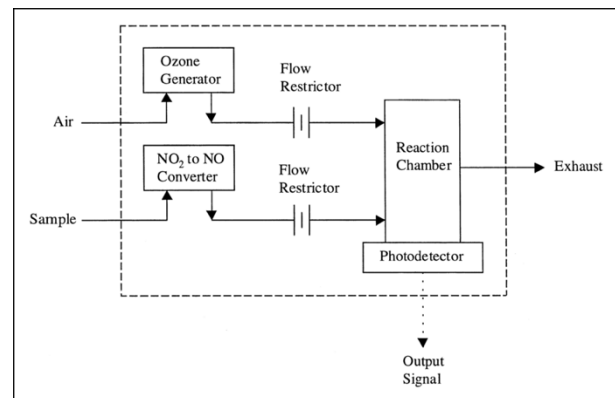
NO_x je skupno ime za dušikove okside, ki so najbolj zastopan onesnaževalec zraka. Dušikov dioksid je rdečkasto-rjav strupen plin, ki je težji od zraka. Dušikovi oksidi v največji meri nastanejo s sežiganjem goriv. Največji proizvajalec NO_x je promet oz. transport, sledijo viri za proizvodnjo električne energije (termo elektrarne). Pri virih NO_x pa nismo pozabiti na naftne rafinerije, železarsko in prehrabeno industrijo. NO_x spojine pa lahko nastanejo tudi naravno, te predstavljajo približno 1 %. Pod naravne vire štejemo udare strel, nekatere biološke procese v rastlinah, zemlji in morju. Dušikovi oksidi nastajajo pri kurjenju fosilnih goriv (premog, nafta, dizel, bencin, zemeljski plin), kjer pride do reakcije pri visokih temperaturah med dušikom in kisikom.

Posledice, ki nastanejo pri povečanih koncentracijah NO_x so: smog oz. prizemelni ozon, kisli dež, slabša kvaliteta vode, slabša vidljivost.

3.1 Meritve NO_x

Rezultate meritev dušikovih oksidov podajamo v µg/m³. Poznamo več načinov merjenja. Najpogosteje uporabljena metoda je kimilumistenčna metoda. Temelji

na reakciji med dušikovim monoksidom in ozonom. Pri meritvah NO_x je zrak razdeljen v dve poti. V prvi poti je NO₂ pretvorjen v NO s pomočjo pretvornika. Nato pretvorjen NO₂ skupaj z NO, ki je že prisoten v zraku reagira z ozonom, ki ga dovajamo iz zunanega vira. Ta zmes generira aktiven NO₂. Med pretvarjanjem nastane svetlobna energije specifične valovne dolžine, ki je sorazmerna s količino NO in NO₂ v zraku. V drugem delu poti je zrak direktno izpostavljen ozonu (brez poti skozi pretvornik), svetlobna energije ki nastane je sorazmerna s količino NO v zraku. Moč svetlobe je merjena fotometrično iz obeh poti. Signal, ki ga dobimo iz drugega dela poti predstavlja delež NO, medtem ko razlika električnega signala med prvo in drugo potjo predstavlja delež NO₂ v zraku. Delovanje je prikazano na sliki 2. [5]



Slika 2: Merjenje NO_x v zraku

Naslednji način merjenja je spektroskopija z oslABLJENIM faznim zanikom. Deluje na principu optične absorpcije, ki direktno meri NO₂. Meritev se izvede v temperaturno nadzorovani optični celici, ki vsebuje močno odbojna ogledala. Z virom UV svetlobe valovne dolžine 450 nm in vakumske fotodiode zaznavamo koncentracijo NO₂. Poleg opisanih poznamo tudi polprevodniško metodo in elektrokemično metodo zaznavanja NO_x. [5]

3.2 Kalibracije NO_x merilnikov

Kalibriranje NO_x senzorjev poteka na principu primerjalne kalibracije. Željeni merilnik primerjamo z referenčnim in na mu na ta način dodelimo parametre. Kalibracije lahko potekajo v laboratoriju pod nadzorovanimi pogoji in generatorjem NO_x, ali pa na terenu, kjer se poleg odstoječega namesti referenčni merilnik. [6]

V Evropski uniji je največji povdarek pri uprabi NO_x senzorjev v avtomobilski industriji.

Tehnični predpisi poveljujejo kako in za koliko morajo proizvajalci osebnih in tovornih vozil zmanjšati izpuste dušikovih oksidov v ozračje. Največji delež IZPUSTOV predstavljajo vozila na dizelsko gorivo, pri katere med delovanjem nastajajo NO in NO₂ spojine. Predpisi predvidevajo uporabo katalizatorjev in večkratno

merjenje koncentracije NOx spojin. Količina NOx se meri pred vstopom v katalizator in pred izpustom v ozračje.

3.3 Opis standarda SIST EN 14211:2012

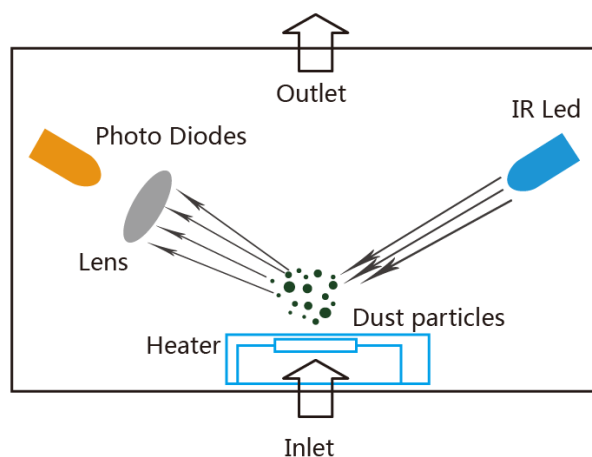
Ta evropski standard določa metodo stalnega merjenja za določitev koncentracij dušikovega dioksida in dušikovega monoksida v zunanjem zraku na podlagi kemoluminiscenčnega merilnega principa. Ta standard opisuje lastnosti delovanja in vzpostavlja ustrezna minimalna merila, ki so potrebna za izbiro primerne kemoluminiscenčnega analizatorja s homologacijskimi preizkusi. Vključuje tudi oceno ustreznosti analizatorja za uporabo na specifičnem fiksnem mestu, da se izpolnijo zahteve o kakovosti podatkov, kot je opredeljeno v Prilogi I Direktive 2008/50/EC [1], ter zahteve med vzorčenjem, kalibriranjem in zagotavljanjem kakovosti za uporabo. Ta metoda velja za določitev koncentracije dušikovega dioksida v zunanjem zraku do vrednosti 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ta razpon koncentracije predstavlja razpon certificiranja za NO2 za homologacijski preizkus. Ta metoda velja za določitev koncentracije dušikovega monoksida v zunanjem zraku do vrednosti 1.200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ta metoda pokriva določitev koncentracij dušikovega dioksida in dušikovega monoksida v zunanjem zraku na področjih, ki so uvrščena med podeželska območja, območja v urbanem okolju, prometna območja in lokacije, na katere vplivajo industrijski viri. Rezultati so izraženi v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pri 20 °C in 101,3 kPa). [9]

4 Meritve trdih delcev v zraku

Trdi delci so izraz za prah, ki je prisoten v zraku. V večini delcev je glavna komponenta ogljik, na katerega se lahko vežejo tudi druge spojine. V zadnjem času se napogosteje izvajajo meritve delcev premera 10 in 2,5 μm . Večji delci se v atmosferi zadržujejo do nekaj ur, medtem ko manjši delci lahko ostanejo v zraku do nekaj tednov. Poznamo delce naravnega izvora (gozdni požari, vulkanski pepel) in umetnega izvora (proizvodnja energije, promet, mala kurišča,..).

4.1 Meritve trdih delcev

Poznamo dva glavna merilnika delcev. Ločita se po tem, kakšne velikosti delcev zaznavata (10 oz. 2,5 μm). Merilniki pršnih delcev delujejo na principu sipanja svetlobe. Trdi delci razpršijo svetlobo in povzročijo njeno sipanje ter absorbirajo nekaj svetlobne energije. Na ta način dobimo delež svetlobe, ki je prešel trde delce. Večja kot je koncentracija trdih delcev, manj svetlobe prispe do optičnega senzorja. Glede na uporabljen algoritem in kalibracijsko metodo, lahko dobimo natančno število trdih delcev v zraku. Merilniki trdih delcev vsebujejo vir infrardeče svetlobe in fototranzistor, ki zaznava delež prejete svetlobe. Optično merjenje omogoča zaznavo zelo majhnih delcev v zraku, kot na primer cigaretni dim. Princip merjenja je prikazan na sliki 4. [7]



Slika 3:Princip merjenja trdih delcev v zraku

4.2 Kalibriranje merilnikov trdih delcev

Tudi pri merilnikih trdih delcev se uporablja primerjalna metoda kalibracije. V nadzorovano komoro namestimo referenčni merilnik in merilnik na katerem želimo izvesti kalibracijo. V komori moramo imeti predpisano temperaturo in relativno vlažnost. Kot vir prašnih delcev lahko vzamemo npr. Moko, ki jo namestimo na zvočnik. Zvočnik priključimo na frekvenčni vir, ki z vibracijami poskrbi da se moka dvigne v zrak. Na vrhu komore imamo nameščen vir pare, ki skrbi, da vsi delci, ki so večji od 2,5 μm neostanejo v zraku.

Po opravljenih meritvah primerjamo rezultate referenčnega in kalibriranega merilnika ter mu na ta način določimo negotovost in lezenje.

4.3 Kratek opis standarda SIST EN 12341:2014

V Evropski uniji in tudi Sloveniji imamo standard, ki določa standardno gravimetrijsko metodo za določanje masne koncentracije lebdečih delcev velikosti 10 in 2,5 μm . Ta standard je SIST EN 12341:2014.

En 12341 opisuje standardno gravimetrijsko metodo za določanje masne koncentracije frakcije lebdečih delcev PM 10 ali Pm2,5 v zunanjem zraku z vzorčenjem snovi v filtrih in tehtanjem z uravnoteženjem. Merjenje se izvede z vzorčniki z dovodnimi oblikami navedenih v dodatku A, ki deluje pri nazivnem pretoku $2,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, v nazivnem obdobju vzorčenja 24 ur. Meritve so izražene v $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kjer je prostornina zraka enaki prostornini pri okoljskih pogojih poleg dovoda v času vzorčenja. Razpon uporabe tega standarda je približno 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (tj. Omejitev zaznavanja standardne merilne metode, izražene kot negotove) do 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM 10 in 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM 2,5 v zunanjem zraku. Vendar pa ta standard ne izključuje uporabe vzorčnikov z enim filtrom. [10]

5 Meritve koncentracije CO v zraku

Ogljikov monoksid oz. ogljikov oksid je brezbarven, brezvonja, prozoren, gorljiv in zelo strupen plin, ki ga označimo z CO. Je glavni produkt nepopolnega zgorevanja ogljikovih spojin. Je redkejši od zraka in se

zadržuje v višjih predelih stavb. Ob zastrupitvi povzroča izgubo zavesti in pri večjih količinah tudi smrt. Zaradi njegovih lastnost je ključnega pomena hitro in zanesljivo zaznavanje plina v prostoru, še posebno tam, kjer uporabljamo kurišča.

5.1 Zaznavanje in merjenje CO

Indikatorje CO poznamo že nekaj časa. Prva izvedba je temeljila na kemijski reakciji, kjer se je bela blazinica ob prisotnosti ogljikovega monoksida obarvala rjavaksto oz. črno. Te vrste detektorji nam dajo samo vizualno opozorilo. Kasneje so se razvili detektorji z zvočnim opozorilom.

Detektorji CO niso tako enostavne izvedbe kot javjalniki dima, ampak delujejo na principu koncentracije skozi čas. Npr. Pri koncentraciji 100 PPM se alarem ne bo sprožil več deset minut, medtem ko se bo pri koncentraciji 400 PPM sprožil v roku nekaj minut. Ta časovna zakasnitev je namenjena preprečevanju lažnih alarmov (povečana koncentracija trdih delcev v zraku, cigaretni dim, itd.).

Za zaznavanje CO v zraku, imamo na voljo štiri različne izvedbe, ki se ločujejo po ceni, učinkovitosti in času zaznave.

Prvi način je prej omenjeni optično-kemični, kjer bela blazinica spremeni barvo ob prisotnosti CO.

Naslednji tip merjenja je biomimetični senzor. Glede na količino CO v okoliškem zraku, se mu spremeni barva. Količino zaznavamo preko fototranzistorja. Na eni strani imamo vir infrardeče svetlobe, sledi plast, ki potemni ob prisotnosti CO in na drugi strani fototranzistor, ki zaznava delež svetlobe.

Poznamo tudi elektrokemijski način zaznavanja CO. Uporablja celico, ki generira električni tok, ko je v okolju prisoten plin. Generator toka je močno povezan s koncentracijo plina v zraku.

5.2 Kalibriranje CO merilnikov

Ena izmed najučinkovitejših metod kalibracije je z uporabo čistega dušika. Namen je čim bolj se približati pogojem, pod katerimi je bil predhodno kalibriran. Kalibracija je potrebna, če se bo raven CO gibala med 0 in 400 PPM. Za izvedbo potrebujemo jeklenko čistega dušika, programsko opremo za kalibracijo in zaprto kalibracijsko komoro ki zagotavlja natančnost kalibracije. Ta postopek je drag.

Naslednja cenovno ugodnejša metoda je kalibracija z uporabo svežega zraka. Posledica je, da nemoremo doseči največje točnosti. Kalibracije z uporabo svežega zraka so najprimernejše za merilnike ki so nameščeni v rastlinjakih ali v proizvodnjah, kjer so senzorji izpostavljeni različnim koncentracijam CO v zraku.

Poznamo tudi samodejno izhodiščno kalibracijo (automatic baseline calibration ABC). Ta metoda se uporablja pri senzorjih, ki so nameščeni v notranjih prostorih. Meri se kakovost notranjega zraka, kot

referenčna vrednost. Ko prostor ni zaseden, mora raven CO pasti na okoli 400 PPM (približna vrednost CO v zunanjem zraku). Programska oprema shrani najnižjo vrednost, ki je bila zabeležena v nekaj dneh meritev in odstopanje od 400 PPM lahko določimo. [11]

5.3 Kratek opis standarda SIST EN 14626:2012

Ta evropski standard določa metodo stalnega merjenja za določitev koncentracije ogljikovega monoksida v zunanjem zraku na podlagi principa nedisperzne infrardeče spektrometrije. Ta standard opisuje lastnosti delovanja in vzpostavlja ustrezna minimalna merila, potrebna za izbiro ustreznega nedisperznega infrardečega spektroskopskega analizatorja s homologacijskimi preizkusi. Vključuje tudi oceno ustreznosti analizatorja za uporabo na specifičnem fiksnem mestu, da se izpolnijo zahteve o kakovosti podatkov, kot je opredeljeno v Prilogi I Direktive 2008/50/ES, ter zahteve med vzorčenjem, kalibriranjem in zagotavljanjem kakovosti za uporabo. Ta metoda velja za določitev masne koncentracije ogljikovega monoksida v zunanjem zraku do vrednosti 100 mg/m³ ogljikovega monoksida. Ta razpon koncentracij predstavlja razpon certificiranja za homologacijski preizkus. Ta metoda pokriva določitev koncentracij ogljikovega monoksida v zunanjem zraku na področjih, ki so uvrščena med podeželska območja, območja v urbanem okolju, prometna območja in lokacije, na katere vplivajo industrijski viri. Rezultati so izraženi v mg/m³ (pri 20 °C in 101,3 kPa). [12]

6 Meritve radona v zraku

Radon je naravni plemeniti element, radioaktiven plin, brez barve vonja, ki je topen v vodi. Radon je produkt razpadov urana. Za ljudi ima negativne posledice, saj je radioaktiven. Najpogosteje ga srečamo v slabo prezračenih kletih, v katere prodira iz zemeljske skorje. Pred njim se varujemo z prezračitvijo prostorov.

6.1 Meritve radona

Meritve in zaznavanje radona lahko naredimo na dva načina in sicer direktno ali indirektno. Prisotnost radona lahko zaznamo z merjenjem α , β ali γ sevanjem. Radon 222 lahko izmerimo z uporabo pasivne metode. To storimo tako, da merilnik postavimo v sobo ali pa aktivno z vpihovanjem zraka v merilnik. Za merjenje uporabljamo merilnik alfa delcev, elektro-ionizacijsko komoro in detektor z aktivnim ogljem. Najprimernejši za merjenje radona v stanovanjih je merilnik alfa delcev.

Merilnik uporablja Geiger-Muellerjevo sondo. Takoj ko se alfa delci dotaknejo sonde jih zazna elektronsko in prikaže na ekranu oz. alfa aktivnost slišimo zvočno. Princip delovanja sonde je prizana na sliki 5. Rezultate meritev predstavljamo v enoti Becquerel (Bq). [13]



Slika 4: Geiger-Muellerjeva sonda

6.2 Kalibriranje senzorjev za zaznavanje radona

Med kalibracijo je izmerjena vrednost merilnika primerjana z vrednostjo referenčnega merilnika. Glavni namen je določiti odstopanje oz. negotovost kalibrirane naprave/senzorja. Sledljivost meritev mora biti zagotovljena do etalonov višjega nivoja. Kalibracije se izvajajo v posebni komori, namenjeni za izvajanje kalibracij. V to komoro vpihujemo naprej določeno koncentracijo radona, ki jo merimo z referenčnim in kalibriranim inštrumentom ter primerjamo izmerjene vrednosti. [14]

6.3 Kratak opis standarda SIST EN 11665-1:2019

Standard ISO 11665-1 navaja smernice za merjenje koncentracije aktivnosti radona-222 in potencialne koncentracije alfa energije njegovih kratkoživih razpadnih produktov v zraku. Metode merjenja se razvrščajo v tri kategorije: a) metode točkovnega merjenja; b) metode neprekinjenega merjenja; c) metode integriranega merjenja. Ta dokument določa več metod, ki se običajno uporabljajo za merjenje radona-222 in njegovih kratkoživih razpadnih produktov v zraku. Ta dokument določa tudi smernice za ugotavljanje temeljne negotovosti v povezavi z merilnimi metodami, opisanimi v različnih delih tega standarda.

Literatura

- [1] <https://www.gov.si teme/kakovost-zraka/>, dostopano 6.5.2022
- [2] <https://www.processsensing.com/en-us/blog/how-CO2-sensors-work.htm%20%5b2>, dostopano 6.5.2022
- [3] <https://www.co2meter.com/blogs/news/7512282-co2-sensor-calibration-what-you-need-to-know> dostopano 6.5.2022
- [4] <https://edaphic.com.au/co2-sensor-calibration/> dostopano 7.5.2022
- [5] <https://oizom.com/knowledgege-bank/nox-monitoring/> , dostopano 7.5.2022
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628&from=LV> dostopano 7.5.2022
- [7] <http://www.luftmy.net/sensor-news-273.html> dostopano 7.5.2022
- [8] <http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=2384a59b-7166-443a-92d8-27eec308ede2> dostopano 7.5.2022
- [9] <http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=a88b57c2-898f-4fdf-986b-d2d11f059431>, dostopano 8.5.2022
- [10] <http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=5d138eac-4d44-4419-a069-eb23d01a9b0c>, dostopano 8.5.2022
- [11] <https://www.gdscorp.com/blog/gas-detectors/how-to-calibrate-a-carbon-monoxide-monitor/> _dostopano 8.5.2022
- [12] <http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=cbbcdbf2-8284-4062-99d5-e027eed7225a>, dostopano 8.5.2022
- [13] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143222/> dostopano 9.5.2022
- [14] https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/laboratories/radon/radon_node.html, dostopano 9.5.2022
- [15] <http://ecommerce.sist.si/catalog/project.aspx?id=27a10917-9910-4249-9821-c8c73db9e7ee>, dostopano dne 9.5. 2022