



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Tomas Grabys

**JUTIKLIŲ NAUDOJIMAS PATALPŲ ORO KOKYBĖS
VALDYMUI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas:

Doc. dr. Violeta Kaunelienė

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

**JUTIKLIŲ NAUDOJIMAS PATALPŲ ORO KOKYBĖS
VALDYMUI**

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (621H17001)

Vadovas

Doc. dr. Violeta Kaunelienė

Recenzentas

Lekt. dr. Tadas Prasauskas

Projektą atliko

Tomas Grabys

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Grabys

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija 621H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Jutiklių naudojimas patalpų oro kokybės valdymui“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2016

birželio

06

d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Tomo Grabio**, baigiamasis projektas tema „**Jutiklių naudojimas patalpų oro kokybės valdymui**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Grabys, Tomas. Jutiklių naudojimas patalpų oro kokybės valdymui. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Violeta Kaunelienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai. Bendroji inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: jutikliai, patalpų oro kokybė, lakūs organiniai junginiai

Kaunas, 2016. 46 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe aptariami pagrindiniai patalpų oro teršalai, jų šaltiniai, bei poveikis sveikatai. Aptarti jutikliai naudojami oro kokybei vertinti.

Šio darbo tikslas – įvertinti vidaus patalpų oro kokybės valdymo galimybes naudojant jutiklius. Buvo atlikti acetono, tolueno ir trichloretileno koncentracijos tyrimai panaudojant tris jutiklius. Tyrimo metu buvo siekiama nustatyti, kaip skirtingi jutikliai gali nustatyti žinomas teršalų koncentracijas.

Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad visų trijų naudojamų jutiklių parodymai skiriasi nuo žinomos koncentracijos. Buvo atliktos jutiklių parodymų tarpusavio ir tiriamų junginių koncentracijos koreliacijos. Visų jutiklių parodymų priklausomybės nuo dujinių teršalų koncentracijos gautos koreliacijos buvo labai stiprios (visi gauti koreliacijos koeficientai nuo 0,9 iki 1,0). Naudojant tiesinės regresinės analizės modelį nustatyta, kad nemetaninių angliavandenilių (NMHC) jutiklis yra jautriausias acetono koncentracijai, jo nuolydžio koeficientas buvo didžiausias – 21,432. Mažiausiai jautrus buvo metalų oksidų (VOC) jutiklis jo nuolydžio koeficientas – 0,5044. Atlikus regresinę analizę mažiausias gautas apibrėžtumo koeficientas tiriant acetono koncentraciją buvo metalų oksidų (VOC) jutiklio – $R^2=0,7628$, didžiausias – fotojonizacinio jutiklio (PID) $R^2=0,9995$.

Tyrimo rezultatai ir atliktos analizės parodė, kad visi jutikliai koreliuojasi tarpusavyje ir praktiškai neprasilenkia visų tiriamų junginių atveju, tačiau kalibravimas reikalingas dažniau, nei numatyta gamintojo rekomendacijose.

Grabys, Tomas. Use of Sensors for Indoor Air Quality Management: Master's final project / supervisor assoc. prof. Violeta Kaunelienė. The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological sciences, General engineering

Key words: sensors, indoor air quality, volatile organic compounds

Kaunas, 2016. 46 p.

SUMMARY

This work discusses the main indoor air pollutants, their sources and effects on health. Discussed sensors used for air quality assessment.

The aim of the research is to evaluate indoor air quality management options using sensors. Acetone, toluene, and trichloroethylene concentration studies were performed using three sensors. The study was to determine how different sensors can identify known contaminants.

Research showed that all three sensors readings have different results from the known concentrations. The correlation coefficient of the sensors readings and research compounds concentrations were calculated. All relationships between sensors readings and concentrations of compounds correlation was very strong (all correlations coefficients from 0,9 to 1,0). Using linear regression analysis model it was found out that the non-methane hydrocarbons (NMHC) sensor was the most sensitive to acetone concentration, the slope coefficient was highest – 21,432. Metal oxides (VOC) sensor was least sensitive, the slope coefficient – 0,5044. After the regression analysis resulted in the lowest rate certainty investigating acetone concentration was metal oxides (VOC) sensor – $R^2 = 0,7628$, highest - photoionization sensor (PID) – $R^2 = 0,9995$.

The results and analysis of the study showed that all sensors are correlated with each other and practically comparable for all investigated compounds but calibration is needed more often than recommended by the manufacturer.

TURINYS

ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	11
1.1. Patalpų oro teršalai, pagrindiniai jų atsiradimo šaltiniai bei poveikis sveikatai.....	11
1.2. Patalpų oro kokybei vertinti naudojami jutikliai, jų veikimo principai.....	17
1.3. Metodai ir jų taikymas nustatant patalpų oro teršalų koncentracijas.....	22
1.4. Jutiklių naudojimo reikšmė	26
2. TYRIMO METODIKA.....	28
2.1. Tyrimo objektas.....	28
2.2. Tyrimo įranga	29
2.3. Tyrimo eiga.....	32
3. TIRIAMASIS DARBAS	35
3.1. Jutiklių matavimų rezultatai	35
3.2. Jutiklių jautrumo analizė	36
3.3. Tyrimų rezultatų apibendrinimas.....	40
IŠVADOS	42
LITERATŪROS SĄRAŠAS	43
PRIEDAI.....	46

LENTELĖS

1.1 lentelė. Stacionaraus „AeroQUAL 930“ dujinių teršalų matuoklio specifikacijos.....	20
1.2 lentelė. Dujų analizatorius „X-am 7000“ techniniai duomenys.....	22
1.3 lentelė. Vidutinė bendrųjų LOJ koncentracija matuojama įvairiuose kambariuose per dieną (8:00–18:00 val.) ir naktį (18:00–8:00 val.).....	24
2.1 lentelė. Tyrimo planas.....	28
2.2 lentelė. Ventiliatoriaus nustatymo parametrai.....	32
3.1 lentelė. Jutiklių atsakas į acetono koncentraciją.....	35
3.2 lentelė. Jutiklių atsakas į tolueno koncentraciją.....	35
3.3 lentelė. Jutiklių atsakas į trichloretileno koncentraciją.....	35
3.4 lentelė. Jutiklių parodymų ir acetono koncentracijos koreliacija.....	39
3.5 lentelė. Jutiklių parodymų ir tolueno koncentracijos koreliacija.....	39
3.6 lentelė. Jutiklių parodymų ir trichloretileno koncentracijos koreliacija.....	40

PAVEIKSLAI

1.1 pav. Kanalinis oro kokybės jutiklis [17]	19
1.2 pav. Stacionarus dujinių teršalų matuoklis „AeroQUAL 930“ [18]	19
1.3 pav. „IAQPoint2“ patalpų oro kokybės stebėsenos prietaisas [19].....	21
1.4 pav. Dujų analizatorius „X-am 7000“ [22]	21
1.5 pav. LOJ kontrolės prietaisas su įrengtu puslaidininkiu dujų jutikliu [25].....	23
1.6 pav. Elektroninės nosies schema.....	25
1.7 pav. Cilindrinis pasyvusis ėmiklis [26].....	26
2.1 pav. Tyrimo schema.....	29
2.2 pav. Oro monitoringo prietaisas „AeroQUAL IQM 60“ (Kanomax, JAV) [23].....	30
2.3 pav. „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis (AMS, Austrija)	30
2.4 pav. Ventiliatorius ir jo valdiklis.....	31
2.5 pav. Skysčių siurblys „LongerPump“	31
2.6 pav. „MasTech S6252B“ Skaitmeninis anemometras [24]	31
2.7 pav. Oro debito priklausomybė nuo ventiliatoriaus dažnio	33
3.1 pav. Tiriamų jutiklių atsako priklausomybė nuo acetono koncentracijos.....	36
3.2 pav. Tiriamų jutiklių atsako priklausomybė nuo tolueno koncentracijos	37
3.3 pav. Tiriamų jutiklių atsako priklausomybė nuo trichloretileno koncentracijos	38

SANTRUMPOS

LOJ – lakieji organiniai junginiai (angl. **VOC** – Volatile Organic Compounds)

NMHC – nemetaniniai angliavandeniliai (angl. Non–Metane Hydrocarbon)

Ppm – dujų koncentracijos matavimo vienetas – milijoninė dalis (angl. parts per million)

PID – fotojonizacijos jutiklis (angl. Photoionization Detector)

ĮVADAS

Jungtinių Tautų Aplinkos apsaugos agentūra patalpų oro taršą įvardija kaip vieną iš penkių pavojingiausių grėsmių žmogaus sveikatai [1]. Skirtingų teršalų poveikis sveikatai, jų koncentracijos bei svarba visuomenei yra tiriama visame pasaulyje. Iki šiol yra atlikta nemažai mokslinių tyrimų, kurie pabrėžia neigiamą vidaus aplinkos oro teršalų poveikį gyventojų sveikatai. Įvairūs oro patalpų oro teršalai (pvz., asbestas, radonas, tabako dūmai, kuro deginimo produktai, lakūs organiniai junginiai, biologiniai teršalai ir t.t.) sukelia įvairias kvėpavimo takų ligas, alergiją, apsinuodijimą ir tam tikrus vėžio rūšių atsiradimus.

Oro teršalai patalpose yra glaudžiai susiję su pastato viduje vykstančiais procesais (emisijos iš pastatų konstrukcijos, apdailos medžiagų, buitinių cheminių priemonių, ventiliacijos sistemos, maisto ruošos, gyventojų aktyvumo ir t.t.). Dėl nuolatinio vidaus oro maišymosi su išorės aplinkos oru, patalpų oro kokybė yra taip pat smarkiai veikiama išorės oro kokybės.

Patalpų oro kokybei tirti naudojami supaprastinti oro kokybės stebėsenos metodai, kurie apima realaus laiko ėminių paėmimą bei reprezentatyvių patalpų oro kokybės analičių registravimą. Nauji ir nebrangūs anglies dioksido ir lakiųjų organinių junginių jutikliai, bei pasyvūs (difuzijos pagrindu) aerozolių ėmikliai gali suteikti naudingos informacijos susijusios su taršos lygiais ir jų kitimu, tačiau tokių jutiklių taikymui reikia atlikti daugiau papildomų tyrimų. Gyvenamųjų ir visuomeninių patalpų oro kokybė Lietuvoje beveik netiriama, neatliekamas patalpų oro kokybės nuolatinės stebėsenos ir poveikio sveikatai vertinimas.

Šiame darbe aptariami pasirinkti jutikliai dujiniams teršalams nustatyti, jų rūšys, veikimo principai.

Darbo tikslas – įvertinti vidaus patalpų oro kokybės valdymo galimybes naudojant jutiklius.

Uždaviniai:

1. Aptarti patalpose esančius teršalus, jų šaltinius, poveikį patalpų mikroklimatui, žmogaus sveikatai.
2. Apžvelgti patalpų oro kokybei vertinti naudojamus jutiklius.
3. Atlikti palyginamuosius dujinių teršalų (acetono, tolueno ir trichloretileno) koncentracijos tyrimus panaudojant jutiklius.
4. Įvertinti jutiklių naudojimo galimybes oro kokybės valdymui.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Patalpų oro teršalai, pagrindiniai jų atsiradimo šaltiniai bei poveikis sveikatai

Šiuolaikinėje visuomenėje dauguma žmonių didžiąją laiko dalį leidžia uždaroje erdvėje. Ar tai būtų gyvenamosios patalpos, ar darbo vieta, mokyklos, vaikų darželiai, laisvalaikio leidimo centrai ar transportas – uždaroje patalpose praleidžiama iki 80 proc. paros laiko, vadinasi tiek pat laiko kvėpuojame perdirbtu oru. Perdirbtame ore, ypač jeigu kalbame apie įprastą ventiliacijos sistemą, kaupiasi dulkės, pelėsis, bakterijos, virusai, cigarečių dūmai, įvairios cheminės medžiagos ir kiti toksinai, kurių kiekis, pakartotinai naudojant tą patį orą, vis didėja.

Pastaruosius du dešimtmečius mokslininkai kėlė vis didesnę susirūpinimą dėl patalpų oro kokybės poveikio žmogaus sveikatai. Pokyčiai pastatų dizaine, siekiant pagerinti energijos vartojimo efektyvumą reiškė, kad šiuolaikiniai namai ir biurai tapo ankštesni nei praeito amžiaus struktūros. Pažanga statybos technologijoje paskatino daug aktyviau naudoti sintetines statybines medžiagas. Nors šie patobulinimai lėmė daug patogesnių pastatų statybas su mažesnėmis išlaidomis, jie pakeitė ir patalpų aplinką, kurioje teršalai aptinkami daug didesnių koncentracijų nei lauke.

Patalpose žmones veikia per 300 lakiųjų organinių junginių, kurių kiekvieno koncentracija atskirai neretai viršija didžiausią leistiną koncentraciją. Cheminės medžiagos patenka į patalpas iš lauko ar išsiskiria iš patalpų vidaus apdailos medžiagų, baldų.

Lakieji organiniai junginiai yra dujos išsiskiriančios iš tam tikrų skysčių ar medžiagų, kurios gali skirtis iš tapetų, grindų dangų, apdailos plokščių, jų priežiūros priemonių, buityje naudojamų valiklių. Yra tūkstančiai chemikalų, sintetinių ir natūralių, kuriuos galime vadinti lakiaisiais organiniais junginiais. Mūsų patalpose lakieji organiniai junginiai patenka ir iš aerosolinių purškiklių, tirpiklių, klijų, kosmetikos priemonių, valymo priemonių, pesticidų, dažų, vabzdžių repelentų, oro gaiviklių, kilimų.

Lakiųjų organinių junginių koncentracijos gali keistis priklausomai nuo temperatūros, santykinės drėgmės ir oro kondicionavimo, įskaitant ventiliaciją. Tyrimais nustatyta, kad teršalų koncentracijos lygiai vidutiniškai 2 ir 5 kartus didesnis patalpose nei lauke iš karto arba po tam tikros veiklos, pavyzdžiui nuimant senus dažus, teršalų koncentracijos foninis lygis gali būti 1000 kartų didesnis nei lauke [2].

Dėl patalpų, kuriose didžioji dalis sienų yra padengtos dažais, lakiųjų organinių koncentracijos būna didesnės. Lakiųjų organinių junginių koncentracijos yra didesnės tris kartus 14 m² kambaryje, kurio sienų ir lubų paviršiai išdažyti, nei kambario, kurio plotas 40 m². Kadangi dažai naudojami beveik visose patalpose, lakiųjų organinių junginių koncentracijos gali išlikti aukštos net 6 mėnesius [3].

Lakieji organiniai junginiai, įskaitant formaldehidą ir acetaldehidą yra priežastinės medžiagos sergančio pastato sindromo (angl. „SBS/Sick Building Syndrome“) ar sudėtinio cheminio jautrumo priežasties atsiradimui [4]. Veiksniai sukeliančių sergančio pastato sindromą gali būti lauke esantys teršalai iš motorinių transporto priemonių (išmetamosios dujos), radonas, formaldehidas, asbestas, švino pagrindo dažai, kurie gali patekti į pastatą oro ventiliacijos angas, langus ir kitas ertmes. Pastato viduje teršalai prisidedantys prie šio sindromo yra klijai, baldų apmušalai, kiliminės dangos, kopijavimo aparatai, medienos plokščių baldai, valymo priemonės, tabako dūmai, blogi dujiniai prietaisai, židiniai ir neventiliuojami kondicionieriai. Kūno priežiūros produktai taip pat prisideda prie pastato oro užterštumo. Sergančio pastato sindromo sąvoka naudojama apibūdinant situacija, kurioje pastato gyventojai turi ūmius sveikatos sutrikimus ar dėl nuovargio susijusius simptomus, kurie susiję tiesiogiai su laiku praleistu pastate [5]. Ūmūs simptomai priskiriami sergančio pasireiškus sergančio pastato sindromui – galvos skausmas, galvos svaigimas, pykinimas, akių, nosies ar gerklės sudirginimas, sausas kosulys, odos niežulys ar sausėjimas, nuovargis, jautrumas kvapams, balso užkimimas, alergijos, šaltis, į gripą panašūs simptomai, padažnėję astmos priepuoliai.

Patalpų lakiųjų organinių junginių koncentracijos ir laikas kurį praleidžiame namuose yra vienas pagrindinių veiksnių, kurie lemia susirgimus nuo lakiųjų organinių junginių. Rizika sveikatai įkvėpus bet kurios cheminės medžiagos priklauso nuo to, kokia jos koncentracija ore ir kaip ilgai žmogus ją kvėpuoja. Mokslininkai atliko tyrimus stebėdami kelių valandų ir dienų trumpalaikį (ūminį) lakiųjų organinių junginių poveikį ar metų ir net viso gyvenimo poveikį (lėtinį). Kvėpuojant žemo koncentracijos lygio lakiuosius organinius junginius gali padidinti žmonių sveikatos problemų riziką. Keletas tyrimų rodo, kad lakiųjų organinių junginių poveikis gali sukelti simptomus žmonėms, kurie serga astma arba yra labai jautrūs cheminėms medžiagoms. Kiekvienos cheminės medžiagos turi savo toksiškumą ir potencialą sukelti skirtingą poveikį sveikatai. Dažniausi simptomai kuriuos sukelia lakūs organiniai junginiai per trumpą laiką (ūmūs): galvos skausmai, akių, nosies ir gerklės dirginimas. Kvėpuojant ilgą laiką (lėtiniai), padidina riziką centrinės nervų sistemos pažeidimams, kepenų, inkstų ir smegenų pažeidimams, gali išvystyti įvairių tipų vėžys.

Patalpose gausu tokių dujinių teršalų kaip anglies monoksidas, azoto dioksidas, ozonas, sieros dioksidas ir daugelis kitų. Visų šių medžiagų didesnės koncentracijos sukelia sveikatos problemų, todėl oro kokybės vertinimas yra būtinas procesas, norint nustatyti įvairių teršalų koncentracijų lygius patalpose. Labiausiai paplitę oro teršalai randami vidaus patalpų ore (įskaitant jų poveikį sveikatai) yra:

- **Anglies monoksidas (CO).** Tai bekvapės ir bespalvės, bet labai pavojingos dujos, dar kitaip vadinamos – smalkėmis. Anglies monoksidas susidaro dėl nepilnai sudeginamo kieto,

skysto arba dujinio kuro, pasireiškiančio dėl nepakankamo deguonies kiekio tiekimo. Ypač sandariai uždarius langus ar neužtikrinant tinkamos ventiliacijos, todėl potencialiais smalkių šaltiniais galima laikyti visus įrenginius, kurie savo darbo metu naudoja aukščiau nurodytą kurą. Yra ir kitų anglies monoksido šaltinių kaip dujiniai vandens šildymo įrenginiai. Dažniausiai naudojami anglies monoksido dujas gaminantys šaltiniai yra malkomis, akmens anglimi arba skystu kuru kūrenamos krosnelės, mobilūs dujiniai arba skysto kuro patalpų šildytuvai, židiniai, krosnys, dujinės bei anglies viryklės, vidaus degimo įrenginiai, o taip pat kepsninės, naudojamos uždaroje patalpoje. Kitu smalkių (anglies monoksido) šaltiniu taip pat gali būti automobiliai, palikti su veikiančiu varikliu garažuose arba kitose uždaroje patalpoje [6].

Žmonėms būnant patalpoje, kurioje yra anglies monoksido dujų, anglies monoksido molekulės užblokuoja ir neleidžia deguonies į kūną taip sukeldamos apsinuodijimus. Kadangi anglies monoksidas yra bekvapės ir bespalvės dujos, o poveikis sveikatai yra labai panašus į gripo simptomus – nuovargis, galvos skausmas, diskomfortas krūtinėje, kvėpavimo takų simptomai, todėl dauguma žmonių net nesuvokia, jog yra apsinuodiję pavojingomis dujomis. Poveikis gali pasireikšti ir kaip nerimas ar depresija, galimi psichikos sutrikimai, gali būti mirtinas didelėse koncentracijose.

- **Anglies dioksidas (CO₂)** yra bespalvės ir bekvapės dujos. Pagrindinis patalpoje esančio anglies dioksido šaltinis yra žmonės, kurie jį iškvėpia, todėl patalpoje esant daugiau žmonių, anglies dioksido koncentracija gali svyruoti nuo kelių šimtų ppm iki daugiau kaip 1000 ppm.

Remiantis Minesotos sveikatos departamento duomenimis, Minesotos darbo ir pramonės departamentas užsibrėžė anglies dioksido saugos standartus kad vidutinė koncentraciją per 8 valandas neturi viršyti 10,000 ppm, o vidutinė koncentracija per 15 minučių laikotarpį neturi viršyti 30,000 ppm. Žinoma šios koncentracijos nebūdingos patalpoje, kuriose neužsiimama kokia nors pramonės veikla, todėl šios koncentracijos ribos nustatytos būtent dirbantiems žmonėms.

Pastatuose kuriuose anglies dioksidas yra padidėjęs, žmonės gali patirti poveikį sveikatai, bet simptomai dažniausiai yra sukelti kitų teršalų esančių ore, ką sukelia prastas patalpų vėdinimas. Esant labai didelėms anglies dioksido koncentracijoms, šios dujos gali sukelti galvos skausmus, mieguistumą, pykinimą ir kitus simptomus. Tai gali įvykti susidūrus su anglies dioksido koncentracijoms, kurios yra ilgą laiką aukštesnės nei 5,000 ppm. Didesnėse koncentracijose anglies dioksidas gali sukelti dusinimą, nes esant apie 40,000 ppm koncentracijai anglies dioksidas pakeičia žmogaus kraujyje esantį deguonį. Galimas poveikis sveikatai susijęs su akių, nosies ir gerklės dirginimu. Vaikam pasitaikantys simptomai yra kvėpavimo takų infekcijos [7].

- **Aplinkos tabako dūmai** yra aerolis, kuriame yra keli tūkstančiai medžiagų, kurios yra platinamos kaip dalelės, garai, ir dujos. Poveikis sveikatai yra kvėpavimo takų dirginimas, bronchitas ir plaučių uždegimas vaikams, emfizemos, plaučių vėžys ir širdies ligos. Kai kuriems žmonėms tabako dūmai sukelia akių ašarojimą, kuris gali būti toks intensyvus, kad gali paralyžuoti regėjimą. Yra daug įrodymų, kurie rodo ryšį tarp vaikų ūmaus kvėpavimo takų susirgimų. Be to pasyvus rūkymas vaikams gali turėti didelį poveikį plaučių formavimuisi.

- **Grybai, bakterijos, virusai** – mikroorganizmai svarbi forma biologinės taršos aplinkos patalpose. Daug rūšių grybelių randama patalpose, kur jie yra susiję su organine medžiaga (sienų dangos, mediena, maisto produktai). Lauko oras yra vienas iš pagrindinių šaltinių grybelių ir bakterijų atsiradimų uždaroje patalpose, ypač vasarą ir rudenį. Aptinkami namuose, kuriuose yra drėgnos sąlygos ypač dėl struktūrinių defektų ar rūsiuose ir po grindimis.

Ore esančių bakterijos ir grybeliai yra susiję su gerai žinomomis ligomis, o taip pat gerai apibrėžtais simptomais. Dauguma bakterinių ir virusinių infekcijų perduodami iš žmogaus žmogui, kam nors čiaudint ar kosėjant, gleivinių lašeliai sklaido ore, todėl įkvėpus šių virusų plinta ligos kaip tuberkuliozė, gripas ir kitos infekcinės ligos. Šias ligas paskatinti gali neprižiūrimi oro kondicionieriai, oro drėkintuvai, sausintuvai, šlapios ir drėgnos konstrukcijos, baldai, kurie taip pat gali sukelti ir alergines reakcijas, astmą, akių, nosies ir gerklės dirginimą.

- **Asbestas** kažkada buvo plačiai naudojamas statybinėse medžiagose ir kitose plataus vartojimo produktuose. Asbestas buvo ypač vertinamas dėl savo elektrinės ir šiluminės izoliacinės savybės, kurios buvo naudojamos vamzdžio ar katilo izoliacijoms, cemento plokštėse, šiluminėms plytelėse, dažuose ir tapetuose. Asbestas buvo naudojamas gaminant automobilių sankabos, stabdžių ir transmisijos dalis, gaminant iš asbesto karščiui atsparius audinius, tarpiklius ir įvairias paviršiaus dangas. Susirūpinimą dėl asbesto poveikio sveikatai lėmė teisės aktai, kurie uždraudė asbesto naudojimą daugelyje šalių.

Seni ir susidėvėję asbesto gaminiai gali išleisti mikroskopines skaidulas, kurios per mūsų kvėpuojama orą gali patekti į plaučius. Ore esančios asbesto pluošto dalelės neturi kvapo ar skonio. Nors asbesto turintis gaminiai yra uždrausti, jų dar daug yra likę senos statybos statiniuose.

Yra atlikta nemažai tyrimų įrodančių, jog asbesto skaidulos gali sukelti rimtų kvėpavimo problemų taip asbestozę ar plaučių vėžį, įvairias širdies problemas.

- **Švinu** užterštas dirvožemis, dulkės iš lauko prisideda prie patalpų oro užterštumo švinu. Švino koncentracijos dirvožemyje yra didesnės šalia švino gamyklų, kasyklų, senų žemės ūkio laukų, didelio eismo kelių. Labiausiai paplitęs švino oro taršos šaltinis patalpose yra senos statybos namai, kurie dažyti dažais turinčiais švino pagrindu.

Švinas kaupiasi mūsų kauluose, kepenyse ir inkstuose, gali patekti į kraują. Apsinuodijimas švinu sukelia anemija, inkstų pažeidimus. Nervų ir smegenų pažeidimai, ypač vaikams yra pagrindinė sukeliama sveikatos problema dėl švino, kurio pažeistos nervų sistemos poveikis gali likti visam gyvenimui.

- **Radonas** yra bekvapės, beskonės, radioaktyvios inertinės dujos. Radono dujos yra jonizuojančios radiacijos šaltinis, kuris yra natūralios kilmės ir labiausiai prisideda prie gyventojų gaunamos radiacijos dozės. Vienas svarbiausių radono dujų patalpose šaltinis tai dirvožemis ir uolienos aplink pastatus. Visi akmenys turi šiek tiek urano, kurio koncentracija paprastai yra 1–3 ppm. Radonas yra skylusio urano reakcijos produktas. Kuo didesnis urano kiekis dirvožemyje tuo didesnė radžio koncentracija ir tuo didesnis šansas, kad namai pastatyti ant tokio grunto turės aukšto lygio radono koncentraciją patalpose. Namai pastatyti ant aukšto pralaidumo žemės su nesandariais pamatais, per tarpus gali praleisti daugiau nei 10% patalpų oro iš dirvožemio. Net jei dirvožemis yra tik vidutinės radono koncentracijos, jo lygis viduje šių namų gali būti labai didelis.

Vandens tiekimas, taip pat gali prisidėti prie radono koncentracijos patalpose. Viešas vandentiekis naudoja gruntinius vandenius ir gręžinius, kurie turi uždaras sistemas ir trumpą tiekimo atstumą per kurį radonas nepašalina iš vandens arba skyla. Tokios radono dujos patenka į vidaus patalpas, kai vanduo naudojamas plovimui, maisto ruošimui ar kitais tikslais namuose [8].

Radono poveikis sveikatai yra dėl radioaktyvių dalelių, kurios pasišalina radonui skylant, todėl šios dalelės gali būti įkvėpamos į plaučius ir veikti ląstelės vėžį sukeliančia radiacija. Rūkantys žmonės turi didesnę tikimybę susirgti plaučiu vėžiu. Yra labai nedaug duomenų apie tai ar radono dujos gali prasiskverbti į odą, bet radonas gali prasiskverbti pro odą maudantis vandenyje, kurio sudėtyje yra radono.

- **Acetonas (C₃H₆O)** yra bespalvis, lakus ir degus skystis, kuris naudojamas kaip tirpiklis, tarpinis produktas gaminti kitas chemines medžiagas iš plastiko, naudojamas ir vaistų gamyboje. Acetonas natūraliai aptinkamas augaluose, medžiuose, vykstant miškų gaisrams, automobilių išmetamosiose dujose, taip pat randamas žmogaus organizme ypač pas žmones sergančius diabetu.

Į gyvenamas patalpas acetonas gali patekti per dirvožemį, acetonui garuojant iš požeminio vandens per pastatų pamatus. Kitas šaltinis gali būti užterštas vanduo, kurį mes naudojame buitinėms reikmėms.

Žmogui susidūrus su dideliu kiekiu acetonu per trumpą laiką, gali sukelti akių, kvėpavimo takų dirginimą. Gali pasireikšti nervų sistemos poveikis galvos skausmas, galvos svaigimas,

orientacijos sutrikimai. Ilgalaikis acetono poveikis žmogui gali padidinti nervų sistemos toksiškumo riziką [9].

- **Ozonas (O₃)** yra bespalvės nuodingos dujos. Ozonas yra ir natūralus, ir gali būti dirbtinis. Randamas atmosferoje ir troposferoje. Troposferoje esantis ozonas – tai, ką mes kvėpuojame yra susiformavę daugiausiai iš fotocheminių reakcijų tarp dviejų oro teršalų klasių, kurios yra lakieji organiniai junginiai ir azoto oksidai. Šios reakcijos paprastai priklauso nuo karščio ir saulės spindulių.

Ozonas į mūsų patalpas patenka per blogą oro kondicionavimo sistemą, spausdintuvus, kopijuoklius biuruose.

Įkvėpus ozono jis gali sukelti įvairių sveikatos sutrikimų, ypač vaikams, pagyvenusiems žmonėms ir visų amžiaus grupių žmonėms, kurie serga plaučių ligomis, tokiomis kaip astma. Yra žinomi tokie simptomai kaip kosulys, diskomfortas širdyje, sulėtėjusi plaučių funkcija, įkvėpimo sumažėjimas, akių, nosies ir gerklės dirginimas [10].

- **Benzenas (C₆H₆)** yra skaidrus, bespalvis, lakus ir labai degus junginys. Benzenas gyvenamosiose patalpose patenka iš pastato statybinių medžiagų, baldų, šildymo ir valgio gaminių sistemų, patalpose laikomų tirpiklių. Vidaus patalpų benzeno koncentracijai įtakos turi ir natūralus patalpų vėdinimas. Vėdinant patalpas benzenas patenką į vidų iš degalinių ir iš pramonės šakų susijusių su anglies, naftos, gamtinių dujų, chemijos ir plieno gamyba. Garažai prie gyvenamų patalpų, rūkymas ir kita žmogaus veikla yra pagrindinis veiksnys lemiantis benzeno koncentracijas patalpose [11].

Įkvėpus labai aukštos koncentracijos benzeno gali ištikti mirtis. Esant mažesnėms koncentracijoms benzenas gali sukelti mieguistumą, galvos skausmus, greitesni širdies plakimą, drebulį, sąmonės praradimą. Dauguma šių simptomų dingsta įkvėpus gryno oro [12].

- **Formaldehido (CH₂O)** taršos šaltiniai yra presuoto medžio produktai – fanera, medienos plaušų plokštės, baldai, tapetai. Jis taip pat randamas vartojant daugelį kasdieninių produktų – įskaitant kosmetiką, indų plovimui naudojamą muilą, vaistus, odos priežiūros priemones, audinių minkštiklius. Formaldehidas pasitaiko tiek lauke tiek patalpose. Kadangi formaldehidas yra nepastovus ir garuoja lengvai, todėl jis į mūsų kvėpuojamą orą patenka iš įvairių produktų mūsų namuose, o didelė drėgmė ir aukštą temperatūra paspartina formaldehido išsiskyrimą.

Formaldehido poveikis mūsų organizmui pasireiškia dirginant nosį, akis ir gerklę. Trumpalaikis poveikis yra galvos skausmas, sloga, pykinimas, pasunkėjęs kvėpavimas. Gali sukelti alergines reakcijas ir kitus kvėpavimo takų simptomus. Galimi vėžiniai susirgimai. Yra duomenų, kad formaldehidas gali sukelti retą nosiaryklės vėžį, kuris yra viršutinėje gerklės dalyje už nosies.

- **Trichloretilenas (TCE)** yra žmogaus sukurtas skaidrus, bespalvis skystis, kuris yra silpnai saldaus kvapo panašus į chloroformą, tačiau jis yra nepastovus ir lengvai garuoja esant kambario temperatūrai. Naudojamas kaip tirpiklis pašalinti riebalus nuo metalo įskaitant baldų medžiagas, armatūrą ir elektronikos įrangą. Trichloretilenas naudojamas kaip dažų tirpiklis, lakų ir dažų sudedamoji dalis, naudojamas spausdinimo rašalo gamyboje, spausdinimo dažuose [13].

Trichloretilenas turi savybę garuoti, todėl žmogaus buityje gali atsirasti dėl užteršto geriamo vandens, kuris tuo pačiu naudojamas ir skalbimo mašinose bei indaplovėse. Viena iš priežasčių dėl trichloretileno patekimo į gyvenamąją aplinką gali būti užterštas dirvožemis, iš kurio garuodamas per pamatų įtrūkimus patenka į pastato vidų.

Žmogui, trichloretilenas gali paveikti centrinę nervų sistemą, kepenis, inkstus, lytinę ir imuninę sistemą, gali turėti įtakos vaisiaus vystymuisi nėštumo metu.

- **Toluenas (C₆H₅CH₃)** yra skaidrus, bespalvis skystis turintis dažų skiediklio kvapą organinis junginys. Jis yra naudojamas kaip tirpiklis ir kaip į benzino priedas, siekiant pagerinti oktanių skaičių. Pramonėje šis junginys naudojamas cheminių medžiagų gamybai ir kaip tirpiklis. Toluenas naudojamas automobilių priežiūros priemonėse – alyvose, blizginimo bei valymo priemonėse.

Patalpose tolueno šaltiniai apima statybines medžiagas (tirpikliai, vandens pagrindo klijai, grindų dangos, dažai) ir cigarečių dūmus. Dažnai pasitaikantis tolueno patekimas į gyvenamąsias patalpas yra iš automobilių išmetamųjų dujų, arba degalų atsargas, kurias žmonės laiko garažuose.

Sąlytis su toluenu sukelia akių, nosies ir gerklės dirginimą, taip pat galvos skausmą, svaigimą ir apsinuodijimo jausmą. Buvo atlikta neurologinių testų, kurie nustatė trumpalaikės atminties, dėmesio ir koncentracijos, suvokimo sumažėjimą [14].

1.2. Patalpų oro kokybei vertinti naudojami jutikliai, jų veikimo principai

Tobulėjant technologijoms yra sukurti cheminių jutiklių dujoms ir garams, įskaitant puslaidininkinių dujų daviklius ir fotojonizacijos detektorius. Tai yra realaus laiko monitoringo priemonės naudojančios tokius jutiklius, kurie naudojami aptikti lakiuosius organinius junginius, formaldehidą, azoto dioksidą ir kitus dujinius teršalus. Tokiomis monitoringo priemonėmis galima išmatuoti teršalų koncentraciją lengvai be jokių analitinių priemonių ir techninių įgūdžių, visą informaciją išsaugant duomenų saugyklose.

Vidaus oro patalpų kokybei vertinti dažniausiai yra naudojami elektroniniai kontrolės prietaisai turintys sistemines plokštes su mikroprocesoriumi, dujų detektoriumi ir jutikliais. Kaip

pavyzdžius galima pateikti: puslaidininkų dujų jutiklį, elektrocheminį dujų jutiklį, fotojonizacinį jutiklį, nedispersinį infraraudonųjų spindulių jutiklį.

Dujų jutikliai matuoja dujinių teršalų koncentracijas elektros impulsais arba signalais. Dujų daviklių veikimo principas remiasi elektrinių plokštelių pagamintų iš puslaidininkės medžiagos, kurių paviršius yra labai jautrus ir nanostruktūrinis, kas labai gerai pagerina jutiklio jautrumą. Dujoms patekus ant šio paviršiaus, sluoksnis arba sulaiko arba paleidžia elektronus taip pakeisdamas laidumą.

Fotojonizaciniai jutikliai labiausiai paplitę naudojant lakiųjų organinių junginių aptikimui, nes yra labai stabilūs ir aptinka labai lakiųjų organinių medžiagų. Fotojonizacija vyksta tada, kai atomas ar molekulė sugeria pakankamai šviesos energijos, kad priverčia elektroną pasitraukti ir sukurti teigiamą joną. Fotojonizacinis jutiklis susideda iš ultravioletinės lempos, kuri skleidžia fotonus, kad absorbuotų junginį į jonizacijos kamerą. Jonai (atomai ar molekulės, kurios įgijo ar prarado elektronus, todėl turi teigiamą arba neigiamą krūvį) pagaminti šiuo procesu yra renkami elektrodų. Sugeneruota srovė suteikia galimybę išmatuoti junginio koncentraciją. Kadangi tik maža dalis junginio jonizuojasi, fotojonizacinis jutiklis sudaro sąlygas naudoti kitą detektorių siekiant patvirtinti analizės rezultatus. Iš esmės Fotojonizaciniai jutikliai yra dujų chromatografais be jo atskyrimo kolonėlės, todėl šie jutikliai gali suteikti puikų tikslumą. Rinkoje galima įsigyti tokių fotojonizacinių jutiklių, kurie telpa į ranką ir turi įvairių konfigūracijų, o rezultatai matomi beveik iš karto. „*Rae systems*“ siūlo fotojonizacinius jutiklius, kurie yra labai jautrūs žemoms lakiųjų organinių junginių koncentracijoms, lengvai kalibruojasi ir turi didelę korekcijų koeficientų biblioteką [15].

Nedispersiniai infraraudonųjų spindulių absorbcijos jutikliai yra skirti stebėti anglies dioksido koncentracijas. Dauguma molekulių gali absorbuoti infraraudonąją šviesą, todėl gali jas iškraipyti. Koks kiekis absorbuoja infraraudonųjų spindulių šviesą yra proporcingas koncentracijai. Energija yra galiausiai konvertuojama į kinetinę energiją molekules paspartinant ir tokiu būdu sušildant dujas. Panašus į infraraudonųjų lempų šviesos šaltinius yra buitinės lemputės [16].

Šiuo metu rinkoje yra parduodami skirtingų rūšių, jautrumo parametrų oro kokybės nustatymo įrenginiai. Vienas jų – kanalinis oro kokybės jutiklis (žr. 1.1 pav.). Kanalinis oro kokybės jutiklis matuoja daugiau kaip 30 rūšių oro teršalų ir matavimo reikšmes verčia į analoginį išėjimą nuo 0 iki 20 miliamperų. Oro kokybė matuojama specialiu jutikliu, kuris naudojamas normaliomis sąlygomis nereikalauja jokių papildomų priežiūros išlaidų. Šie jutikliai fiksuoja oro kokybę unikalium oksidacijos elementu, kuris išsiskiria savo atsparumu atsižvelgiant į teršalus ir dujas. Išėjimo signalas suderintas su daugiau nei 30 skirtingų rūšių teršalų ir dujų,

kurios paprastai pasitaiko patalpų aplinkoje ir tai leidžia daug tiksliau nustatyti oro faktinę kokybę nei su CO₂ jutikliu.



1.1 pav. Kanalinis oro kokybės jutiklis [17]

Šį prietaisą galima naudoti gyvenamosiose patalpose, laboratorijose, parduotuvėse, konferencijų ir pasitarimų salėse, gamybinėse patalpose, virtuvėse. Oro kokybės keitiklis matuoja šias dujas: izobutaną, metaną, etaną, propaną, metileną, vandenilį, anglies monoksidą, sieros dioksidą, anglies dioksidą ir kitus teršalus kaip tabako dūmai ar formaldehidas. Oro kokybės matavimo diapazonas: 0 – 2000 ppm.

Stacionarus dujinis „AeroQUAL 930“ matuoklis gali stebėti aplinka su kontrolės ir signalizacijos išėjimais (žr. 1.2 pav.). Prietaisas gali būti naudojamas plačiose pramonės srityse, įskaitant dujų nuotiekio aptikimą, sveikatos saugojime ir apsaugoje, proceso valdyme, taip pat gali būti naudojamas atliekant gyvenamųjų patalpų oro kokybės tyrimus.



1.2 pav. Stacionarus dujinių teršalų matuoklis „AeroQUAL 930“ [18]

Detalios prietaiso specifikacijos apie jutiklių tipą, aptikimo ribas, gamyklinio kalibravimo tikslumo, rezoliucijos bei reakcijos laiko duomenys pateikiami 1.1 lentelėje.

1.1 lentelėje matyti, jog stacionaraus „AeroQUAL 930“ dujinis matuoklis turi trijų rūšių teršalų jutiklius (elektrocheminį, puslaidininkį ir fotojonizacinį), kurių teršalų aptikimo ribos yra nuo 0 iki 100 ppm. Didžiausia rezoliucija yra 0,001 ppm, kurią turi puslaidininkis dujų matuoklis skirtas matuoti ozoną, o mažiausia elektrocheminio dujų jutiklio – 0,1 ppm. Didžiausia jutiklio riba tarp kurios matuojami teršalai siekia 100 ppm, skirtas anglies monoksidui, kurio matavimams yra elektrocheminis dujų matuoklis. Įvairių jutiklių dujinių teršalų aptikimo reakcijos laikas svyruoja nuo 30 iki 120 sekundžių. Trumpiausias reakcijos laikas matuojant fotojonizaciniu jutikliu, kuriuo matuojami lakieji organiniai junginiai. Elektrocheminio dujų jutiklio skirto formaldehido monitoringui laikas ilgiausias – 120 sekundžių.

1.1 lentelė. Stacionaraus „AeroQUAL 930“ dujinių teršalų matuoklio specifikacijos

Dujos	Jutiklio tipas	Ribos (ppm)	Minimalus aptikimo limitas (ppm)	Gamyklinio kalibravimo tikslumas	Rezoliucija (ppm)	Reakcijos laikas (sek.)
Anglies monoksidas	Elektrocheminis dujų jutiklis	0–100	0,2	<±5 ppm 0–5 ppm <±10% 5–25 ppm	0,01	60
Formaldehidas	Elektrocheminis dujų jutiklis	0–10	0,01	<±0,05 ppm 0 – 0,5 ppm <±10% 0,5–10 ppm	0,01	120
Ozonas	Puslaidininkis dujų jutiklis	0–0,5	0,001	<±0,008 ppm 0–0,1 ppm <±10% 0,1–0,5 ppm	0,001	60
Ozonas	Elektrocheminis dujų jutiklis	0–10	0,01	<±0,01 ppm + 7,5%	0,01	60
Sieros dioksidas	Elektrocheminis dujų jutiklis	0–10	0,4	<±0,05 ppm 0 – 0,5ppm <±10% 0,5–10 ppm	0,01	60
LOJ	Elektrocheminis dujų jutiklis	0–25	0,1	<±0,1 ppm + 10%	0,1	60
LOJ	Fotojonizacinis jutiklis	0–20	0,01	<±0,2 ppm + 10%	0,01	30

Vienas iš paprastesnių, turintis labai patrauklią ir lengvai suprantamą vartotojo sąsają įrenginių, kuri galima nusipirkti internetu yra „Honeywell“ firmos „IAQPoint2“ (žr. 1.3 pav.) patalpų oro kokybės stebėsenos prietaisais. Šis prietaisas turi metalų oksidų puslaidininkį jutiklį, kuriuo aptinka ir matuoja vidaus oro patalpų teršalus – anglies dioksidą bei lakiuosius organinius junginius, taip pat turi temperatūros ir drėgmės jutiklius. „IAQPoint2“ stebėsenos prietaisas gali būti naudojamas vidaus patalpose esančiai ventiliacijai kontroliuoti, bei efektyviai taupyti energiją komerciniuose pastatuose, įjungdamas ventiliacijos sistemą tik esant užterštam orui. Įrenginys valdomas lietimui jautriu ekranu. Anglies dioksido jutiklio dalelių matavimo ribos 0–2,000 ppm, lakiųjų organinių junginių jutiklio 0–100 (400 – 2,000 ppm CO₂ ekvivalentų).



1.3 pav. „IAQPoint2“ patalpų oro kokybės stebėsenos prietaisas [19]

Šiuo metu prekyboje parduodamas ir plačiai žmonių auditorijai prieinamas dujų analizatorius „X-am 7000“ (žr. 1.4 pav.) skirtas deguonies, sprogstamųjų ir toksinių dujų bei lakiųjų organinių junginių aptikimui ir jų koncentracijos nustatymui. Šiame dujų analizatorius veikia net su penkiais jutikliais. Komplektuojamas su dvigubu infraraudonoju jutikliu prietaisas gali būti naudojamas iki 6 dujų nustatymui vienu metu.



1.4 pav. Dujų analizatorius „X-am 7000“ [22]

Šį įrenginį galima sukombinuoti su skirtingai jutikliais pagal asmeninius poreikius. Vienas iš privalumų, kurį turi Dujų analizatorius „X-am 7000“ (*Drager Safety*, Vokietija, 2016), tai garso, vaizdo ir vibro-signalizacijas esant nustatytų dujinių teršalų viršytoms koncentracijoms [22].

1.2 lentelė. Dujų analizatorius „X-am 7000“ techniniai duomenys

Dujos	Intervalas	Jutiklio tipas
Ex (sprogstamos)	0 – 100 %	Infraraudonųjų spindulių
Ex (sprogstamos)	0 – 100 %	Katalitinis
Anglies dioksidas CO ₂	0 – 5 % tūrio	Infraraudonųjų spindulių
Vandenilio sulfidas H ₂ S 100	0 – 100 ppm	Elektrocheminis
Azoto oksidas NO	0 – 50 ppm	Elektrocheminis
Sieros dioksidas SO ₂	0 – 10 ppm	Elektrocheminis
Azoto dioksidas NO ₂	0 – 300 ppm	Elektrocheminis
Fosgenas COCl ₂	0 – 50 ppm	Elektrocheminis
Amoniakas NH ₃	0 – 300 ppm	Elektrocheminis
Ciano vandenilis HCN	0 – 50 ppm	Elektrocheminis
Chlorinas Cl ₂	0 – 20 ppm	Elektrocheminis
Chloro dioksidas ClO ₂	0 – 20 ppm	Elektrocheminis
Hidridai	0 – 20 ppm	Elektrocheminis
Anglies dioksidas CO ₂	0 – 5 % tūrio	Elektrocheminis
Lakieji organiniai junginiai	0 – 200 ppm	Elektrocheminis
Odorantai	0 – 40 ppm	Elektrocheminis
Aminai	0 – 100 ppm	Elektrocheminis
Vandenilis H ₂	0 – 2000 ppm	Elektrocheminis

Išsamus sąrašas su jutikliais, aptinkamomis dujomis ir dujų aptikimo intervalais (žr. 1.2 lentelę). Iš lentelės matyti, kad lakiuosius organinius junginius prietaisas matuoja elektrocheminiu jutikliu, kurio matavimo intervalas yra 0 – 200 ppm.

1.3. Metodai ir jų taikymas nustatant patalpų oro teršalų koncentracijas

Apžvelgus mokslinės literatūros straipsnius, buvo rasta informacija apie atliktą oro kokybės vertinimą Japonijos universitete. Buvo atliktas bendrųjų lakiųjų organinių junginių stebėjimas Realioju laiku Japonijos universiteto patalpose, kad suprasti laikinus oro kokybės pasikeitimus. Buvo tiriama bendrųjų lakiųjų organinių junginių koncentracija septyniuose

skirtingose kambariuose, kuriuos sudarė paskaitų kambarys, konferencijų salė, trys laboratorijos, kompiuterių kambarys ir biblioteka [20].

Realaus laiko LOJ stebėsenai buvo naudojamas LOJ kontrolės prietaisas su įrengtu puslaidininkių dujų jutikliu (žr. 1.5 pav.) („FTVR-01“ Figaro inžinerija., Osaka, Japonija). Šiame prietaise yra duomenų kaupiklis, kuris gali kaupti LOJ koncentracijos, temperatūros ir santykinės drėgmės duomenis iki 24 h, 1 min. intervalais. Kontrolės prietaiso monitoriaus lange rodoma bendrųjų LOJ koncentracija. Šio prietaiso koncentracijos intervalas yra nuo 0 iki 9999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aptikimo riba, skiriamoji jutiklio geba yra 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



1.5 pav. LOJ kontrolės prietaisas su įrengtu puslaidininkiu dujų jutikliu [25]

Tuo pačiu metu buvo atliekamas aktyvus mėginių ėmimas Japonijos universiteto pirmoje laboratorijoje ir seminarų salėje iš tų pačių mėginių ėmimo taškų. Aktyvus mėginių ėmimas buvo atliekamas aplinkos orą įtraukiant į plieninį vamzdelį su jame esančiu „Tenax-TA“ adsorbentu. Surinkti LOJ mėginiai buvo desorbuojami su terminiu („Turbo Matrix TD“, Perkin Elmer, Waltham, MA) desorberiu, o koncentracijos nustatytos naudojant dujų chromatografijos masių spektrometrijos įrenginį („GSMS-QP5050“ Shimadzu, Kyoto, Japonija) su kapiliarine kolonėle („DB-WAX“, Aligent Technologies, Santa Klara, Kalifornija).

Sinchroninis matavimas buvo atliktas gyvenamajame kambaryje, siekiant patikrinti ar LOJ detektorius gali būti taikomas kambariui, skirtingų išmetamų teršalų sąlygomis, palyginti su universiteto pastatais. Prietaisas buvo sukalibruotas naudojant tolueną todėl, kad jutiklio jautrumas priklauso nuo LOJ rūšių, o išmatuotos vertės skiriasi priklausomai nuo LOJ komponentų.

Išsiaiškinant LOJ kontrolės prietaiso veiksmingumą, gauti duomenys buvo palyginti kartu su aktyviojo mėginių ėmimo metodu. Tarp abiejų metodų buvo gautas geras santykis, nors LOJ sudėtis skyrėsi atskiruose mėginiuose, vertės gautos pagal LOJ kontrolės prietaisą buvo šiek tiek didesnės (santykis $1/0,923=1,08$). Šie rezultatai parodė, jog LOJ detektorius gali stebėti LOJ koncentracijas neatsižvelgiant į individualius LOJ, todėl vertės matuojamos šio LOJ kontrolės prietaiso gali būti naudojamos be jokių korekcijų.

Siekiant ištirti sezoninius bendruosius LOJ koncentracijos pokyčius Japonijos universitete, mėginiai buvo imami nuo 3 iki 11 kartų, priklausomai nuo kambarių, įvairiu metų laiku, daugiau nei 1 metus (žr. 1.3 lent.). Seminaro kambarys ir laboratorija–1 buvo matuojami beveik kiekvieną mėnesį, o kiti kambariai buvo matuojami ne kas mėnesį, bet sezoniškai. Mėginių ėmimo taškai buvo ne mažiau kaip 1,5 m atstumu nuo sienų ir 1–1,2 m virš grindų. Mėginiai buvo atliekami, kai nevyko paskaitos ar pratybos, tačiau studentai galėjo laisvai patekti į patalpas mėginių ėmimo metu.

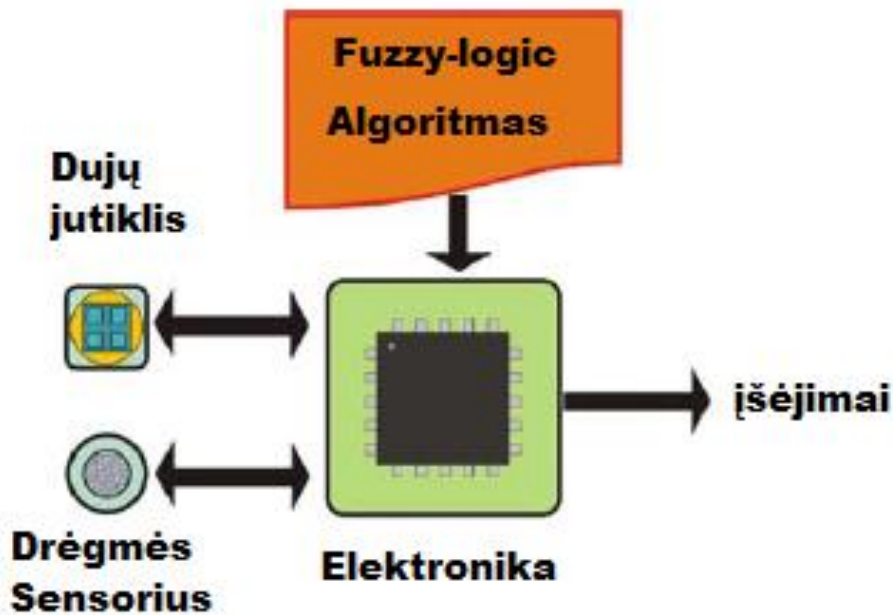
1.3 lentelė. Vidutinė bendrųjų LOJ koncentracija matuojama įvairiuose kambariuose per dieną (8:00–18:00 val.) ir naktį (18:00–8:00 val.)

Kambariai	Kambarių plotas m ²	Mėginių skaičius	LOJ koncentracija ėminiuose ±SD (μg/m ³)	
			Dienos	Nakties
Seminarų kambarys	18	11	187 ± 152	511 ± 172
Laboratorija–1 (chemijos, biologijos)	120	11	219 ± 89	538 ± 306
Laboratorija–2 (inžinerijos)	90	5	171 ± 151	240 ± 265
Laboratorija–3 (ergonomikos)	120	3	187 ± 5	218 ± 70
Kompiuterių salė	276	6	140 ± 700	113 ± 94
Biblioteka	2480	6	174 ± 71	204 ± 50

Ištyrus sezoninius LOJ koncentracijos pokyčius buvo nustatyta, jog koncentracija didesnė buvo dienos metu, o sumažėdavo naktį. Taip pat palyginta, jog didžiausios koncentracijos buvo vasarą, kurios viršijo leistiną (400 μg/m³) Japonijos patalpų LOJ tikslinį kriterijų visuose mėginiuose, o mažiausios buvo žiemos laikotarpiu. Tyrimų rezultatus veikė esančios vedinimo sistemos, oro temperatūra ir drėgmė.

Kitame moksliniame literatūros straipsnyje pateikia informaciją apie oro kokybės įvertinimui naudojamą miniatiūrinę, pigią, elektroninę nosį su metalo oksido jutikliais, sukurtą signalų apdorojimo metodams. Įrenginio pateikimas schematiškai (žr. 1.6 pav.).

Tyrime buvo orientuojamasi į anglies monoksido (CO) ir azoto dioksido (NO₂) kiekybinį mišinį ir santykinę drėgmę naudojant optimizuotą dujų jutiklių matricą ir labai efektyvius atpažinimo metodus. Tačiau šis prietaisas netinkamas LOJ aptikimui, dėl mažo metalų oksido puslaidininkų dujų jutiklių pasirinkimo [21].



1.6 pav. Elektroninės nosies schema

Įvertinti kiekvieno junginio koncentraciją kompleksiskam dujų mišiniui, panaudota apytikslė (angl. *neuro-fuzzy*) numatytoji sistema pritaikant apytikslį modeliotoją – „AFM“ programinę įrangą, kuri naudojama „fuzzy“ modelio sistemai pradedant išvesties–įvesties duomenų ėmimui.

Elektroninė nosis buvo išbandyta aplinkoje atkuriant realias darbo sąlygas. Išnaudojant unikalų reagavimo modelį, skirtingų jutiklių matricą (masyvą) ir paprastas „fuzzy-logic“ sistemos galimybes, buvo galima identifikuoti ir išskirti koncentraciją ne mažiau kaip 20 ppm azoto oksido (NO₂) ir 5 ppm anglies dioksido (CO) bandymuose dujų aplinkoje, leidžiant pasiekti reikiamą jautrumą teršalams kartu su trukdančiomis dujų rūšimis.

Dujų koncentracijos mišiniuose buvo tiksliai apskaičiuotos išnaudojant suderinamumą su „fuzzy-logic“ sistema, naudota derinti specifinę reakcijos struktūrą įvairių jautrumų elementams, kad išgauti pačią svarbiausią informaciją iš jutiklių duomenų. Turint šią prieigą buvo įmanoma identifikuoti ir išskirti kiekvieną teršalą, ir apskaičiuoti susimaišymą su oru vidaus patalpose.

Aplinkos oro kokybei tirti ar vykdant monitoringą gali būti naudojami pasyvieji, arba kitaip difuziniai, ėminių ėmikliai. Pasyvių oro ėminių ėmiklių (žr. 1.7 pav.) veikimas pagrįstas savaimine oro cirkuliacija ant sorbento paviršiaus be papildomo oro traukimo siurblio. Oro srautas skverbiasi per visą vamzdelio ilgį, o ore esančios medžiagos molekulės dėl difuzijos sulaikomos ant sorbento paviršiaus.



1.7 pav. Cilindrinis pasyvusis ėmiklis [26]

Chromatografija – tai medžiagų skyrimo metodas, kai skiriamos medžiagos pasiskirsto tarp dviejų fazių (stacionariosios ir judriosios) ir skyrimas vyksta dėl skirtingo medžiagos komponentų užsilaikymo stacionariojoje fazėje.

Atvirkštinių fazių chromatografijoje naudojami atvirkščių fazių sorbentai, turintys ant polinio paviršiaus (silikagelio) prijungtus nepolinius radikalus (įvairaus ilgio angliavandenilinius radikalus). Šie sorbentai taikomi skirti medžiagoms, tirpioms vandenyje ir didelio poliškumo organiniuose tirpikliuose (metanolis, acetonitrilas).

Analitinėje chemijoje kalibracinė kreivė yra dažnai naudojamas metodas nustatyti tiriamos medžiagos kiekį, lyginant jį su rinkiniu žinomos koncentracijos to paties junginio tirpalu.

1.4. Jutiklių naudojimo reikšmė

Siekiant kontroliuoti teršalų koncentraciją patalpų ore, oro kontrolės sistemos gali būti realizuotos šildymo, oro vėdinimo kondicionavimo įrenginiuose. Be to jutikliai gali suteikti daug naudingos informacijos, susijusios su taršos lygiais ir jų kitimu. Patalpų oro stebėjimas turi potencialą gerinti patalpų poveikio vertinimą ir prisideda prie geresnio patalpų taršos reiškinių supratimo, kurios vis dar yra realios problemos.

Apibendrinant galima teigti, kad realaus laiko matavimo prietaisas su puslaidininkų dujų jutikliu gali pamatuoti bendrųjų LOJ koncentracijas orą patalpose dideliu jautrumu, nepertraukiamai 24 h. Iš principo puslaidininkų dujų jutikliai negali pamatuoti atskirų LOJ junginių sudedamųjų dalių koncentracijų, tačiau naudojant jutiklius išmatuoti LOJ su labai mažu ar dideliu jautrumu, reikšmių matavimas šiuo prietaisu skirsis nuo tikrų bendrųjų LOJ koncentracijų. Todėl duomenys apie jutiklių jautrumą skirtingiems LOJ, turėtų būti renkami būsimiems tyrimams.

Bendrųjų LOJ koncentracijos rezultatai išmatuoti su kontrolės prietaisu buvo glaudžiai susieti su tais, kurie išmatuoti pagal mėginių ėmimo metodą. Išvada, kad realaus laiko kontrolės prietaisas naudojant aukšto jautrumo puslaidininkų dujų jutiklį, gali suteikti naudingų duomenų apie bendrųjų LOJ koncentracijų pokyčius patalpų ore.

Dauguma jutiklių negali suteikti patikimos informacijos apie teršalus, nes jie turi daug trūkumų (ribotas gyvavimo laikas) atsižvelgiant į jų pasirinkimą. Naudojant daug jutiklių viename prietaise turinčias priemones, kartu su teršalų atpažinimo algoritmais, kaip buvo įrodyta tyrime, kurį atliko Japonijoje su elektronine nosimi, gali veiksmingai dirbti su patalpų oro teršalais. Elektroninė nosis, pagrįsta patikimo jutiklio matricomis, yra skirta pigioms oro kokybės patalpose monitoringo (stebėsenos) programoms. Pastatuose, kuriuose įrengtos oro kontrolės sistemos, ligos susijusios su oro kokybe gali būti gerokai sumažintos įsiterpus pažangioms procedūroms.

Elektroniniai jutikliai jau yra naudojami kelis dešimtmečius, kurie gali aptikti pavojingų dujų nutekėjimus iš buitinių prietaisų. Panašiai apibudinamas stacionarus „*AeroQUAL 930*“ matuoklis, kuris gali stebėti aplinką ir suteikti signalą, kai dujų tankis pasiekia ribinę vertę, atitinkamas elektros signalas įjungia aliarmą. Šis privalumas leidžia įspėti žmones, kad tam tikro dujų koncentracija viršija saugumo ribas. Tokios sistemos sujungtos su išmaniomis elektroninėmis sistemomis, kurios automatiškai kviečia pagalbą ar automatiškai įjungia vėdinimo sistemas gali padėti išsaugoti žmogaus gyvybę.

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Tyrimo objektas

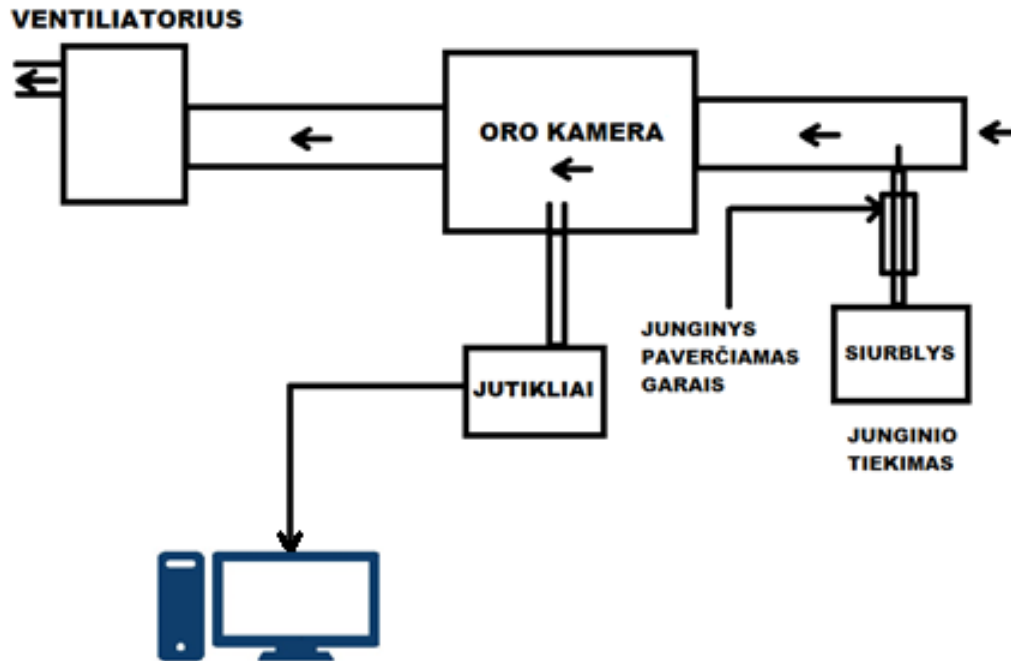
Vienas iš darbo uždavinių – atlikti palyginamuosius dujų teršalų (acetono, tolueno ir trichloretileno) koncentracijos tyrimus panaudojant jutiklius. Tyrimo metu bus siekiama nustatyti kaip skirtingi jutikliai geba aptikti konkrečias teršalų koncentracijas, o vėliau tie duomenys palyginami tarpusavyje. Tyrimui sudarytas tyrimo planas pateikiamas 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Tyrimo planas

Naudojami jutikliai	Tiriami organiniai junginiai	Naudojamos žinomos junginių koncentracijos mg/m ³					
		0 (Fono nustatymas)	0,8	1,6	2,5	4,3	5,9
Metalų oksidų jutiklis (<i>iAQ-CORE VOC</i> , AMS, Austrija)	Acetonas (C ₆ H ₅ CH ₃)	0 (Fono nustatymas)	0,8	1,6	2,5	4,3	5,9
Fotojonizacinis jutiklis (<i>AeroQUAL iQM-PID</i> , Kanomax, JAV)	Toluenas (C ₆ H ₆)	0 (Fono nustatymas)	0,8	1,6	2,5	4,3	5,9
Nemetaninių angliavandenilių jutiklis (<i>AeroQUAL iQM-NMHC</i> , Kanomax, JAV)	Trichloretilenas (TCE)	0 (Fono nustatymas)	0,8	1,3	1,8	2,3	2,9

Tyrimo plano lentelėje (žr. 2.1 lent.) pateikiami naudojami tyrimo metu trys jutikliai: metalų oksidų jutiklis *iAQ-CORE (VOC)* (AMS, Austrija); fotojonizacinis jutiklis (*AeroQUAL iQM-PID*, Kanomax, JAV) ir nemetaninių angliavandenilių jutiklis (*AeroQUAL iQM-NMHC*, Kanomax, JAV), trys tiriami junginiai (acetonas, toluenas, ir trichloretilenas) ir penkios naudojamos žinomos tiriamų junginių koncentracijos. Pasirinktos žinomos junginio koncentracijos 0,8; 1,6; 2,5; 4,3; 5,9 mg/m³ – acetonui, toluenui – 0,8; 1,6; 2,5; 4,3; 5,9 mg/m³, trichloretilenui – 0,8; 1,3; 1,8; 2,3; 2,9 mg/m³.

Tyrimas atliekamas vadovaujantis schema kuri pavaizduota 2.1 pav. Pagal šią schemą siurblio pagalba nustatome reikiamą junginio tūrio debitą. Iš siurblio ištekantis junginys šildomas ir paverčiamas garais bei tuo pačiu metu kompresoriaus pagalba pučiamas į vamzdį link oro kameros. Ventilatoriaus traukos pagalba junginys keliauja per oro kamerą, kurioje yra tyrimui naudojami jutikliai, o jų atsakas į koncentraciją perduodamas į kompiuterį.



2.1 pav. Tyrimo schema

Tyrimui buvo naudojama sandari oro kamera pagaminta iš aliuminio prie kurios lygiagrečiai prijungti oro patekimo ir išėjimo vamzdžiai. Taikant tokį išsidėstymą, užtikrinama, kad jutikliai vienu metu susiduria su tos pačios sudėties dujiniu teršalu.

2.2. Tyrimo įranga

Tyrimui atlikti buvo pasirinktas brangus patalpų oro kokybės monitoringo prietaisas „AeroQUAL IQM 60“ (Kanomax, JAV) (žr. 2.2 pav.) turintis dešimt jutiklių modulių kuriuose naudojami nedispersinis infraraudonųjų spindulių jutiklis, puslaidininkis dujų jutiklis, elektrocheminis ir fotojonizacinis jutiklis. Tyrimui buvo naudojami nemetaninių angliavandenilių jutiklių modulis su puslaidininkiu jutikliu ir lakiųjų organinių junginių jutiklių modulis su fotojonizaciniu jutikliu. Nemetaninių angliavandenilių jutiklio modulio (NMHC) teršalų aptikimo ribos yra 0 – 25 ppm, mažiausia aptikimo riba 0,1 ppm, gamyklinio kalibravimo tikslumas $\leq \pm 10\%$, tikslumas 0,2 ppm, rezoliucija – 0,1 ppm. Lakiųjų organinių junginių jutiklio

modulio su fotojonizaciniu jutikliu (**PID**) teršalų aptikimo ribos 0 – 25 ppm, mažiausia aptikimo riba 0,1 ppm, gamyklinio kalibravimo tikslumas $<\pm 10\%$, tikslumas 0,02 ppm, rezoliucija – 0,01 ppm. Šiame prietaise yra temperatūros daviklis, kurio ribos nuo –20 iki 100 Celsijaus laipsnių bei drėgmės matuoklis [22].



2.2 pav. Oro monitoringo prietaisas „AeroQUAL IQM 60“ (Kanomax, JAV) [23]

„AeroQUAL IQM 60“ monitoringo prietaisas leidžia atlikti daug tyrimų vienu metu. Naudojant šį vieną įrenginį visą informaciją galima išsaugoti į atminties kortelę ar atvaizduoti duomenis tiesiai į kompiuterį naudojant programinę įrangą. Prietaisas gali būti plačiai naudojamas atliekant šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemų veiklos monitoringą, sveikatos ir komforto įvertinimą oro uostuose, prekybos centruose, biuruose, mokyklose, darželiuose, ligoninėse ir senelių namuose [23]. Detalios prietaiso specifikacijos apie jutiklių tipą, minimalias aptikimo ribas, gamyklinio kalibravimo tikslumą, rezoliucijos bei tikslumo duomenys pateikiami 1 priede.

Tyrimo metu buvo naudojamas trečias – paprastesnis, nedidelio dydžio ir kompaktiškas bei daugumai žmonių kainos atžvilgiu prieinamas „iAQ-CORE“ (VOC) (AMS, Austrija) jutiklis (žr. 2.3 pav.) naudojantis metalo oksidų jutiklio technologiją.



2.3 pav. „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis (AMS, Austrija)

Šio jutiklio jautrumo ribos yra 450 – 2000 ppm CO₂ ekvivalentų. Jutiklis pradeda tiksliai reaguoti į teršalų koncentracijas po įjungimo praėjus 5 minutėms. Matavimai šiuo prietaisu atliekami 1 sekundės intervalu. Užtikrinti tolygų oro srautą oro kameroje buvo naudojamas ventiliatorius (žr. 2.4 pav.) su „Honeywell“ valdikliu.



2.4 pav. Ventilatorius ir jo valdiklis

Tikslios junginio koncentracijos tiekimui į oro kamerą buvo naudojamas „*LongerPump*“ (žr. 2.5 pav.) skysčių siurblys.



2.5 pav. Skysčių siurblys „*LongerPump*“



2.6 pav. „*MasTech S6252B*“ Skaitmeninis anemometras [24]

Matuoti linijinį oro srauto greitį buvo naudojamas „*MasTech S6252B*“ skaitmeninis anemometras (žr. 2.6 pav.). Skiriamoji geba 0,01 m/s. Šio anemometro vidinėje atmintyje galima išsaugoti daug kartų matuoto oro greičio duomenis.

2.3. Tyrimo eiga

Tiriamajam darbui buvo naudojamas „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo stebėsenos prietaisas, kurio stebėsenai pasirinktas fotojonizacinis jutiklis (PID) ir nemetaninių angliavandenių jutiklis (NMHC). Tuo pačiu metu buvo naudojamas ir paprastesnis, visiems prieinamas metalo oksidų „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis. „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo stebėsenos prietaiso jutikliai yra sumontuoti šio įrenginio viduje, todėl oro kamera su juo sujungta vamzdeliu, per kurį oras traukiamas viduje įmontuotu siurbliu. „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis buvo patalpintas pačioje oro kameroje.

Tyrimui pasiruošti reikėjo atlikti tam tikrus skaičiavimus, norint nusistatyti pastovų oro srautą oro kameroje, kurioje buvo sumontuoti jutikliai. Oro srautui nustatyti buvo naudojamas ventiliatorius su „Honeywell“ valdikliu. Ventiliatoriaus galia jame yra reguliuojama hercais – Hz.

Kad nustatyti kokios galios nustatymus naudoti ventiliatoriuje norint pasiekti reikiamą oro debitą, buvo atlikti skaičiavimai naudojant vamzdžio diametro bei oro debito formules (žr. (1) ir (2) formulę).

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4}; Q = VS; \quad (1)(2)$$

Čia: S – vamzdžio skerspjūvio plotas, m^2 ;

π – 3,14;

r – apskritimo spindulys lygus pusei skersmens, m ;

Q – oro debitas, m^3/s ;

D – vidinis vamzdžio skersmuo, m ;

V – linijinis oro srauto greitis, m/s .

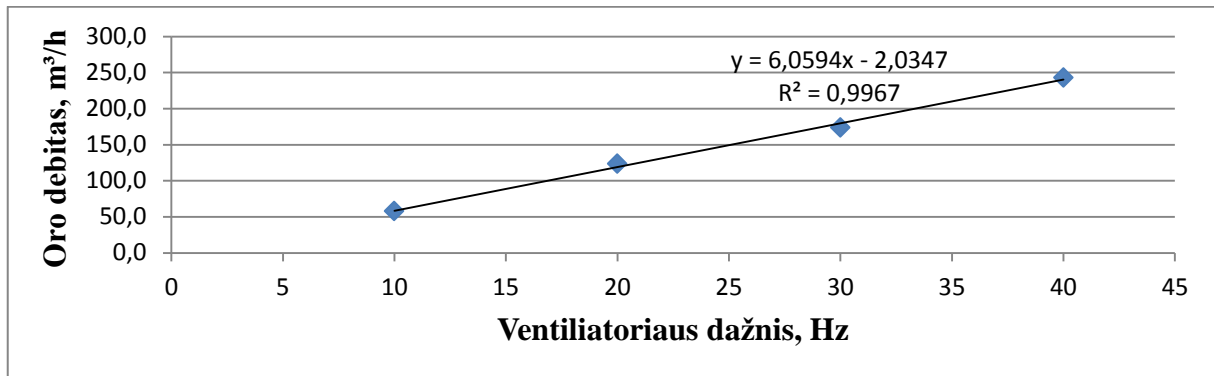
2.2 lentelė. Ventiliatoriaus nustatymo parametrai

Ventiliatoriaus dažnis, Hz	Linijinis oro srauto greitis, m/s	Ortakio skersmuo, m	Oro debitas, m^3/h
10	1,42	0,12	58
20	3,03	0,12	123
30	4,27	0,12	174
40	5,97	0,12	243

Norint atlikti pirminius skaičiavimus reikėjo pamatuoti linijinį srauto oro srauto greitį ir ortakio skersmenį. Įjungus ventiliatorių ir nustačius jo galią 10 Hz buvo išmatuojamas linijinis oro srauto greitis vamzdyje. Ventiliatoriui veikiant 10 Hz dažniu, linijinis oro srauto greitis vamzdyje buvo 1,42 m/s.

Tuo pačiu metodu išmatuotas linijinis greitis nustačius ventiliatorių 20, 30 ir 40 Hz dažniu. Matuojamo vamzdžio (ortakio) skersmuo – 0,12 m. Turint visus reikalingus parametrus buvo atlikti skaičiavimai, kad sužinoti oro debitą. Skaičiavimų rezultatai pateikti 2.2 lentelėje.

Ar skaičiavimai teisingi patikrinimui nubrėžta priklausomybių kreivė (žr. 2.7 pav.), kurioje apibrėžtumo koeficientas $R^2 = 0,9967$ nurodo ventiliatoriaus dažnio ir oro debito priklausomybę.



2.7 pav. Oro debito priklausomybė nuo ventiliatoriaus dažnio

Pradedant tyrimą buvo tikrinama, koks jutiklių atsakas nulinei acetono (C_3H_6O) koncentracijai (fonas). Į oro kamerą oras buvo traukiamas naudojant ventiliatorių nustačius apskaičiuotą ir pasirinktą oro debitą 243 m³/h. Įjungtas „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo prietaisas paliktas nusistovėti 30 minučių, kad rodytų kuo tikslesnius rezultatus. Tuo pačiu metu įjungtas ir metalo oksidų „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis. „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo prietaiso duomenys tiesiogiai buvo atvaizduojami kompiuterio ekrane naudojant „AeroQUAL AQM V6.2“ programinę įrangą, kuri duomenis fiksuoja kas 2 minutes, nurodydama kiekvieno jutiklio fiksuojamas teršalų daleles ppm vienetais. Kito pasirinkto metalų oksidų jutiklio „iAQ-CORE“ (VOC) duomenys buvo fiksuojami naudojant „LogXR 1.01.84“ programinę įrangą.

Praėjus 30 minučių „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo prietaisas ir „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis buvo paruošti oro kameroje esančio fono nustatymui. Siekiant nustatyti kokias reikšmes rodo jutikliai, fono nustatymui buvo skiriamos 10 minučių pilnam nusistovėjimui ir 5 minutės atsako nustatymui. Nusistovėjęs fonui t.y. esant nulinei acetono koncentracijai metalų oksidų „iAQ-CORE“ (VOC) jutiklis ir „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo prietaiso abu tiriami jutikliai neužfiksavo jokių teršalų.

Sekančiu etapu naudojant švirkštą ir skysčių siurblių „LongerPump“ nustačius 0,23 ml/h pirmojo junginio (acetono) tūrio debitą, junginys buvo šildomas ir paverčiamas garais bei tuo pačiu metu kompresoriaus pagalba pučiamas į vamzdį link oro kameros. Pirmojo bandymo metu į oro kamerą tiekama acetono koncentracija buvo 0,8 mg/m³. Norint gauti kuo tikslesnius duomenys, buvo laukiama 10 minučių, kol junginio koncentracija nusistovės ir bus stabili, po to skiriamos 5 minutės fiksuoti jutiklių duomenims. Po pirmojo bandymo, tiekiant į oro kamerą

žinomą $0,8 \text{ mg/m}^3$ acetono koncentraciją metalų oksidų (VOC) jutiklio atsakas buvo – 1,7 V; nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) – 8,87 ppm; fotojonizacinio jutiklio (FID) – 0,56 ppm. Toliau tyrimas buvo tęsiamas tuo pačiu metodu tik su skirtingomis acetono koncentracijomis – $1,6 \text{ mg/m}^3$; $2,5 \text{ mg/m}^3$; $4,3 \text{ mg/m}^3$ ir $5,9 \text{ mg/m}^3$.

Antrasis tiriamasis junginys buvo toluenas ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$). Procesas buvo kartojamas kaip ir tiriant acetoną. „AeroQUAL IQM 60“ monitoringo prietaisas su dviem pasirinktais fotojonizaciniu jutikliu ir nemetaninių angliavandenilių jutikliu bei atskiras metalų oksidų „AQ-CORE“ (VOC) jutiklis paliktas fono nustatymui 10 minučių, kol junginio koncentracija nusistovės ir bus stabili, po to skiriamos 5 minutės fiksuoti jutiklių duomenims. Pirmojo bandymo su toluenu metu į oro kamerą tiekiamą tolueno koncentracija buvo $0,8 \text{ mg/m}^3$, šiai koncentracijai pasiekti junginio tūrio debitas skysčių siurblyje nustatytas $0,20 \text{ ml/h}$. Norint gauti kuo tikslesnius duomenys, buvo laukiama 10 minučių, kol junginio koncentracija kameroje nusistovės ir bus stabili, po to skiriamos 5 minutės fiksuoti jutiklių duomenims. Po pirmo tolueno matavimo metalų oksidų (VOC) jutiklio atsakas buvo – 0,6 V; nemetaninių angliavandenilių jutiklio – 1,75 ppm; fotojonizacinio jutiklio – 0,13 ppm. Toliau tyrimas buvo tęsiamas tuo pačiu metodu tik su skirtingomis tolueno koncentracijomis – $1,6 \text{ mg/m}^3$; $2,5 \text{ mg/m}^3$; $4,3 \text{ mg/m}^3$ ir $5,9 \text{ mg/m}^3$.

Trečiasis tiriamasis junginys – trichloretilenas (TCE). Šiam junginiui tyrimas buvo atliekamas lygiai tuo pačiu principu kaip acetonui ir tolueniui. Jutikliai palikti nusistovėti fono nustatymui 10 minučių ir skiriamos po 5 minutės fiksuoti jutiklių duomenims. Bandymo metu buvo naudojamos $0,8 \text{ mg/m}^3$; $1,3 \text{ mg/m}^3$; $1,8 \text{ mg/m}^3$; $2,3 \text{ mg/m}^3$ ir $2,9 \text{ mg/m}^3$ trichloretileno koncentracijos.

Siekiant palyginti ir apibendrinti skirtingų jutiklių atsakus į žinomo teršalo koncentracijas buvo atliktas statistinis duomenų apdorojimas, apskaičiuotas koreliacijos koeficientas – koreliacijos stiprumo matas. Šis rodiklis įvertina ryšio tarp dviejų kintamųjų stiprumą ir parodo, ar kintant vienam kintamajam kitas kinta proporcingai. Tiriant tarp dviejų ar daugiau požymių vertinamas ryšio stiprumas ir pobūdis (teigiamas ar neigiamas), nustatomas jo reikšmingumas ir ryšys naudojant „Microsoft Office Excel 2010“ programinę įrangą.

Radus koreliacijos koeficiento reikšmes buvo įvertintas jų reikšmingumas. Koeficiento reikšmingumas įvertintas tikrinant ar gautas jo įvertis reikšmingai skiriasi nuo nulio.

Priklausomybei tarp požymių nustatyti tyrime buvo naudotas prognozės metodas – regresinė analizė. Vieno požymio įtaka kito kitimui vertinama apskaičiuojant apibrėžtumo koeficientą – R^2 .

3. TIRIAMASIS DARBAS

3.1. Jutiklių matavimų rezultatai

Atlikus visus trijų teršalų nustatymus su trimis jutikliais, duomenys nemetaninių angliavandenilių ir fotojonizacinio jutiklio buvo gauti ppm vienetais, kurie buvo konvertuoti į mg/m^3 , o metalų oksidų (VOC) jutiklio atsakas buvo fiksuojamas elektros impulsais – V. Pirmojo organinio junginio – acetono koncentracijos nustatymo skirtingais jutikliais metu buvo gauti parodymai, kurie pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Jutiklių atsakas į acetono koncentraciją

Acetono koncentracija mg/m^3	0	0,8	1,6	2,5	4,3	5,9
VOC jutiklis, V	0	1,7	2,6	3,5	4,2	4,9
NMHC jutiklis, mg/m^3	0	21,07	36,51	57,18	90,67	124,88
PID jutiklis, mg/m^3	0	2,11	4,26	6,56	10,85	15,19

Iš 3.1 lentelės matyti, jog acetono koncentracija matuojama metalų oksidų „iAQ-CORE“ (VOC) jutikliu visų 5 bandymu metu yra nuo 1,7 iki 4,9 V. Nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) nuo 21,07 mg/m^3 iki 124,88 mg/m^3 . Fotojonizacinio jutiklio (PID) nuo 2,11 mg/m^3 iki 15,19 mg/m^3 . Iš šių duomenų matyti, kad labiausiai išsiskyrė nuo nustatytos acetono koncentracijos nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) atsakas.

3.2 lentelė. Jutiklių atsakas į tolueno koncentraciją

Tolueno koncentracija mg/m^3	0	0,8	1,6	2,5	4,3	5,9
VOC jutiklis, V	0	0,6	1	1,2	2,2	2,9
NMHC jutiklis, mg/m^3	0	6,59	11,91	16,77	24,87	32,33
PID jutiklis, mg/m^3	0	0,49	2,90	5,77	12,29	18,31

Antro organinio junginio – tolueno koncentracijos nustatymo skirtingais jutikliais atlikti rezultatai pateikti 3.2 lentelėje, kurioje matomas VOC jutiklio atsakas buvo nuo 0,6 V iki 4,9 V. NMHC jutiklio nuo 6,59 mg/m^3 iki 32,33 mg/m^3 . PID jutiklio nuo 0,49 mg/m^3 iki 18,31 mg/m^3 . Lyginant su žinoma tolueno koncentracija, VOC jutikliu nustatyta koncentracija buvo beveik du kartus mažesnė. Atlikus trečio junginio – trichloretileno koncentracijos nustatymą skirtingais jutikliais, buvo gauti rezultatai, kurie pateikti 3.3 lentelėje.

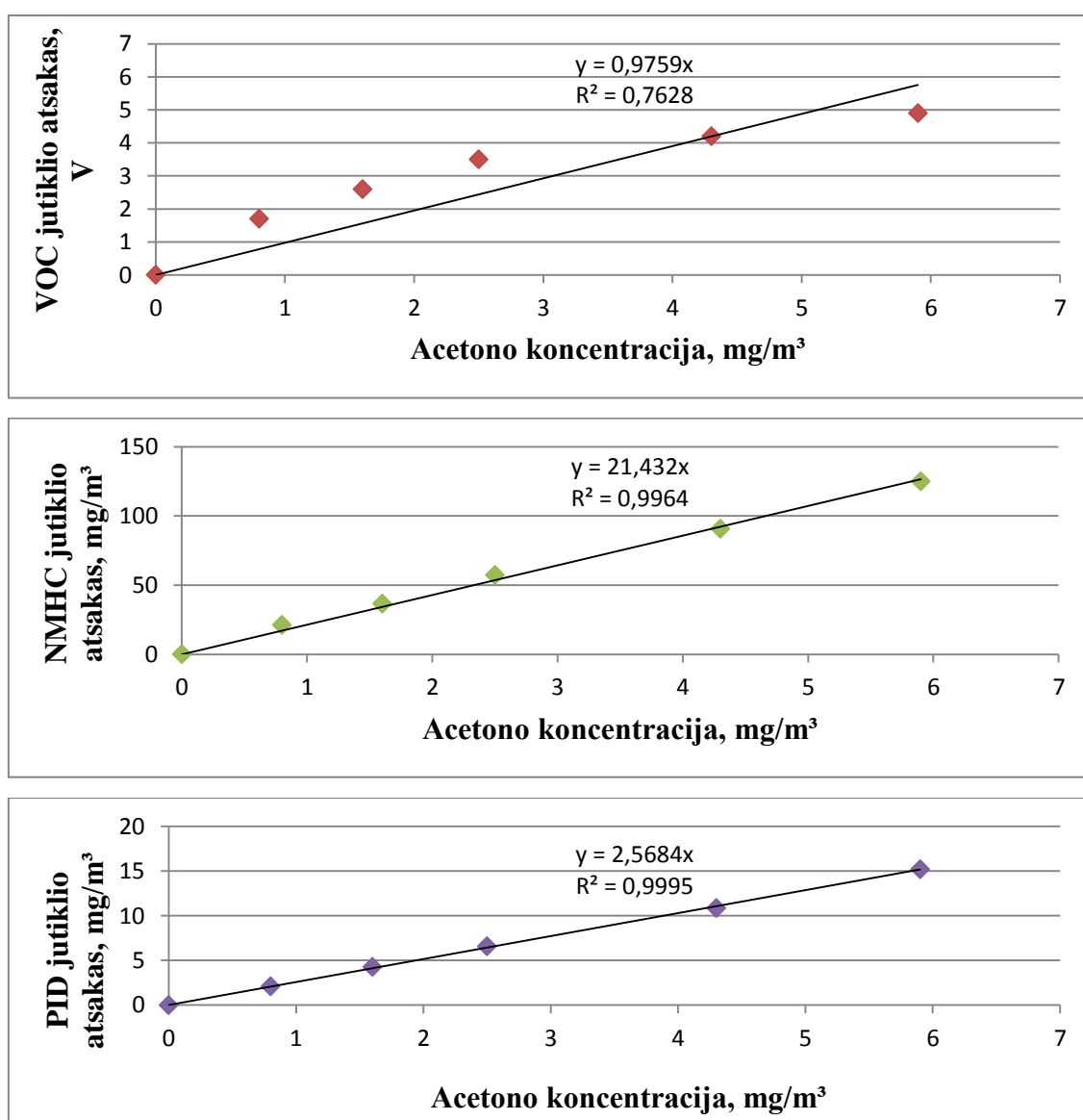
3.3 lentelė. Jutiklių atsakas į trichloretileno koncentraciją

Trichloretileno koncentracija mg/m^3	0	0,8	1,3	1,8	2,3	2,9
VOC jutiklis, V	0	0,7	1,6	3,1	4,2	4,85
NMHC jutiklis, mg/m^3	0	0,81	1,72	2,53	3,65	5,21
PID jutiklis, mg/m^3	0	0,16	2,10	3,98	5,70	7,42

Iš 3.3 lentelės matyti, jog į trichloretileno koncentraciją metalų oksidų (VOC) jutiklio atsakas nuo 0,7 V iki 4,85 V. Nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) nuo 0,81 mg/m³ iki 5,21 mg/m³. Fotojonizacinio jutiklio (PID) nuo 0,16 mg/m³ iki 7,42 mg/m³.

3.2. Jutiklių jautrumo analizė

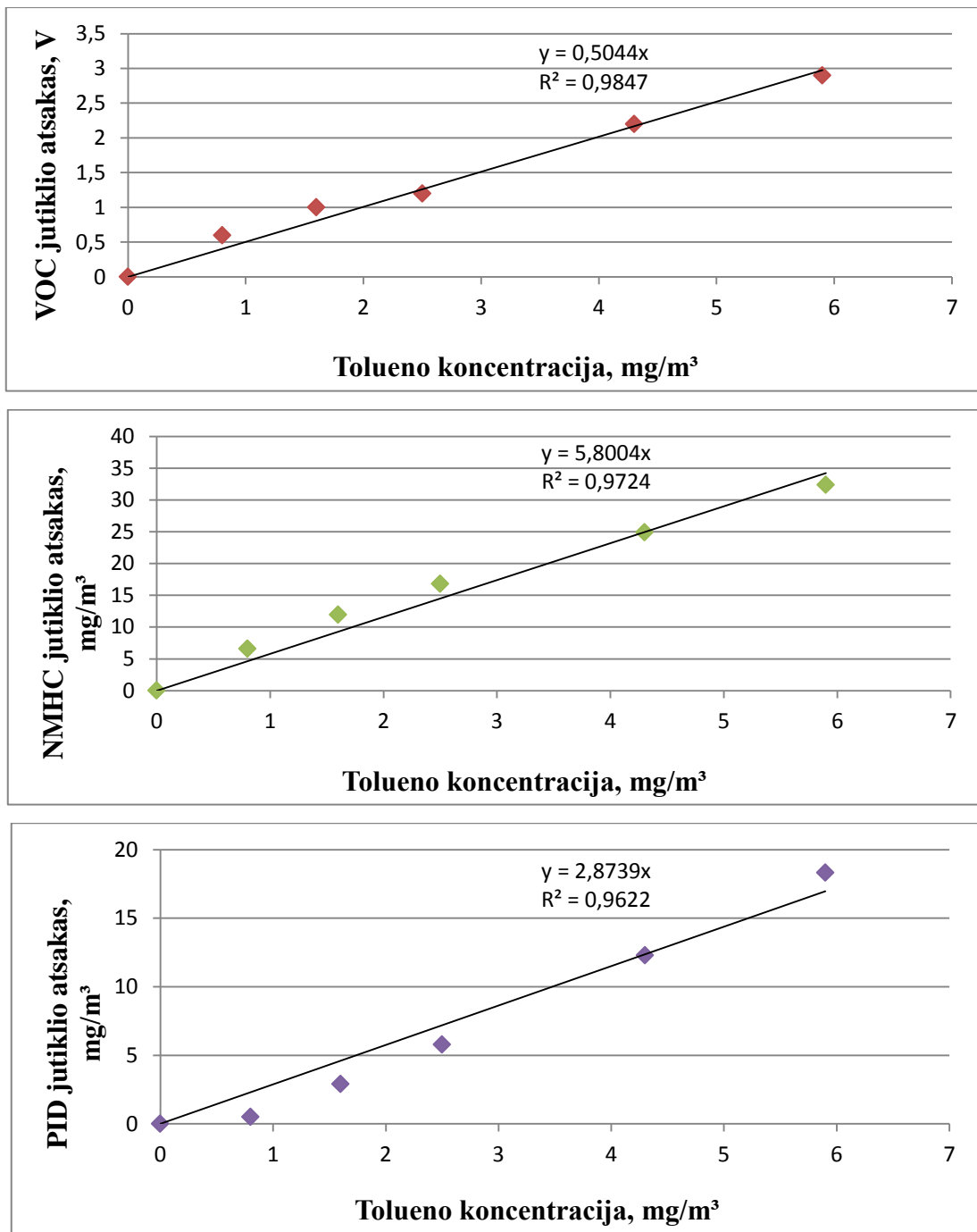
Išnagrinėsime visų trijų jutiklių efektyvumą aptinkant dujinių teršalų (acetono, tolueno, ir trichloretileno) koncentracijas. Tyrimo metu buvo siekiama ištirti, koks jutiklių jautrumas nustatant teršalų koncentracijas. Visų atliktų jutiklių duomenims taikytas tiesinės regresinės analizės modelis.



3.1 pav. Tiriamų jutiklių atsako priklausomybė nuo acetono koncentracijos

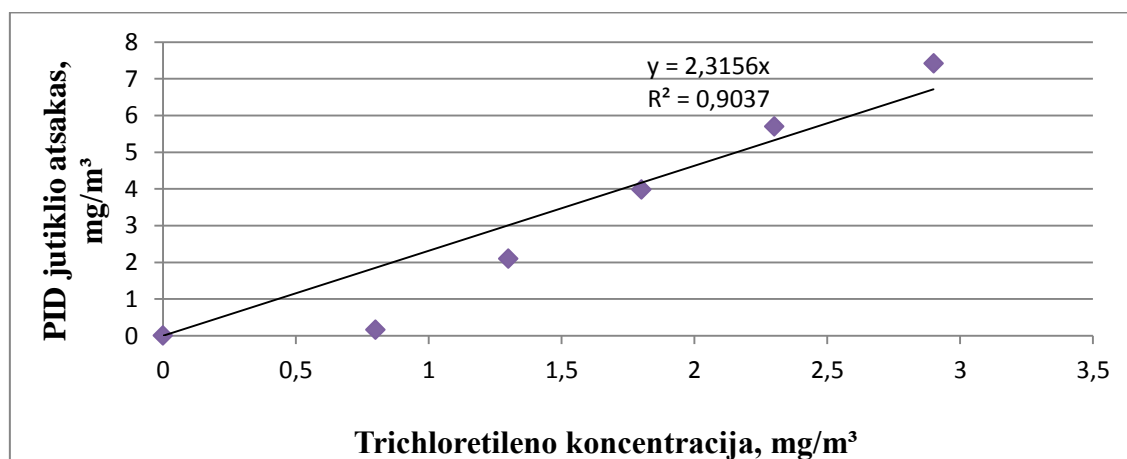
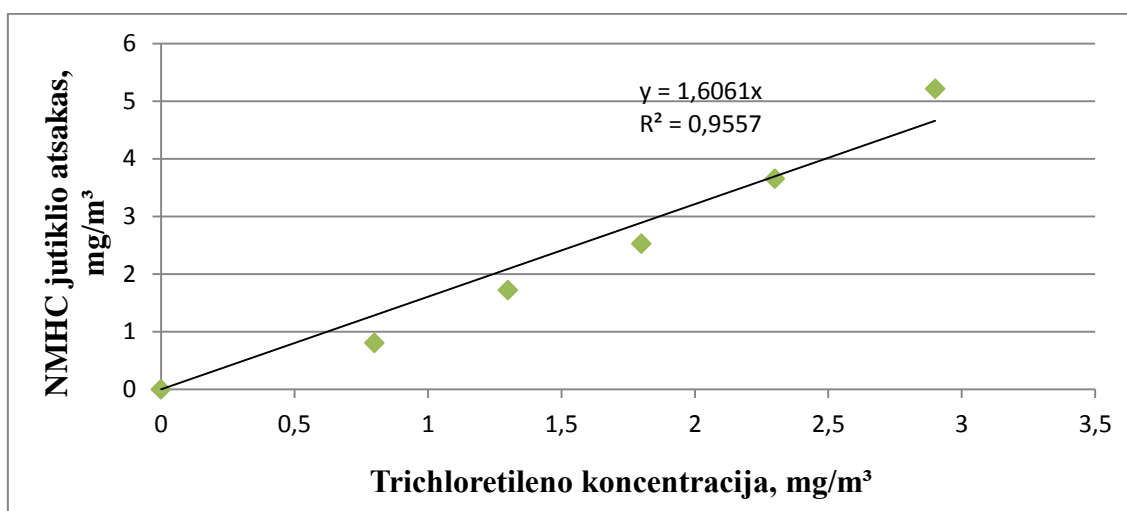
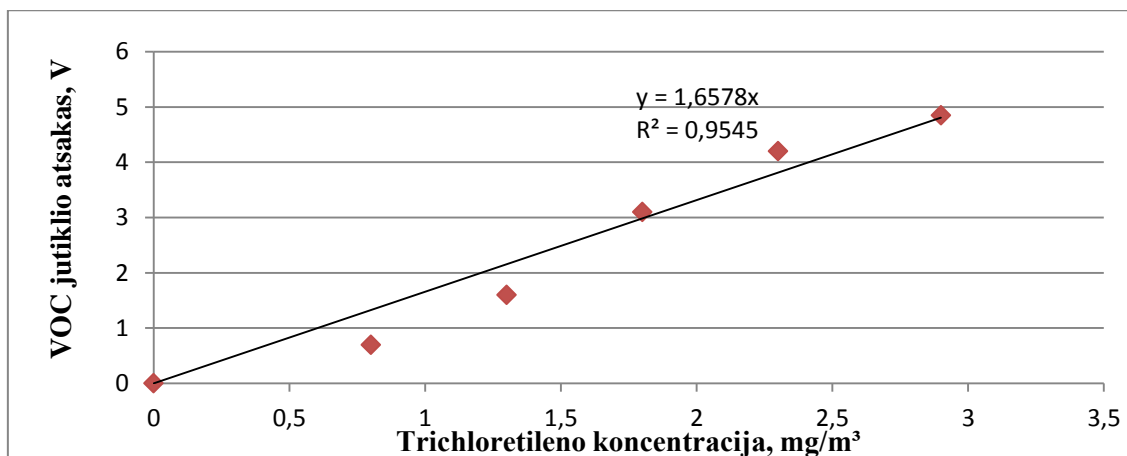
Iš 3.1 paveikslo matome, kad pateiktuose tyrimo rezultatuose matyti metalų oksidų (VOC), nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) ir fotojonizacinio jutiklio (PID) priklausomybės

ir regresijos lygtys. Tyrimo metu naudoto metalų oksidų (VOC) jutiklio apibrėžtumo koeficientas $R^2=0,7628$; NMHC jutiklio $R^2=0,9964$; Fotojonizacinio jutiklio (PID) $R^2=0,9995$.



3.2 pav. Tiriamų jutiklių atsako priklausomybė nuo tolueno koncentracijos

Iš 3.2 paveikslo matome, kad pateiktuose tyrimo rezultatuose matyti metalų oksidų (VOC), nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) ir fotojonizacinio jutiklio (PID) jutiklių priklausomybės ir regresijos lygtys. Tyrimo metu metalų oksidų (VOC) jutiklio apibrėžtumo koeficientas buvo $R^2=0,9874$. Nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) $R^2=0,9724$. Fotojonizacinio jutiklio (PID) $R^2=0,9622$.



3.3 pav. Tiriamų jutiklių atsako priklausomybė nuo trichloretileno koncentracijos

Iš 3.3 paveikslą matome, kad pateiktuose tyrimo rezultatuose matyti metalų oksidų (VOC), nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) ir fotojonizacinio jutiklio (PID) jutiklių priklausomybės ir regresijos lygtys. Tyrimo metu naudoto metalų oksidų (VOC) jutiklio apibrėžtumo koeficientas $R^2=0,9545$. Nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) $R^2=0,9557$. Fotojonizacinio jutiklio (PID) $R^2=0,9037$.

Siekiant palyginti ir apibendrinti skirtingų jutiklių atsakus į žinomo teršalo koncentracijas buvo atliktas statistinis duomenų apdorojimas. Statistinė duomenų analizė atlikta naudojantis „Microsoft Office Excel 2010“ programine įranga.

3.4 lentelėje pateiktos jutiklių parodymų koreliacijos. Iš lentelės matyti, labai stiprus ryšys yra tarp visų tyrime naudojamų jutiklių. Pastebimas mažiausias metalų oksidų (VOC) jutiklio gautas ryšys su acetono koncentracija buvo ($r=0,942$). Geriausiai iš visų analizuojamų jutiklių statistškai patikimiausiai koreliavo su acetono koncentracija – fotojonizacinio jutiklis (PID) ($r=1,000$). Tarpusavio ryšio geriausia koreliacija buvo tarp nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) su fotojonizacinio jutiklio (PID) ($r=0,999$).

3.4 lentelė. Jutiklių parodymų ir acetono koncentracijos koreliacija

	Acetonas	VOC	NMHC	PID
Acetonas	1			
VOC	0,942	1		
NMHC	0,999	0,953	1	
PID	1,000	0,945	0,999	1

3.5 lentelė. Jutiklių parodymų ir tolueno koncentracijos koreliacija

	Toluenas	VOC	NMHC	PID
Toluenas	1			
VOC	0,995	1		
NMHC	0,993	0,994	1	
PID	0,992	0,980	0,971	1

Koreliacijos tarp jutiklių parodymų ir tolueno koncentracijos pateiktos 3.5 lentelėje, kurioje matyti, jog labai stiprus ryšys yra tarp visų tyrime naudojamų jutiklių. Atsižvelgiant į visų jutiklių koreliacijas, nemetaninių angliavandenilių jutiklio (NMHC) ir fotojonizacinio jutiklio (PID) gautas ryšys buvo mažiausias ($r=0,971$). Statistiškai patikimiausiai su tolueno koncentracija koreliavo metalų oksidų (VOC) jutiklio atsakas ($r=0,995$).

3.6 lentelėje pateiktos visos koreliacijos tarp analizuojamų jutiklių ir trichloretileno koncentracijos.

3.6 lentelė. Jutiklių parodymų ir trichloretileno koncentracijos koreliacija

	Trichlor-etilenas	VOC	NMHC	PID
Trichlor-etilenas	1			
VOC	0,983	1		
NMHC	0,986	0,980	1	
PID	0,971	0,991	0,987	1

Lentelėje matyti, jog labai stiprus ryšys yra tarp visų tyrime naudojamų jutiklių. Atsižvelgiant į visų jutiklių koreliacijas, lyginant su trichloretileno koncentracija, fotojonizacinio jutiklio (PID) gautas statistinis ryšys buvo mažiausias ($r=0,971$). Jutiklių tarpusavio koreliacijoje statistiškai geriausiai koreliavo fotojonizacinio jutiklis (PID) su metalų oksidų (VOC) jutikliu ($r=0,991$).

3.3. Tyrimų rezultatų apibendrinimas

Atlikus trijų junginių koncentracijos nustatymą skirtingais jutikliais buvo gauti rezultatai, kurie parodė, kad visų trijų naudojamų jutiklių parodymai skiriasi nuo žinomų koncentracijos parodymų.

Apskaičiavus apibrėžtumo koeficientą nustatyta, kiek procentų jutiklių matavimo rezultatų atitinka kreivės priklausomybę nuo žinomos junginio koncentracijos. Mažiausias gautas apibrėžtumo koeficientas tiriant acetono koncentraciją buvo metalų oksidų (VOC) jutiklio – $R^2=0,7628$, didžiausias – fotojonizacinio jutiklio (PID) $R^2=0,9995$.

Iš tiesinės regresinės analizės modelio matyti, kad kuo didesnis nuolydžio koeficientas, tuo jutiklio jautrumas didesnis. Nemetaninių angliavandenilių (NMHC) jutiklis yra jautriausias acetono koncentracijai, nes jo nuolydžio koeficientas didžiausias – 21,432. Analizuojant tolueno koncentraciją jautriausias jutiklis yra taip pat nemetaninių angliavandenilių (NMHC), jo nuolydžio koeficientas – 5,8004. Trichloretileno koncentracijai jautriausias jutiklis yra fotojonizacinis jutiklis (PID), jo nuolydžio koeficientas yra 2,3156. Tarp visų junginių mažiausiai jautrus yra VOC jutiklis matuojant tolueno koncentraciją, jo nuolydžio koeficientas – 0,5044.

Iš grafikų matyti, kad ašys skiriasi, taip yra todėl, kad jutikliai parodė skirtingą savo atsaką į to paties teršalo koncentraciją.

Atlikus jutiklių parodymų tarpusavio, bei tiriamų junginių koncentracijos koreliacijas, buvo apskaičiuotas koreliacijos koeficientas. Visų jutiklių parodymų priklausomybės nuo dujinių teršalų koncentracijų buvo gautos labai stiprios koreliacijos (visi gauti koreliacijos koeficientai nuo 0,9 iki 1,0).

Jutiklių jautrumas skyrėsi priklausomai nuo matuojamo junginio, tačiau stipri koreliacija tarp jų parodymų leidžia daryti išvadą, jog visi jutikliai, įskaitant ir paprastos konstrukcijos metalų oksidų jutiklius, gali būti lygiavertiškai naudojami oro kokybės vertinimui.

Tęsiant pradėtus tyrimus, vertėtų patikrinti jutiklių atsaką su dujų mišiniais, taip pat siurblio dozuojamą koncentraciją patikrinti chromatografijos metodu.

IŠVADOS

1. Apibendrinus literatūros analizę galima teigti, kad patalpose didelė problema išlieka lakūs organiniai junginiai, nes jų yra daug iš įvairių šaltinių.
2. Apžvelgus literatūros šaltinius, teršalų koncentracijoms nustatyti dažniausiai naudojamos daug jutiklių viename prietaise turinčios monitoringo priemonės, kuriuose sumontuoti puslaidininkiai dujų jutikliai, elektrocheminiai dujų jutikliai, infraraudonųjų spindulių jutikliai.
3. Atlikus tyrimą su dujiniais teršalais, nustatytas skirtingas jutiklių jautrumas, bet jų tarpusavio rodmenys stipriai koreliavo, kas leidžia daryti išvadą, jog visi jutikliai, įskaitant ir paprastos konstrukcijos metalų oksidų jutiklius, gali būti lygiavertiškai naudojami oro kokybės vertinimui.
4. Norint jutiklius panaudoti oro kokybės valdymui, kalibravimas reikalingas dažniau nei numatyta gamintojo rekomendacijose.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Patalpų oro taršos šaltiniai ir jų poveikis žmogui [interaktyvus]. Aleksandro Stulginskio Universitetas [žiūrėta 2015 05 12]. Prieiga per internetą: <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/rekreacijabioa/11.htm>
2. Volatile Organic Compounds Impact on indoor Air Quality [interaktyvus]. EPA [žiūrėta 2016 05 06]. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality#main-content>.
3. Interior Pains and Indoor Air Pollution [interaktyvus]. Air Quality Sciences, 2003 [žiūrėta 2016 05 11]. Prieiga per internetą: <http://cool.conservation-us.org/byorg/abbey/an/an26/an26-5/an26-511.html>
4. Prasauskas T. (2014). *Oro tarša aerozolio dalelėmis pastatų atnaujinimo ir eksploatacijos metu*. Daktaro disertacijos santrauka. Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija. Kaunas: Kauno Technologijos Universitetas.
5. Joshi S.M. The sick building syndrome. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2008, vol. 12, p.61–64.
6. Anglies monoksidas (Smalkės) [interaktyvus]. Saugus pasaulis, n.d. [žiūrėta 2016 05 07]. Prieiga per internetą: <http://www.sauguspasaulis.lt/straipsniu-rubrika-2/smalkes>.
7. Carbon Dioxide [interaktyvus]. Minnesota Department of Health, n.d. [žiūrėta 2016 05 07]. Prieiga per internetą: <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/indoorair/co2/index.html>
8. Kreuzer M., McLaughlin J. Who Guidelines for indoor Air Quality: Selected Pollutants. Radon [interaktyvus]. World Health Organization, 2010 [žiūrėta 2016 05 07]. Prieiga per internetą: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138712>.
9. Bureau of Toxic substance Assessment. Tenant notification fact sheet for acetone [interaktyvus]. New York State Department of Health, 2014 [žiūrėta 2016 05 06]. Prieiga per internetą: <https://www.health.ny.gov/environmental/indoors/air/contaminants/docs/acetone.pdf>.
10. Residential Indoor Air Quality Guideline: Ozone [interaktyvus]. Health Canada, 2010 [žiūrėta 2016 05 07]. Prieiga per internetą: <http://healthycanadians.gc.ca/publications/healthy-living-vie-saine/ozone/index-eng.php>

11. Harrison R., Delgado Saborit J.M., Dor F., Henderson R. Who Guidelines for indoor Air Quality: Selected Pollutants. Benzene [interaktyvus]. World Health Organization, 2010 [žiūrėta 2016 05 11]. Prieiga per internetą: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138708/>
12. Public Health Statement for Benzene [interaktyvus]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007 [žiūrėta 2016 05 11]. Prieiga per internetą: <http://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=37&tid=14>
13. Bonvallot N., Harrison P., Loh M. Who Guidelines for indoor Air Quality: Selected Pollutants. Trichloroethylene [interaktyvus]. World Health Organization, 2010 [žiūrėta 2016 05 06]. Prieiga per internetą: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138713>.
14. Environmental and Workplace Health. Toluene in Indoor Air [interaktyvus]. Health Canada, n.d. [žiūrėta 2016 05 06]. Prieiga per internetą: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/toluene/fact-info-eng.php>.
15. Photoionization Detectors [interaktyvus]. Rae systems, 2016 [žiūrėta 2016 05 11]. Prieiga per internetą: <http://www.raesystems.com/solutions/photoionization-detectors-pids>
16. Theory and operation of NDIR sensors [interaktyvus]. Rae systems, 2016 [žiūrėta 2016 05 12]. Prieiga per internetą: http://www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/Technical-Note-169_Theory-and-Operation-of-NDIR-Sensors_04-02.pdf
17. Kanalinis oro kokybės jutiklis [interaktyvus]. Sentera controls [žiūrėta 2015 06 02]. Prieiga per internetą: <http://www.senteracontrols.com/pdf/lithuanian/ds-drq-lt.pdf>
18. „AeroQUAL 930“ dujinis matuoklis (2014) [interaktyvus]. Sentera controls [žiūrėta 2015 06 02]. Prieiga per internetą: <http://www.aeroqual.com/wp-content/uploads/S930-User-Guide.pdf>
19. IAQPoint2 patalpų oro kokybės stebėsenos prietaisas [interaktyvus] Honeywell analytics [žiūrėta 2016 04 18], Prieiga per internetą: <http://www.honeywellanalytics.com/en/products/IAQPoint2>
20. Hajime H., Sumiyo I. Yukiko F. Toru I. Evaluation of a real-time method for monitoring volatile organic compounds in indoor air in a Japanese university. *The Japanese Society for Hygiene*, 2012.

21. Zampolli S., Elmi I., Amhmed F., M.Passini, Cardinali G.C., Nicoletti S., Dori L. An electronic nose based on solid state sensor arrays for low-cost indoor air quality monitoring applications. *Sensors and Actuators*, 2007, vol. 101. p. 39–46.
22. Dujų analizatorius „X-am 7000“ [interaktyvus]. Avista, 2016 [žiūrėta 2016 05 12]. Prieiga per internetą: http://www.avsista.lt/TvsDocs/Duju%20analizatoriai/Nesiojami_duju_matavimo_prietaisai_%28Draeger%29_%28Vokietija%29.pdf
23. „AeroQUAL 60“ Indoor Air quality monitor [interaktyvus]. Aeroqual, 2010 [žiūrėta 2015 11 25] Prieiga per internetą: http://www.ert.pt/24/images/stories/catalogos/aeroqual/AQL_IQM60_Brochure.pdf
24. „Mastech“ skaitmeninis anemometras [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 11 25]. Prieiga per internetą: <http://lt.store-ch.com/product/7982231e0/>
25. Jus-Tis [interaktyvus]. TVOC monitor [žiūrėta 2015 11 25] Prieiga per internetą: http://www.justis.as-1.co.jp/jus-tis/web/DetailEnglish.aspx?sid=justis&catalog=GK&group=2008035185&no=&op_from=jus-tis
26. Radiello Manual [interaktyvus]. [žiūrėta 2015 11 25]. Prieiga per internetą: http://www.lsc.gr/attachments/file/radiello_manual_code.pdf

1 PRIEDAS. „AEROQUAL IQM 60“ MONITORINGO PRIETAISO SPECIFIKACIJOS

Dujų moduliai	Jutiklio tipas	Ribos (ppm)	Min. aptikimo limitas (ppm)	Gamyklinio kalibravimo tikslumas	Tikslumas (ppm)	Rezo-liucija
Anglies Dioksido	Nedispersinis infraraudonųjų spindulių matuoklis	0–2000	6	<40 ppm + 3%	10	1
Anglies Dioksido	Nedispersinis infraraudonųjų spindulių matuoklis	0–5000	6	<150 ppm + 5%	10	1
Anglies monoksido	Elektrocheminis dujų jutiklis	0-100	0,2	<±2 ppm 0–20 ppm; <±10% 20–100 ppm	0,2	0,1
Ozono	Puslaidininkis dujų jutiklis	0–0,15	0,001	<±0,005 ppm	0,002	0,001
Ozono	Puslaidininkis dujų jutiklis	0–0,5	0,001	<±0,008 0–0,1 ppm; <±10% 0,1–0,5 ppm	0,005	0,001
Azoto dioksido	Puslaidininkis dujų jutiklis	0–0,2	0,001	<±0,010 0–0,1 ppm; <±10% 0,1–0,2 ppm	0,005	0,001
LOJ	Fotojonizacinis jutiklis	0–20	0,01	<±10%	0,02	0,01
Nemetaninių angliavandenilių	Puslaidininkis dujų jutiklis	0–25	0,1	<±10%	0,2	0,1
LOJ	Puslaidininkis dujų jutiklis	0–25	0,1	<±10%	0,2	0,1