



VILNIAUS UNIVERSITETAS
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS
BIOMOKSLŲ INSTITUTAS

Dominyka Tiškutė

Aplinkotyros ir aplinkotvarkos studijų programa

Magistrantūros baigiamasis darbas

Visuomeninių patalpų oro tarša ozonu

Darbo vadovas: Doc. Dr. Gytautas Ignatavičius

Vilnius, 2024

TURINYS

Santrumpos	3
ĮVADAS	4
Tikslas ir uždaviniai	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	7
1.1 OZONAS KAIP TERŠALAS	7
1.2 IŠ KUR OZONAS ATSIKANDA?	7
1.3 STRATOSFEROS IR PAŽEMIO OZONAS	10
1.4 OZONO POVEIKIS SVEIKATAI	13
2. MEDŽIAGA IR METODIKA.....	16
2.1 Tyrimo objektas.....	16
2.2 Tyrimui naudota įranga.....	16
2.3 Ozono matavimai kopijavimo aparatų kambariuose	18
2.4 Ozono matavimai centrifugų kambariuose	20
2.5 Tyrimo duomenų analizė	20
3. TYRIMO REZULTATAI.....	22
3.1 Kopijavimo kambarių rezultatai.....	22
3.2 Centrifugų kambarių rezultatai	26
IŠVADOS.....	31
REKOMENDACIJOS.....	32
SANTRAUKOS	33
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	35

Santrumpos

μl – mikrolitras

μm - mikrometras

% - procentas

CO₂ - anglies dioksidas

ILC – tarptautinė teisės komisija

LOJ – lakieji organiniai junginiai

Nox – azoto oksidas

PCO – fotokatalitinė oksidacija

PM_{2,5} - kietosios dalelės

Ppb – milijardinės dakys

Ppm - milijoninės dalys

SOA – antrinis organinis aerozolis

UV – ultravioletiniai spinduliai

UVA – ultravioletas A

UVB – ultravioletas - B

UVC – ultravioletas C

IVADAS

Ozonas (O_3), tai deguonies alotropinė forma, molekulė, kurią sudaro trys deguonies atomai. Jis yra vienas iš labiausiai atmosferoje pasiskirsčiusių taršos dujų. Normalioje temperatūroje ir slėgyje ozonas yra balkšvai melsvos, nuodingos dujos (Skominas, 2010).

Pastaraisiais dešimtmečiais didėja visuomenės susirūpinimas dėl prastos patalpų oro kokybės miesto vietovėse, kuri daro neigiamą poveikį žmonių sveikatai (Kagi *et al.*, 2007). Žmonės didžiąją laiko dalį praleidžia patalpose, gyvenamosiose vietose, darbo biuruose ar viešuosiuose pastatuose, kur dėl prastos patalpų ventiliacijos oro teršalai paprastai yra daug didesni nei lauke (Tovalin ir Whitehead, 2007). Šiais laikais elektroninė įranga, tokia kaip kopijavimo aparatai, spausdintuvai, fakso aparatai ir lazeriniai spausdintuvai, yra labai paplitę darbo ofisų aplinkoje. Ši elektroninė įranga prisideda prie pirminių teršalų, tokių kaip ozonas, lakieji organiniai junginiai (LOJ) ir kietosios dalelės (Lee *et al.*, 2001), išmetimo į patalpų aplinką.

Patalpų ozoną daugiausia išskiria kopijavimo aparatai, lazeriniai spausdintuvai, ozono generatoriai ir kiti elektros prietaisai (Weschler., 2000). Patalpų ozonas taip pat susidaro dėl iškrovos iš elektrostatiinių oro valymo įrenginių (Islamov ir Krishtafovich, 2011). Kopijavimo aparatai yra laikomi svarbia priemone švietimo įstaigose ir komerciniuose darbo ofisuose. Nors kopijavimo aparatai yra svarbūs, tačiau jie taip pat yra ozono emisijos šaltinis jų veikimo metu. Spausdintuvai ir kopijavimo aparatai labai skatina ozono ir LOJ išskyrimą (Xiaogang ir Liu, 2009). Kopijavimo aparatai taip pat skleidžia šviesą tiek UV, tiek matomo diapazono spinduliuote. Fotokopijavimo aparato fluorescencinė lempa veikia kaip UV spinduliuotės šaltinis (Brown *et al.*, 2000). Fotokopijavimo metu išsiskiriantis ozonas gali padidinti darbuotojų ir kopijavimo centrų lankytojų sveikatos pavojų. Ozono poveikis žmogaus šnervei, gerklei ir akims yra daug stipresnis nei kitų teršalų. Ilgalaikis kopijavimo aparatų emisijų poveikis buvo susijęs ne tik su susilpnėjusia plaučių funkcija, bet ir sukėlė didelį oksidacinį stresą bei sisteminį uždegimą, dėl kurio kilo didelis širdies ir kraujagyslių ligų pavojus (Elango *et al.*, 2013). Kasdienis didelio ozono kiekio poveikis gali sukelti plaučių pažeidimą ir dažnus astmos priepuolius, net esant labai mažoms ozono koncentracijoms (Mortimer *et al.*, 2002).

Ankstesni tyrimai, kad padidėjo DNR pažeidimai operatoriams, kurie dirba kopijavimo aparatų centruose. Taip pat vaikai, gyvenantys ozono užterštoje vietovėje, paprastai turi tris kartus didesnę riziką susirgti astma, palyginti su tais, kurie gyvena švarioje aplinkoje (Sousa *et al.*, 2011). Vaikai ir pagyvenę žmonės yra jautresni ozonui. Ozono koncentracijai ore padidėjus 20 ppb (parts per billion – milijardinė dalis), vaikų, turinčių kvėpavimo sutrikimų, skaičius

padidėja 83 % (Gilliland *et al.*, 2001). Pagal klasifikaciją, kai koncentracija pasiekia 50,9 ppb ir 152,8 ppb, žmonėms gali skaudėti galvą ir dirginti akis (Sundell, 2004). Be ozono, UV spinduliuotė taip pat daro neigiamą poveikį žmonių sveikatai. Ilgalaikis UV spindulių poveikis gali turėti ūmų ir lėtinį poveikį odai, akims ir imuninei sistemai, taip pat sukelia net odos eritemą. UVA, UVB ir UVC gali pažeisti kolageno skaidulas ir dar labiau paspartinti odos senėjimą. UVA ir UVB sunaikina vitamino A odoje. Didelis UVB spinduliuotės intensyvumas yra pavojingas akims ir gali sukelti suvirintojo blyksnį ir gali sukelti kataraktos susidarymą (Girolamo *et al.*, 2003).

Tikslas

Išanalizuoti visuomeninių ir pasirinkto biuro ofiso patalpų oro užterštumo ozonu problemą, įvertinti pavojų darbuotojų sveikatai, kylantį dėl ofisinių patalpų oro užterštumo ozonu.

Uždaviniai:

1. Remiantis mokslinės literatūros šaltiniais identifikuoti pagrindinius ozono koncentracijos didėjimo šaltinius.
2. Išmatuoti ozono koncentracijas pasirinktuose skirtingos paskirties patalpose.
3. Nustatyti skirtingos biuro darbui reikalingos įrangos naudojimo įtaką ozono koncentracijų padidėjimui tiriamos įmonės vidaus patalpose.
4. Atsižvelgianti į galiojančius aplinkosauginius reikalavimus, įvertinti tirtos įmonės vidaus patalpose nustatytus ozono koncentracijų pokyčius.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 OZONAS KAIP TERŠALAS

Ozonas yra bespalvės ir bekvapės, labai nestabilios dujos, kurios yra rimta oro kokybės problemos priežastis. Nors ozonas natūraliai susidaro atmosferoje (stratosferoje), žemėje, jis yra oro teršalas, galintis pakenkti žmonių sveikatai. Net esant žemam ozono lygiui, jis gali sukelti daugybę kvėpavimo takų problemų (Weschler, 2000). Ozono koncentracija patalpose priklauso nuo daugelio veiksnių, tam įtakos turi ir kambaryje ar patalboje esantys baldai, kilimai užuolaidos ir kiti esantys daiktai (Suddell ir Zuber, 1996).

Ozono molekulė gali sukelti įvairius padarinius sveikatai. Pavyzdžiui, JAV Maisto ir vaistų administracija (FDA) nustatė ozono lygį, kaip didžiausią leistiną ozono lygį uždaroje aplinkoje, tokioje kaip namai, darbo ofisai ir viešose vietose - 0,05 ppm. Darbuotojų saugos ir sveikatos administracija (OSHA) reikalauja, kad darbuotojai 8 valandas nebūtų veikiami koncentracijos, viršijančios 0,10 ppm. Nacionalinis darbuotojų saugos ir sveikatos institutas (NIOSH) rekomenduoja ne daugiau kaip 0,10 ppm. EPA nurodo, kad 80–160 ppb ozono poveikis žmonėms gali sukelti įvairius padarinius sveikatai ir tokius simptomus kaip kosulys, akių ir gerklės dirginimas (US EPA, 1996). Amerikos vyriausybinų pramonės higienistų konferencija (ACGIH) išvardija TLV-TWA vertes, atsižvelgiant į darbo rūšį: 0,01 ppm (lengvas darbas), 0,08 ppm (vidutinis darbas), 0,05 ppm (sunkus darbas).

Ozono koncentracija patalpose gali skirtis kasdien ir įvairiose patalpose, ozono emisijos iš lazerinio spausdintuvo buvo tiriamos vienoje biuro įrangos (asmeninių kompiuterių, vieno kopijavimo aparato ir dviejų lazerinių spausdintuvų) patalpoje. Kiekvienas matavimo testas buvo atliktas su išpūtimo sistema ir be jos. Nustatyta, kad lazeriniai spausdintuvai išskiria didelius ozono kiekius, tačiau ozono koncentracija buvo sumažinta naudojant vedinimo sistemą (Baur *et al.*, 2004).

1.2 IŠ KUR OZONAS ATsiranda?

Ozono susidarymas priklauso nuo saulės intensyvumo, kuris yra tiesiogiai susijęs su atmosferos temperatūra. Įdomu tai, kad sumažėjus anglies aerolių (pvz., suodžių), išsiskiriančių deginant anglis, dyzelį ir biomasę, koncentracija aplinkoje didėja, taip pat, didėja atmosferos matomumas, todėl didėja saulės intensyvumas, skatinantis ozono susidarymą. Dar svarbiau, kad kietosios dalelės (pvz., dalelės, kurių aerodinaminis skersmuo yra 2,5 μm arba mažesnis, pažymėtos kaip PM_{2,5}) gali būti laisvųjų radikalų, atsakingų už ozono susidarymą, absorbcija (Amann *et al.*, 1997).

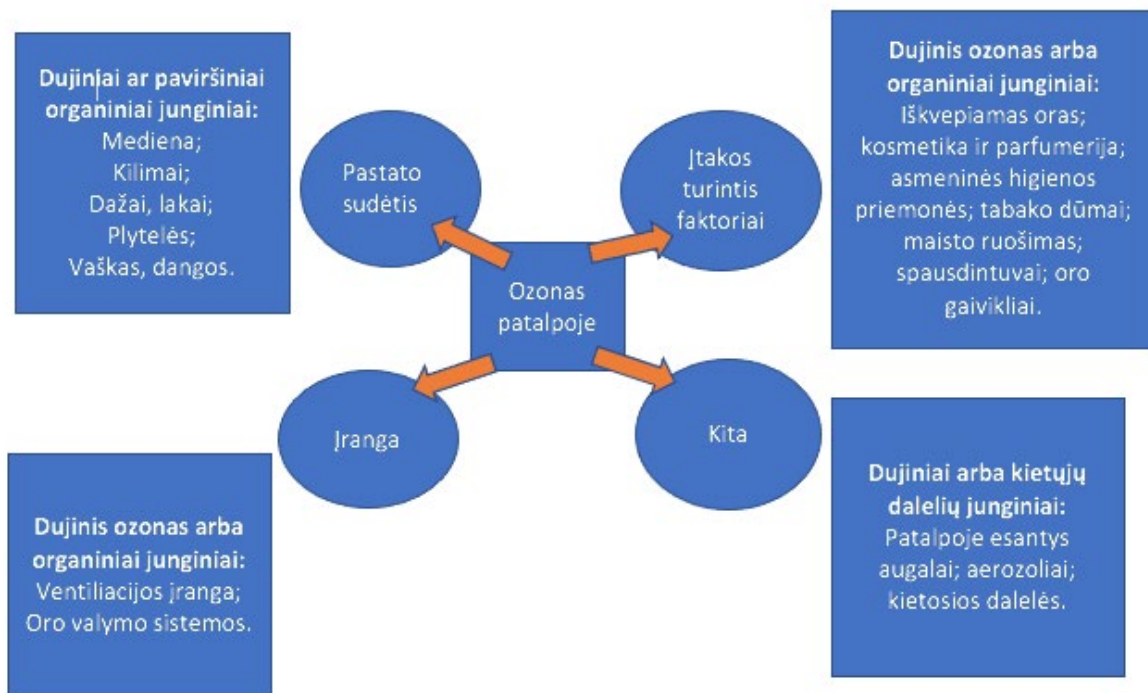
Remiantis Lietuvos higienos normos HN 35:2007 “Didžiausia leidžiamų cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“ nustatytais ozono koncentracijomis gyvenamosios paskirties ir viešosios paskirties patalpose (1 lentelė), ozono koncentracija negali viršyti tiek vienkartinės, tiek paros didžiausios leidžiamos koncentracijų.

1 lentelė. Lietuvos higienos normos HN 35:2007 “Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore”.

Eil. Nr.	Cheminės medžiagos pavadinimas	CAS Nr.	Kvapo pobūdis	Kvapo slenksčio vertė mg/m ³	Didžiausia leidžiama koncentracija(DLK), mg/m ³ (vienkartinė / paros)	
264.	Ozonas	10028-15-6	-	-	0,16	0,03

Lauko ir vidaus ozono koncentracija skiriasi priklausomai nuo metų laikų, paros meto, net ir nuo vėdinimo (ŠVOK) sistemų stiliaus ir patalpų struktūros. Lauko ozono koncentracijos pokytis dėl klimato sąlygų ir žmogaus sukulto faktoriaus įtakos fotocheminio smogo susidarymui, lauko ozono koncentracija kinta sezoniškai. Apskritai vasarą koncentracija lauke yra didesnė, o žiemą mažesnė. Ozono koncentracija lauke taip pat kinta per vieną dieną. Priešpiet vis pakyla, aukščiausią tašką pasiekia vidurdienį arba popietę, vėliau mažėja, o naktį arba iki ankstyvo ryto išlieka žemesniame lygyje. Lauko ozonas, kuris patenka per vėdinimo sistemą yra pagrindinė ozono koncentracijos patalpose priežastis. Tačiau patalpose yra ir kitų įrangų, kurios turi įtakos ozono koncentracijai tokių, kaip oro valymo įranga (jonizuojantis oro valytuvas ir neigiamų jonų generatorius), sauso oro kopijavimo įranga ir lazerinis spausdintuvas (Liu *et al.*, 2000). Kasdienis ozono įkvėpimas patalpose sudaro 25–60 % viso per dieną suvartojamo ozono kiekio, o kasdienis ozonavimo produktų įkvėpimas sudaro 33–200 % patalpose suvartojamo ozono kiekio. Kadangi žmonės 90 % laiko praleidžia pastatuose, ozono koncentracija patalpose, kuriai įtakos turi ir klimato kaita, yra reikšminga tyrimams (Weschler, 2006). Patalpų ozono lygis priklauso nuo vidinės generacijos greičio, nuotėkio greičio, vėdinimo greičio ir oro filtravimo efektyvumo. Paprastai patalpų ozono koncentracijos yra mažesnės nei lauko, nes pastato apvalkalas labai padeda filtruoti ozoną (Walker ir Sherman, 2013). Atsižvelgiant į edukacinių įstaigų patalpas, kaip mokyklos, tai mokyklų patalpų ir lauko santykis yra 0,13–0,8 (de Gennaro *et al.*, 2014). Patalpose esantis ozonas daugiausia atsiranda dėl ozono įsiskverbimo lauke. Pirmame paveiksle išvardyti vidiniai šaltiniai, tokie kaip spausdintuvai, kopijavimo aparatai ir elektrostatiniai oro valytuvai, tam tikru mastu taip pat prisideda prie ozono lygio padidėjimo patalpose (de Gennaro *et al.*, 2014). Taigi, oro mainai

vaidina svarbų vaidmenį nustatant patalpų ozono lygį. Pastatus be mechaninių vėdinimo sistemų labiau paveiks lauke esantis ozono lygis, kuris patenka į pastatus per infiltraciją. Pastatai, įrengti su mechanine vėdinimo sistema, filtruoja daugiau lauko ozono, nes padidėja ozono kontakto su paviršiumi ir vėliau skilimo tikimybė. ŠVOK filtrų, pagamintų iš poliesterio pluošto arba stiklo pluošto, ozono pašalinimo efektyvumas buvo 0,5–6% (Lin ir Chen, 2014). Sumažinus vėdinimo greitį piko valandomis, kai lauke yra didelė ozono koncentracija, sumažės ozono įsisavinimas (Walker ir Sherman, 2013).



1 pav. Patalpų ozonas ir LOJ šaltiniai ozonavimui (pagal Zhong *et al.*, 2017).

Patalpų paviršiai pasyviai šalina ozoną dėl paviršiaus reakcijų ir ozono irimo, tuo pačiu metu susidaro aerosoliai ir LOJ, kurie patenka į patalpų orą. Tokios medžiagos kaip kilimai, lubų plytelės ir dažai buvo atrinkti kaip įprastos statybinės medžiagos ozono šalinimo bandymams, o bendras pirminio karbonilo (įskaitant C1–C10 sočiuosius karbonilus) emisijos lygis iš kilimų, lubų plytelių ir dažytų gipso kartono plokščių svyravo nuo 70 iki 276 g/m² val., 0–12 g/m² val. ir 0–30 g/m² val. (Gall *et al.*, 2013). Kai kilimas buvo veikiamas ozonu buvo nustatytos didelės aromatinių aldehydų koncentracijos (parašyčiau reikšmės kokios) (Darling *et al.*, 2012). Nustatyta, kad iš dažytų medinių plokščių išsiskiriantis limonenas labiausiai reaguoja su ozonu, todėl žymiai padidėja formaldehido kiekis (Huang *et al.*, 2012).

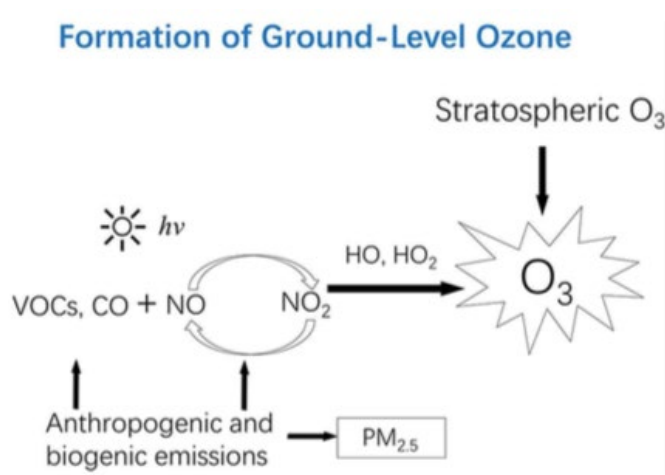
Ozonavimas su nesočiaisiais lakiaisiais junginiais, kai ozonas prasiskverbia pro sienelės plyšį, ir modeliuojamas naudojant skaičiavimo skysčių dinamiką (Gao ir Zhang, 2012). Todėl ozonavimo greitis priklauso nuo pastate esančių medžiagų kiekio ir jų tipo bei iš statybinių medžiagų išskiriamų organinių cheminių medžiagų koncentracijos ir jų tipo (de Gennaro *et al.*, 2014). Buvo sukurta daugybė polimerų, turinčių dvigubas jungtis, kurie matomi šiose statybinėse medžiagose ir plačiai naudojami pastatams (Brimblecombe, 2003). Atitinkami patalpų oro taršos pokyčiai bus didžiuliai dėl polimerinių paviršių ozonavimo. Todėl tikimasi, kad šio tipo patalpų oksidacijos produktai yra sudėtingesni ir jų koncentracija toliau didės. Oro valytuvai skirti išvalyti ir pagerinti patalpų oro kokybę. Tačiau kai kurių oro valytuvų, tokių kaip neterminė plazma (NTP), elektrostatinis nusodintuvas (ESP) ir ozono generatorius, veikimo principai neišvengiamai sukuria ozono išsiskyrimą, o tai gali kelti pavojų žmonių sveikatai, kol jie pašalinami kitų oro teršalų. Rezultatai parodė, kad ozono pagrindu sukurtos oro valymo technologijos gali žymiai padidinti ozono lygį patalpoje arba jų ortakiuose (Ardkapan *et al.*, 2013). Be to, padidėjęs ozono lygis gali prisidėti prie UFP susidarymo ir atitinkamai padidėjusios UFP koncentracijos patalpų aplinkoje (Ardkapan *et al.*, 2014). ESP yra vienas iš būdų kontroliuoti UFP koncentraciją pastatuose, kurie gali sukurti 20,4–76,8 ppb ozono, priklausomai nuo sistemos srovės, vielos medžiagos ir naudojamos temperatūros (Poppendieck ir Persily, 2014). Griežtai reguliuoti ozono išėigą pasroviui ozoną generuojantiems oro valytuvams, kai jie montuojami patalpose.

1.3 STRATOSFEROS IR PAŽEMIO OZONAS

Ozonas (O_3), susidaro vykstant reakcijai tarp dioksido (O_2 – normali deguonies molekulė) ir vienetinio deguonies (O – deguonies atomas), dalyvaujant trečiajai molekulei, galinčiai sugerti deguonies šilumą. Labai reaktyvus ir trumpalaikis vienetinis deguonis (O) gali būti generuojamas azoto dioksido (NO_2) fotolizės arba O_2 jonizacijos būdu. Fono ozonas yra ir stratosferoje, ir troposferoje. Stratosferos ozonas yra susitelkęs tropopauzės (nuo 8 iki 15 km virš žemės) regione, kuris vadinamas – ozono sluoksniu. Stratosferos ozonas yra vadinamas „geruoju“ ozonu, nes ozono sluoksnis atlieka gyvybiškai svarbų vaidmenį, sugerdamas ultravioletinius (UV-B) spindulius, kurie kenkia gyviems organizmams Žemėje (Zhang *et al.* 2019). Kadangi tiesioginis kontaktas su ozonu žemės lygyje gali pakenkti gyvoms ląstelėms, organizmams ir rūšims, įskaitant žmones, gyvūnus ir augalus, troposferos arba pažemio ozonas vadinamas „bloguoju“ ozonu (2 pav.)

Ozonas iš stratosferos į troposferą paprastai pasiekia aukščiausią tašką pavasario mėnesiais, kai vertikalus oro judėjimas pasiekia maksimalią ribą šiauriniame pusrutulyje. Šis antplūdis prisideda prie foninio pažemio ozono lygio. Tačiau vyraujantis troposferos ozono šaltinis yra fotocheminės reakcijos, kuriose dalyvauja lakieji organiniai junginiai (LOJ) ir azoto oksidai (NO_x), daugiausia sudaryti iš NO_2 ir azoto oksido (NO). Nesant LOJ arba anglies monoksido (CO) arba kai jų koncentracija yra labai maža, ozonas pasiekia pastovią koncentraciją, kuri priklauso nuo saulės intensyvumo, aplinkos temperatūros ir NO_2 koncentracijos santykio su azoto oksido (NO) koncentracijomis. Esant tokioms sąlygoms, viena NO_2 molekulė fotolizės būdu paverčiama viena O_3 molekule ir viena NO molekule (Wang *et al.*, 2019).

Ozoną sunaudoja NO, kad regeneruotų NO_2 molekulę. Šis ciklas lemia nulinį ozono koncentracijos kaupimąsi. Tačiau LOJ arba CO dalyvauja daugybėje sudėtingų fotocheminių reakcijų, kad susidarytų laisvieji radikalai, kurie konkuruoja su ozonu ir reaguoja su NO. Grynasis poveikis apima ozono kaupimąsi, LOJ oksidaciją į deguonies turinčius organinius junginius ir azoto turinčio junginio susidarymą bei CO oksidaciją į CO_2 . Kadangi daugelis deguonies ir azoto turinčių organinių junginių yra kondensuotoje fazėje dėl mažo lakumo, jie vadinami antriniais organiniais aerozoliais (SOA). Visas mišinys, sudarytas iš ozono, SOA ir jų dujinių pirmtakų, vadinamas fotocheminiu smogu. Ozono gamyba troposferoje pavaizduota 2 paveiksle.



2 pav. Ozono gamyba troposferoje (Zhang *et al.* 2019).

Ozonas stratosferoje gali judėti žemyn į troposferą ir taip prisidėti prie pažemio ozono „foninio“ lygio. Tačiau didelis ozono kiekis troposferoje atsiranda dėl fotocheminių reakcijų, kuriose dalyvauja lakieji organiniai junginiai (LOJ) ir azoto oksidai (NO_x : NO ir NO_2).

Antropogeninės emisijos (pvz., deginant iškastinį kūrą) sukelia NO_x ir daugiausia LOJ bei CO. Medžiai taip pat išskiria tam tikrus LOJ (pvz., izopreną). PM_{2,5} iš pirminių emisijos šaltinių gali reaguoti (suvartoti) su laisvaisiais radikalais (pvz., HO₂), atsakingais už ozono susidarymą, o tai iš dalies paaiškina stebėjimus tam tikrose srityse, kuriose ozono lygis padidėjo, o PM_{2,5} lygis sumažėjo. Junginiai ir medžiagos, kurie skatina ozono susidarymą: hv, fotonas; LOJ, lakieji organiniai junginiai; CO, anglies monoksidas; NO, azoto oksidas; NO₂, azoto dioksidas; NO_x, NO ir NO₂; HO, hidroksilo radikalas; HO₂, hidroperoksi radikalas; PM_{2,5}, Kietosios dalelės, kurių skersmuo ne didesnis kaip 2,5 μm. Šis ozono susidarymo mechanizmas (2 pav.) paaiškina, kodėl padidėjusi ozono koncentracija randama vis daugiau vietų visame pasaulyje, kur didėja antropogeninis NO_x, LOJ ir CO išmetimas. Iškastinis kuras deginamas aukštoje temperatūroje, palankioje NO_x susidarymui, o visame pasaulyje didėjantis iškastinio kuro energijos kiekis (elektros gamybai, transportavimui ir namų ruošimui bei šildymui) lemia didėjantį NO_x išmetimą. Pagrindiniai antropogeniniai LOJ šaltiniai yra transporto priemonių išmetamosios dujos, benzino ir kito dujinio kuro (pvz.: gamtinių dujų ir propano) garavimas, biomasės ir iškastinio kuro deginimas bei pramoninis tirpiklių naudojimas.

Ozonas yra šiltnamio efektą sukeliančios dujos atmosferoje. Taigi, didėjantis pažemio ozono kiekis prisideda prie visuotinio atšilimo. Šiltėjantis klimatas skatina ozono susidarymą ir kaupimąsi atmosferoje daugiausia dėl dviejų fizikinių ir cheminių mechanizmų. Pirma, tam tikrose pasaulio dalyse šiltėjantis klimatas keičia drėgmės ir vėjo sąlygas, todėl paviršiaus ciklonų dažnis mažėja. Dėl to sustingusios atmosferos sąlygos sumažina NO_x ir LOJ sklaidą ir pailgina ozono susidarymo reakcijų laiką. Antra, ozono susidarymo reakcijas paprastai sustiprina padidėjusi atmosferos temperatūra. Remiantis šiais klimato sukeltais atmosferos stabilumo (oro sąstingio) ir temperatūros pokyčiais, prognozuojama, kad iki 2050 metų vien tik atšilimas gali padidinti ozono standarto viršijimo dienų skaičių rytinėje JAV dalyje 68 % (Bell *et al.*, 2007). Kitas tyrimas prognozavo, kad regioninio klimato pokyčiai ir pasauliniu mastu padidėjęs ozonas padidins pažemio ozono kiekį daugumoje JAV. Konkrečiau, prognozuojama, kad 95-asis procentas kasdieniam 8 valandų maksimaliam ozono kiekiui padidės nuo 79 ppb 2012 metų iki 87 ppb 2050 metų (Pfister *et al.*, 2014).

Panašiai, kita nuspėjamoji analizė, integruojant duomenis iš klimato modelio rezultatų ir istorinių meteorologijos bei ozono stebėjimų 19 miestų bendruomenių pietryčių JAV, apskaičiavo, kad 2040 m. vidutinė ozono koncentracija padidėjo 0,43 ppb (95 % PI: 0,14–0,75). palyginti su 2000 m. vien dėl klimato kaitos (Chang *et al.*, 2010).

2 lentelė. Stratosferos ir Pažemio ozonų palyginimas.

Stratosferos ozonas	Pažemio ozonas
Susidaro aukštai (10–50 km virš žemės paviršiaus).	Susidaro iki 3 km virš žemės paviršiaus.
Koncentracija siekia 12000 ppb.	Koncentracija siekia apie 30–00 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$
Susidaro natūraliomis sąlygomis viršutiniuose atmosferos sluoksniuose.	Neišsiskiria tiesiogiai, susidaro vykstant cheminėms reakcijoms tarp azoto oksidų (NO_x) ir lakiųjų organinių junginių (LOJ) saulės šviesoje.
Sudaro apsauginį barjerą aplink žemę, nuo žalingo saulės ultravioletinių spindulių poveikio.	Turi įtakos žmonių ir gyvųjų organizmų sveikatai bei gyvavimui.
Saulės bangos ilgiai ultravioletinių spindulių diapazone (180–240 nanometrų) yra sugeriami deguonies molekulių.	Pažemio ozono vystymuisi įtakos turi temperatūra, vėjo greitis ir kryptis, paros laikas ir vairavimo įpročiai.
Vadinamas „geruoju“ ozonu.	Vadinamas „bloguoju“ ozonu.

1.4 OZONO POVEIKIS SVEIKATAI

Patalpose esantys teršalai, priklausomai nuo teršalo, gali paveikti žmogaus sveikatą įvairiais būdais (nuo diskomforto jutimo iki rimtų sveikatos būklės negalavimų). Tiesiogine prasme yra tūkstančiai oro teršalų, kurių kiekvienas turi skirtingą poveikį žmogaus organizmui. Remiantis Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) vertinimu, išsivysčiusiose šalyse didelė dalis pastatų turi didelį toksiškų patalpų oro teršalų kiekį. Iš tiesų, atrodo, kad viena iš tam tikrų ligų (alergijų, apsinuodijimų, migrenos, vėžio ir kt.) atsiradimo priežasčių yra aplinkos, kurioje paprastai praleidžiama didžiąją dienos dalį, užterštumo laipsnis.

Į atmosferą patekę azoto oksidai (NO_x) ir lakieji organiniai junginiai (LOJ) gali reaguoti saulės spinduliuotės metu, todėl troposferoje gali susidaryti ozonas. Anksčiau, prieš įgyvendinant švaraus oro taisyklės NO_x ir LOJ kontrolei, ozono koncentracija buvo pakankamai didelė, kad galėtų sukelti ūmų poveikį, pvz., akių ir nosies dirginimą, kvėpavimo takų ligas ir plaučių funkcijos sutrikimą. Viršijant dabartines reguliavimo ribas, kasdieniai ozono koncentracijos svyravimai buvo susiję su astma ir kasdieniu netyčiniu mirtingumu. Nauji tyrimai parodė, kad tiek trumpalaikis, tiek ilgalaikis ozono poveikis, kurio koncentracija mažesnė už dabartinius norminius standartus, buvo susijęs su padidėjusiu mirtingumu dėl kvėpavimo takų ir širdies ir kraujagyslių ligų. Patofiziologija, skirta paremti epidemiologinius ryšius tarp mirtingumo ir sergamumo. Tuo metu ozonas sutelkia dėmesį į chemines ir

toksikologines ozono, kaip stipraus oksidanto, savybes, galinčias sukelti oksidacinius pažeidimus ląstelėms ir kvėpavimo takų gleivinės skysčiams bei imunines uždegimines reakcijas už plaučių ribų. Šios naujos išvados iš esmės papildo esamus iššūkius kontroliuojant ozono taršą. Pavyzdžiui, Jungtinėse Amerikos Valstijose 2016 m. 90 % nacionalinių aplinkos oro kokybės standartų neatitikimų įvyko dėl ozono, o tik 10 % – dėl kietųjų dalelių ir kitų reguliuojamų teršalų. Klimato kaita, sukuria ozono susidarymui palankias atmosferos sąlygas, padidina ir toliau didins ozono koncentraciją daugelyje pasaulio vietų. Visame pasaulyje ozonas kasmet sukelia kelis šimtus tūkstančių priešlaikinių mirčių ir dešimtis milijonų su astma susijusių apsilankymų greitosios medicinos pagalbos skyriuje. Norint kovoti su ozono tarša visame pasaulyje, reikia agresyviau mažinti iškastinio kuro suvartojimą, kad būtų sumažintas NO_x ir LOJ bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas. Siekiant sumažinti žalingą ozono poveikį, ypač jautresniems asmenims, reikalingi prevenciniai ir terapiniai sprendimai.

Ozonas yra dažnas oro teršalas, susijęs su neigiamais sveikatos padariniais, įskaitant ankstyvą mirtį (Bell *et al.*). Ozonas yra susijęs su neigiama įtaka sveikatai, tačiau mažiau žinoma apie pažeidžiamas/jautrias populiacijas, kurioms net ir mažos ozono koncentracijos gali būti pavojingos. Išvados rodo, kad tam tikro amžiaus žmonės, ypač vyresnio amžiaus yra labai jautrūs trumpalaikiam ozono poveikiui. Didžiuliai ozono koncentracijos kiekiai sukelia neigiamą kvėpavimo takų poveikį, pasunkėjusį kvėpavimą, dusulį, skausmą giliai įkvėpus ir kvėpavimo takų uždegimą. Šie poveikiai gali pasunkinti plaučių ligas, tokias kaip astmą, emfizemą ir lėtinę obstrukcinę plaučių ligą (lėtinis bronchitas). Ozono koncentracija, kuri viršija normos ribas ir laikos aplinkoje ilgą laiko tarpą, gali sukelti didelę riziką vaikų plaučių funkcionavimui. Kadangi, vaikų plaučiai dar nėra iki galo išsivystę, jie būna labai pažeidžiami. Ilgalaikis ozono poveikis yra susijęs su pablogėjusia plaučių funkcija ir pablogėjusiu arba neįprastu vaikų plaučių vystymusi (Gauderman *et al.*, 2004). Be žmonių, sergančių kvėpavimo takų ligomis, tokiomis kaip astma ir LOPL, vaikai, vyresni suaugusieji ir žmonės, kurie aktyviai dirba lauke (ypač lauko darbuotojai), yra labiau pažeidžiami ozono. Aplinkos ozonas, kaip stiprios oksiduojančios dujos, gali sukelti oksidacinius pažeidimus ląstelėms ir kvėpavimo takų gleivinės skysčiams, taip sukeldamas imunines uždegimines reakcijas plaučiuose (McConnell *et al.*, 2002). Naujausi atradimai parodė, kad įgimtas imunitetas yra susijęs su ozono sukeltu kvėpavimo takų uždegimu, pavyzdžiui, pelių įgimtų limfoidinių ląstelių (ILC) dalyvavimu (Yang *et al.*, 2015). Ozono poveikis padidina naviko nekrozės faktoriaus- α (TNF- α), interleukino-1 β (IL-1 β), interleukino-6 (IL-6) ir interleukino-8 (IL-8) mRNR ekspresiją žmogui. Ozono poveikis sukėlė reikšmingą neutrofilinį uždegimą, kurį atspindėjo padidėjęs mieloperoksidazės (MPO) kiekis sveikų asmenų sukeltų skreplių mėginių supernatante (Holz

et al., 2010). Ozono tarša kelia pavojų sveikatai visame pasaulyje (Krewski *et al.*, 2009). Manoma, kad daugelyje arba net visose pasaulio šalyse, ozono koncentracija padidės, todėl padidės su ozonu susijęs mirtingumas ir sergamumas (Devlin *et al.*, 1994).

Atsižvelgiant į 2015 metų pasaulinę ligų ataskaitą, buvo pranešta daugiau nei 254000 mirčių, kurios buvo susijusios su ozono poveikiu (Cohen *et al.*, 2015). Dažnai mirtingumas dėl ozono poveikio gali atrodyti visiškai nereikšmingas lyginant su kitokių atvejų mirtimis, kurias iššaukė kietųjų dalelių poveikis organizme. Didėjant gyventojų amžiui, oro tarša tampa vis didesnė nei anksčiau problema, ypač Azijos ir Ramiojo vandenyno regione (North *et al.*, 2019). Amenims, kurie yra labai jautrūs, rekomenduojama vengti organizuoti išvykas ar keliones, tomis dienomis, kai ore vyrauja didelės ozono koncentracijos. Ozono koncentracijų mažinimas labai priklauso ir nuo mūsų visų pastangų, pavyzdžiui, bandymas mesti rūkyti, daugiausia yra asmeninių pastangų pasekmė (Chun, 2019), aplinkos oro taršos mažinimas, taip pat, priklauso nuo nacionalinės politikos ir valstybės reguliavimo.

Darbo vietų patalpų oro problemos – tai problemos, į kurias profesinės sveikatos priežiūros specialistai labai dažnai turi atsižvelgti vertindami darbo aplinkos pavojų žmogaus sveikatai, tačiau kol kas informacijos apie patalpų oro problemų priežastinius ryšius ir mechanizmus yra labai mažai. Darbo higienistų susidomėjimas labai auga ir atsiranda vis naujų mokslinių tyrimų apie oro kokybę uždaroje patalpose, nes elektroninių prietaisų atsiradimas biuro aplinkoje pagerino darbo efektyvumą oro kokybės sąskaita. Vis labiau paplitęs kopijavimo aparatų ir spausdintuvų naudojimas buvo siejamas su pastato negalavimo sindromu (SBS), o jų naudojimas yra pagrindinis rizikos šaltinis, į kurį reikia atsižvelgti norint tinkamai įvertinti cheminę riziką darbo vietoje. Australijos moksliniai tyrimai, paskelbti Amerikos chemijos draugijos žurnale, teigia, kad darbas šalia veikiančio spausdintuvo ar kopijavimo aparato prilygsta įkvėpti cigarečių dūmų arba kvėpuoti automobilių kamščių išmetamosiomis dujomis.

Kai kurie tyrimai rodo, kad veikiant kopijavimo aparatams ir lazeriniams spausdintuvams išsiskiria daug lakiųjų organinių junginių (LOJ), formaldehido ir ozono, o tai kenkia patalpų oro kokybei. Išskiriamų medžiagų kokybę ir kiekį lemia techninis procesas, naudojamų dažų ir popieriaus tipas, įrangos modelis ir amžius, priežiūra ir aplinkos sąlygos (Fulco *et al.*, 2000).

2. MEDŽIAGA IR METODIKA

2.1 Tyrimo objektas

Tiriamasis darbas buvo atliktas nuo 2023 metų spalio mėnesio iki 2024 metų balandžio mėnesio, darbovietėje X. Tyrimas buvo įvykdytas šešiose skirtingose vietose, kuriose buvo aukštos įtampos įrenginiai, tokie kaip spausdinimo ir kopijavimo aparatai ar centrifugos. Tyrimas buvo atliekamas kiekviename iš kambarių, po 5 valandas, nuo darbo pradžios. Visi matavimai buvo atlikti tuo pačiu metu. Matavimo metu, mėginiai buvo fiksuojami kas minutę. Iš viso tyrimo metu buvo matuota 60 kartus, kiekvienoje patalpoje gavosi po 10 matavimų.

2.2 Tyrimui naudota įranga

Tyrimas buvo atliekamas ALMEMO 2590–2A/4 AS matavimo įrenginiu (3 pav.). Vienu metu buvo matuota: anglies dioksido koncentracija, drėgmė, temperatūra, ozono koncentracija ir laikas. 4 paveiksle pavaizduota įrenginio viršuje esantys keturi įėjimai, kuriuose prijungiami matavimo zondai: ozono, anglies dioksido, drėgmės ir temperatūros.



3 pav. ALMEMO 2590–2A/4AS matavimo įrenginys.

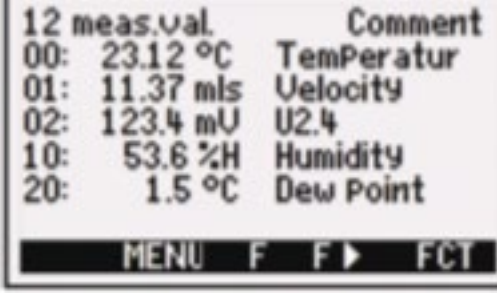
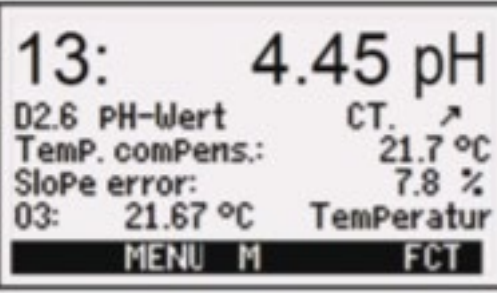



4 pav. Įrenginio viršuje esantys keturi įėjimai, jungtims sujungti.

Matavimo įrenginio parametrai ir vertės, kurias buvo galima išmatuoti vienu metu pavaizduotos 3 lentelėje. Taip pat, įrenginyje galima sekėti baterijos likutį, kiek išnaudota atminties, matyti valandas ir nustatymuose pasirinkti ekrano apšvietimą. Tyrimo metu buvo naudotas nešiojamasis kompiuteris, kuriame saugoti visi gauti tyrimo duomenys.

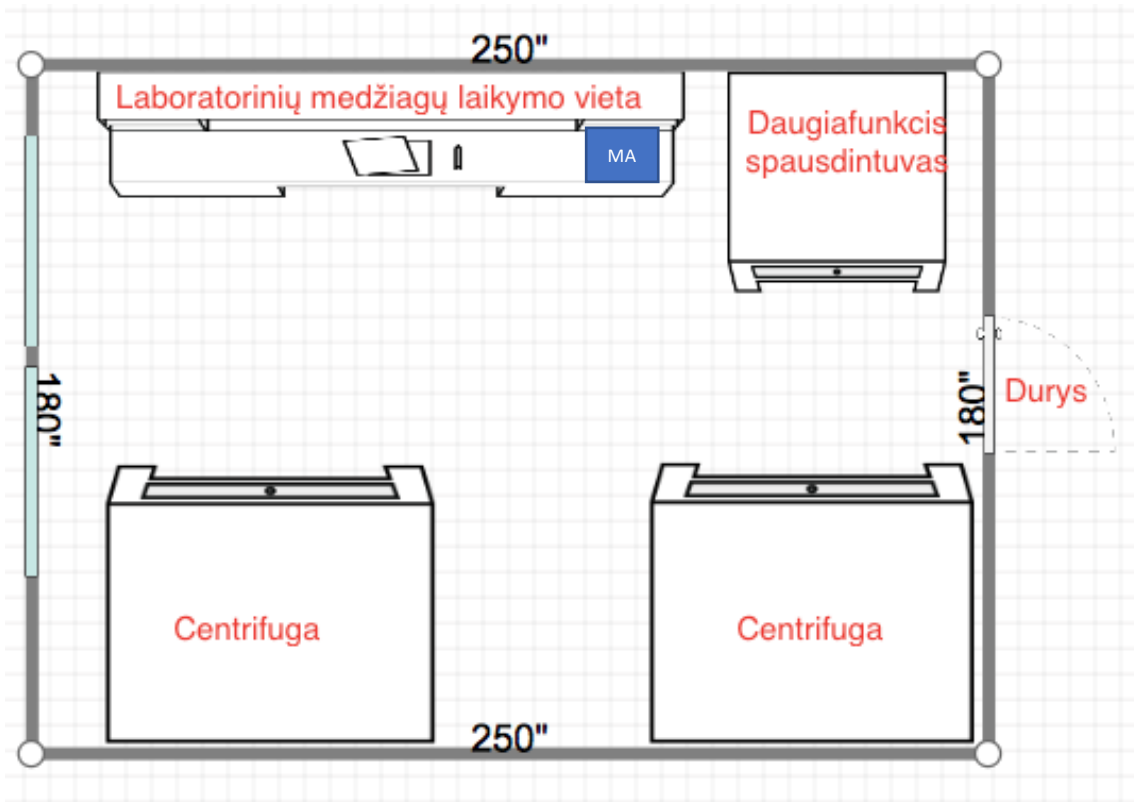
3 lentelė. Matavimo įrenginio pagindiniai parametrai ir vertės.

	<p>Drėgmės parametras su kitais drėgmės kintamaisiais, kaip temperatūra, mišinio santykis.</p>
	<p>Temperatūros ir drėgmės rodymas juostinėje diagramoje.</p>
	<p>Srauto rodmuo, išmatuota vertė su automatiniu temperatūros kompensavimu ir atmosferos slėgio kompensavimu</p>

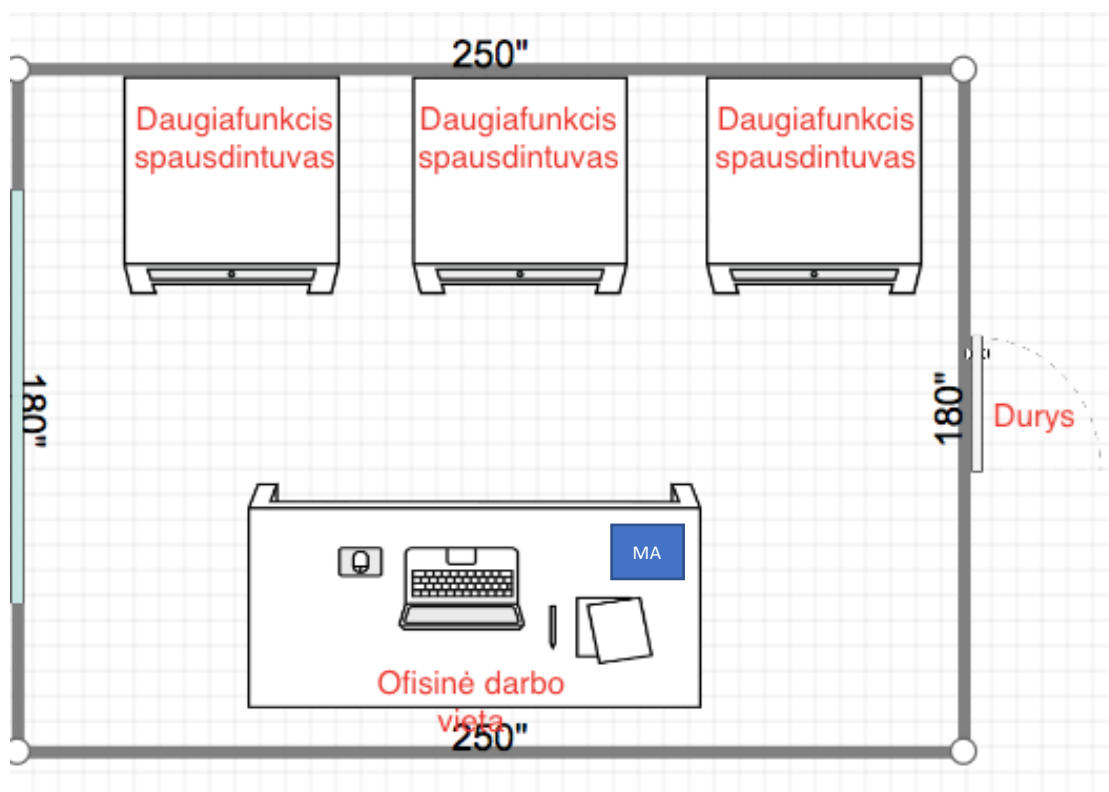
 <pre> 12 meas.val Comment 00: 23.12 °C TemPeratur 01: 11.37 m/s Uelocity 02: 123.4 mU U2.4 10: 53.6 %H Humidity 20: 1.5 °C Dew Point MENU F F ▶ FCT </pre>	<p>Visų prijungtų jutiklių apžvalga.</p>
 <pre> 13: 4.45 pH D2.6 PH-Wert CT. ↗ Temp. compEns.: 21.7 °C Slope error: 7.8 % 03: 21.67 °C TemPeratur MENU M FCT </pre>	<p>pH rodmuo, išmatuota vertė su automatiniu temperatūros kompensavimu.</p>
 <pre> FUNCTION-MENUS: Max-Min, SingleDataMemory ▶ Averaging Two Point sensor adjustment Scaling DataLogger ◀ F F ▶ CLR </pre>	<p>Funkcijų pasirinkimo meniu.</p>

2.3 Ozono matavimai kopijavimo aparatu kambariuose

Trijuose skirtinguose kopijavimo kambariuose, kurie yra įrengti netoli įrengtų darbo vietų, buvo atlikti ozono ir anglies dioksido koncentracijų matavimai. Penktame ir 6 paveiksle pavaizduoti kopijavimo kambarių maketai. Paveiksluose pavaizduota darbui skirta įranga ir ofiso vietos, mėlynu stačiakampiu – kur buvo laikomas matavimo aparatas. Visi kambariai yra vienodo dydžio ir išmatavimų, tačiau skiriasi įrangų kiekis ir ventiliacijos galingumas. Taip pat, du iš trijų kopijavimo kambarių yra įrengti identišškai. Visų kopijavimo kambarių tūris yra 18 m³. Tyrimo metu buvo stebėta ir kopijuojamų dokumentų kiekis, tam tikromis valandomis.



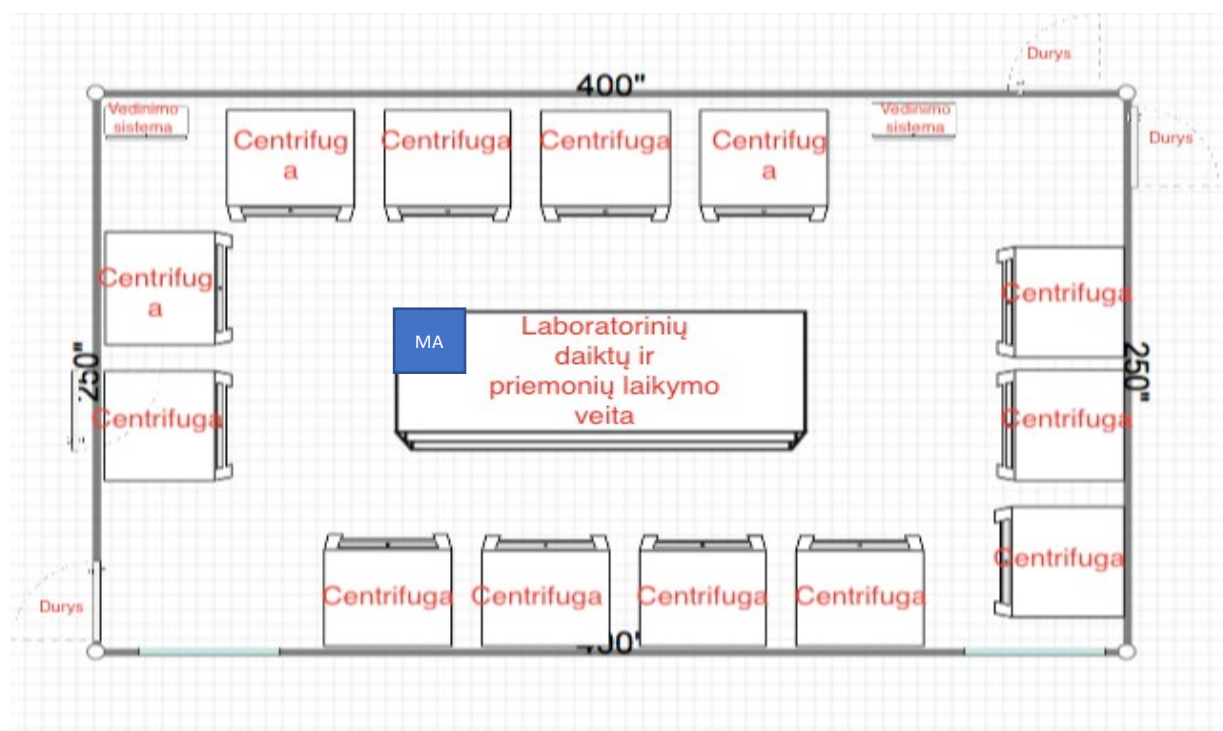
5 pav. Vieno iš kopijavimo kambarių įrangos išdėstymo planas (autorės iliustracija).



6 pav. Dviejų kopijavimo kambarių, kartu su įrengta darbo vieta, išsidėstymo planas (autorės iliustracija).

2.4 Ozono matavimai centrifugų kambariuose

Trijuose skirtinguose centrifugų kambariuose buvo atliekami ozono koncentracijos matavimai. Septintame paveiksle pavaizduotas centrifugų kambario išplanavimas, kuris yra lygiai toks pats visuose trijuose kambariuose. Visų centrifugų kambarių tūris yra 45 m³. Iš viso kambaryje yra 13 centrifugų, iš kurių kiekvieną dieną yra įjungiamos septynios arba aštuonios vienu metu.



7 pav. Centrifugų kambarių įrangos išsidėstymo planas (autorės iliustracija).

2.5 Tyrimo duomenų analizė

Tyrimo metu, duomenys buvo surinkti matuojant ALMEMO 2590–2A/4 AS matavimo įrenginiu, duomenų susisteminiui buvo naudojama kompiuterinę programą ALMEMO software. Iš šios programos duomenys buvo išsirušiuoti ir susivesti į „Microsoft Office Excel“ programą. Gautų duomenų analizavimui buvo naudota „Microsoft Office Excel“, „Microsoft Office Word“ ir ALMEMO software programos.

Persikėlus duomenis iš ALMEMO 2590–2A/4 AS matavimo įrenginio, kuriame matavome ozono ir anglies dioksido koncentracijas, laiką, temperatūrą, į ALMEMO Control 5.18 kompiuterinę programą, iš jos visi duomenys konvertuojami į „Microsoft Office Excel“ programą. Duomenys buvo išrušiuoti pagal valandas, kadangi aparatas matavo kiekvieną minutę, tai buvo imama rezultatų vidurkis pusvalandžio atžvilgiu. Ozono gautoms

koncentracijoms paskaičiuojamas standartinis nuokrypis. Kadangi, matavimo įrenginys gautas koncentracijas išreiškia ppb (parts per billion) matavimo vienetais, kad suvienodinti į ppm (parts per millions), iš kurių konvertuota į miligramus kubiniame metre.

Taip sudaromos lentelės ir grafikai, kurių pagalba stebime ozono koncentracijos kintamumą priklausomai nuo daugiafunkcio spausdintuvo veiklos ir stebime ar dienos eigoje, ozono koncentracijos pasiekia leistina didžiausia vienkartinę ir paros koncentraciją.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1 Kopijavimo kambarių rezultatai

Išanalizavus gautą informaciją ir duomenis, sudarytos lentelės ir grafikai, kuriuose nurodoma tiriamasis laikas, temperatūra ir gauti rezultatai (4–6 lentelė). Taip pat, 4–6 lentelėse pateikti duomenys, kad aiškiau galėtume stebėti ozono koncentracijos kintamumą priklausomai nuo laiko ir daugiafunkcio spausdintuvo atliktų operacijų.

Pagal 4 lentelėje pateiktus duomenis, galime matyti, kad ozono koncentracijos buvo nedidelės, ir daugiafunkciniu spausdinimo įrenginiu nebuvo dažnai naudojamosi, dėl šios priežasties ozono koncentracija nesiekė leistinos didžiausios koncentracijos ribos.

4 lentelė. Kopijavimo kambario Nr.1 tyrimo rezultatai.

Laikas	Temperatūra	Anglies dioksidas (CO ₂) mg/m ³ (vidurkis)	Ozonas (O ₃), mg/m ³ (vidurkis ± standartinis nuokrypis)	Spausdinimo/kopijavimo aparato atliktų operacijų lapų skaičius
8:30	18,43 °C	1,080	0	0
9:00	18,42 °C	0,864	0,004 ± 0,000048	6
9:30	18,62 °C	0,918	0	0
10:00	18,55 °C	0,864	0	1
10:30	18,81 °C	0,846	0	1
11:00	18,74 °C	0,828	0,006 ± 0,000129	3
11:30	18,64 °C	0,828	0,010 ± 0,000104	8
12:00	18,46 °C	0,828	0,012 ± 0,000118	9
12:30	18,52 °C	0,846	0,020 ± 0,000738	13

Žiūrint į 5 lentelėje pavaizduotus duomenis, tai šiame kopijavimo kambaryje buvo labai mažai naudotasi daugiafunkciu spausdinimo aparatu, dėl to ir ozono koncentracijos gavosi minimalios.

5 lentelė. Kopijavimo kambario Nr.2 tyrimo rezultatai

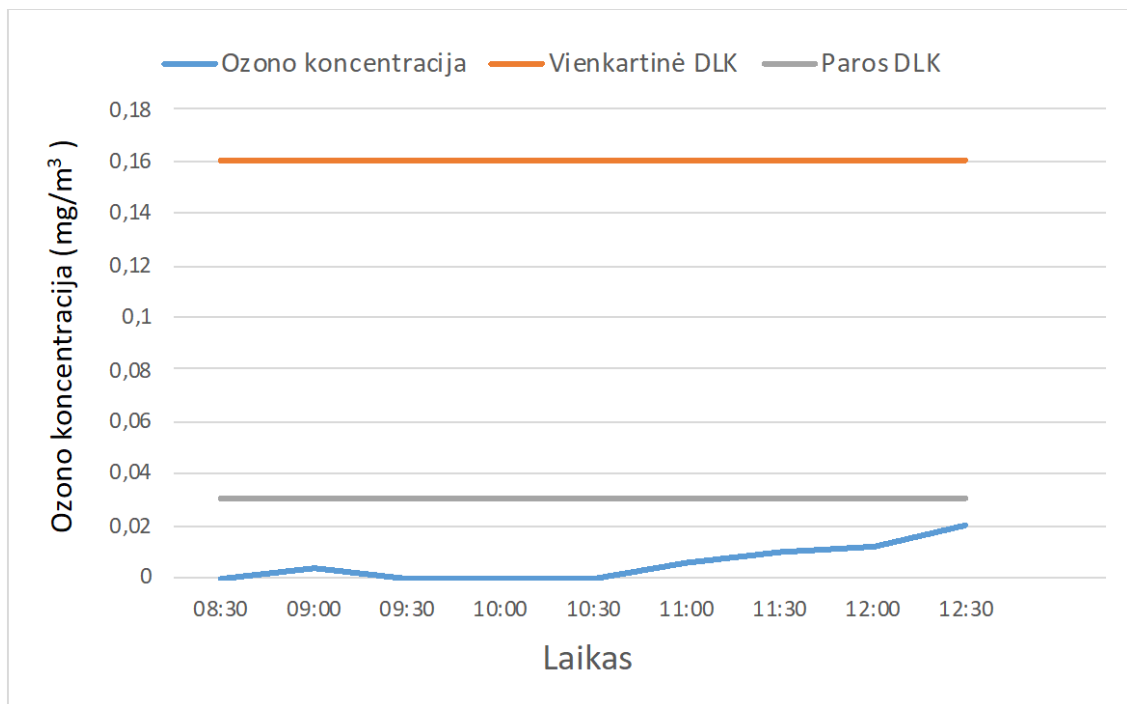
Laikas	Temperatūra	Anglies dioksidas (CO₂) mg/m³ (vidurkis)	Ozonas (O₃), mg/m³ (vidurkis ± standartinis nuokrypis)	Spausdinimo/kopijavimo aparato atliktų operacijų lapų skaičius
8:28	17,78 °C	0,954	0	0
9:00	18,28 °C	0,846	0	0
9:30	18,29 °C	0,864	0	0
10:00	18,30 °C	0,864	0	0
10:30	18,47 °C	0,900	0	0
11:00	18,41 °C	0,846	0,004 ± 0,002080	6
11:30	18,41 °C	0,918	0,004 ± 0,000298	2
12:00	18,42 °C	0,846	0,004 ± 0,000184	5
12:30	18,35 °C	0,846	0,006 ± 0,000018	7

Remiantis 6 lentelės duomenimis, galime pastebėti kaip spausdinimo ir kopijavimo procesas daro įtaka ozono koncentracijos susidarymui.

6 lentelė. Kopijavimo kambario Nr.3 tyrimo rezultatai

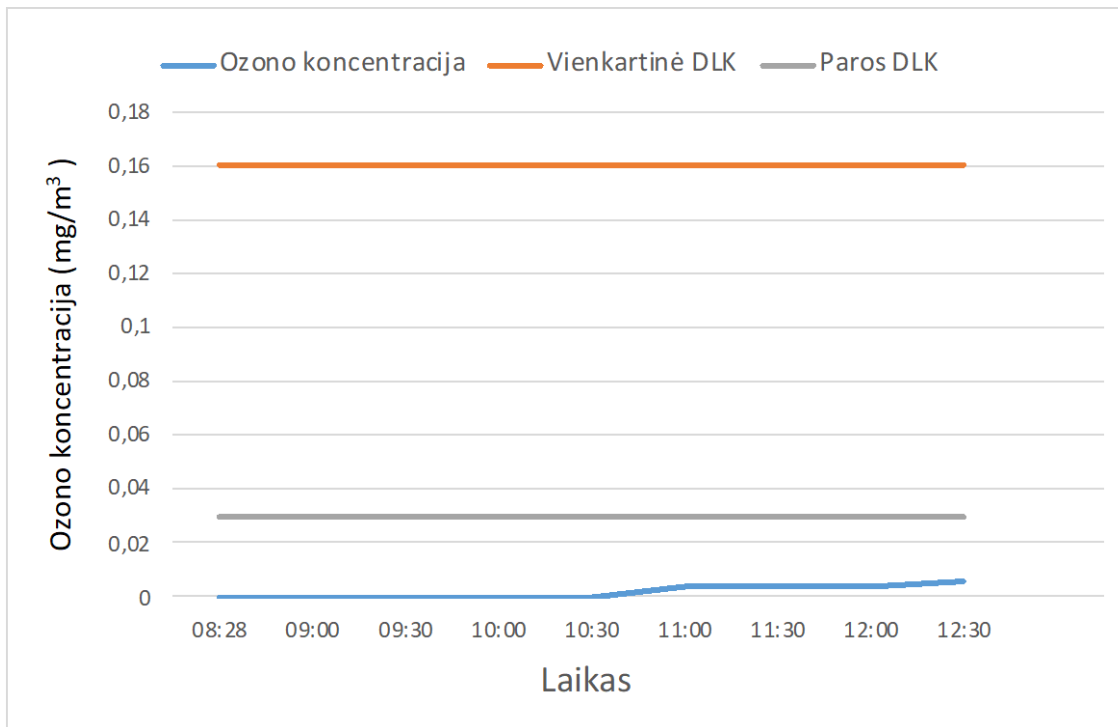
Laikas	Temperatūra	Anglies dioksidas (CO₂) mg/m³ (vidurkis)	Ozonas (O₃), mg/m³ (vidurkis ± standartinis nuokrypis)	Spausdinimo/kopijavimo aparato atliktų operacijų lapų skaičius
9:00	17,08 °C	0,810	0,018 ± 0,000254	25
9:30	17,14 °C	0,828	0,026 ± 0,000314	43
10:00	17,31 °C	0,810	0,026 ± 0,000261	11
10:30	17,33 °C	0,810	0,026 ± 0,000159	7
11:00	17,38 °C	0,810	0,022 ± 0,000471	2
11:30	17,38 °C	0,810	0,026 ± 0,000121	38
12:00	17,47 °C	0,792	0,027 ± 0,000108	27
12:30	17,45 °C	0,792	0,027 ± 0,000263	10
13:00	17,43 °C	0,738	0,020 ± 0,000024	5

Pagal 8 paveiksle pateiktus duomenis kopijavimo kambaryje Nr.1, matome, kad ozono koncentracija varijuoja ir kyla link leistinos didžiausios paros normos, tačiau jos nepasiekia. Galime daryti išvadą, kad darbo eigoje kopijavimo kambaryje susidaro kylanti ozono koncentracija, proporcingai priklauso nuo daigafunkcio spausdintuvo atliktos veiklos.



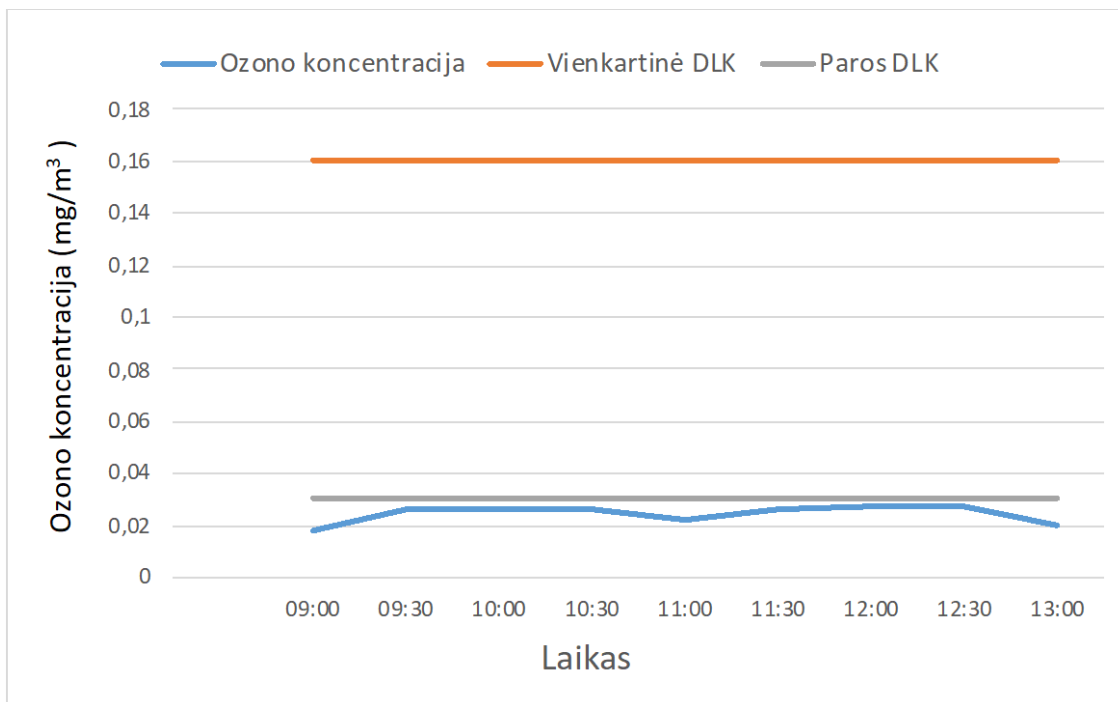
8 pav. Ozono koncentracijos kitimas kopijavimo kambaryje nr.1, laikui einant, ir stebėjimas su LDK (autorės iliustracija).

Pagal 9 pav. 1 pateiktus rezultatus kopijavimo kambario Nr.2 ozono koncentracija nuo darbo pradžios iki darbo pabaigos nežymiai pakitusi. Tai parodo ir tai, kad buvo atlikta labai mažai daigafunkcio spausdinimo įrenginio operacijų, kas galėjo lemti mažesnę ozono koncentraciją. Galime teigti, kad būtent šią dieną nebuvo intensyviai naudotasi kopijavimo/spausdinimo aparatu arba buvo intensyvus durų varstymas, kas galėjo sumažinti ozono koncentraciją kambaryje.



9 pav. Ozono koncentracijos kaita kopijavimo kambaryje Nr.2 darbo dienos eigoje.

Pagal 10 pav. esančius kopijavimo kambario Nr.3 tyrimo duomenis, ozono koncentracija kilo priklausomai nuo daugiafunkcio aparato atliktų operacijų. Kambaryje buvo susidariusios ozono koncentracijos tokios vertės, kad žiūrint pagal pateiktą grafiką 10 pav. kelis kartus jau būtų siekus leidžiamą didžiausią paros koncentraciją. Galime daryti išvada, kad kopijavimo kambarys nr.3 neturi įrengtos geros vedinimo sistemos arba yra labai intensyviai naudojamasi daugiafunkciu spausdinimo įrenginiu, dėl šių priežasčių darbo metu susidaro didelės vertės ozono koncentracijos, kurios laikosi kambaryje ir nėra išvėdinamos.



10 pav. Ozono koncentracijos kaita kopijavimo kambaryje Nr.3 darbo dienos eigoje.

3.2 Centrifugų kambarių rezultatai

Remiantis 7–9 lentelėmis tiriamas laikas dažniausiai buvo parenkamas nuo 8:30 iki 12:30 valandos. Analizuojant gautus duomenis, tyrimo laikas buvo pasirinktas toks, nes tai buvo palankios darbo valandos, kuriomis dažniausiai buvo naudojamos centrifugomis, kad šiame laikotarpyje būtų stebimos ozono koncentracijos kaitą

Remiantis 7–9 lentelėmis pastebėta, kad ozono koncentracija darbo eigoje vis didėja ir pasiekia paros leistiną didžiausią koncentraciją. Taip yra, nes centrifugos yra įjungiamos ne visos iš karto, o palaipsniui, viena po kitos. Viso darbo metu yra įjungtos vėdinimosi sistemos. Pasibaigus darbui su centrifugomis yra paliekamos įjungtos vėdinimo sistemos ir patalpa valandą vėdinama, kad joje nebūtų jokių susikaupusių didelių ozono koncentracijų.

Remiantis 7 lentelėje gautais centrifugų kambario Nr.1 tyrimo rezultatais, galime teigti, kad pradėjus matavimą, buvo aukšta temperatūra, kuri paskatino ozono koncentracijos didėjimą. Taip pat, prisidėjo ir centrifugų kiekis, kuris paskatino palaipsniui ozono koncentracijos didėjimą.

7 lentelė. Centrifugų kambario Nr.1 tyrimo rezultatai

Laikas	Temperatūra	Anglies dioksidas (CO ₂) mg/m ³ (vidurkis)	Ozonas (O ₃), mg/m ³ (vidurkis ± standartinis nuokrypis)	Veikiančių centrifugų kiekis
8:30	18,23°C	0,666	0,016 ± 0,000421	3
9:00	18,47 °C	0,810	0,018 ± 0,000192	3
9:30	19,18 °C	0,810	0,026 ± 0,000023	5
10:00	19,56 °C	0,810	0,029 ± 0,000876	5
10:30	19,56 °C	0,810	0,031 ± 0,000645	5
11:00	19,80 °C	0,810	0,027 ± 0,000285	7
11:30	20,21 °C	0,792	0,026 ± 0,000672	7
12:00	20,30 °C	0,792	0,027 ± 0,000396	7
12:30	20,30 °C	0,828	0,022 ± 0,000741	7
13:00	21,00 °C	0,666	0,016 ± 0,000337	7

Pagal 8 lentelėje pateiktus centrifugų kambario Nr.2 tyrimo rezultatus, galime matyti, kad ozono koncentracija nežymiai didėjo, nors temperatūra kilo. Tai mus priveda prie išvados, kad šiame kambaryje yra įrengta gera ir galinga vėdinimo sistema, kuri neleidžia susidaryti didesnėms ozono koncentracijoms.

8 lentelė. Centrifugų kambario Nr.2 tyrimo rezultatai

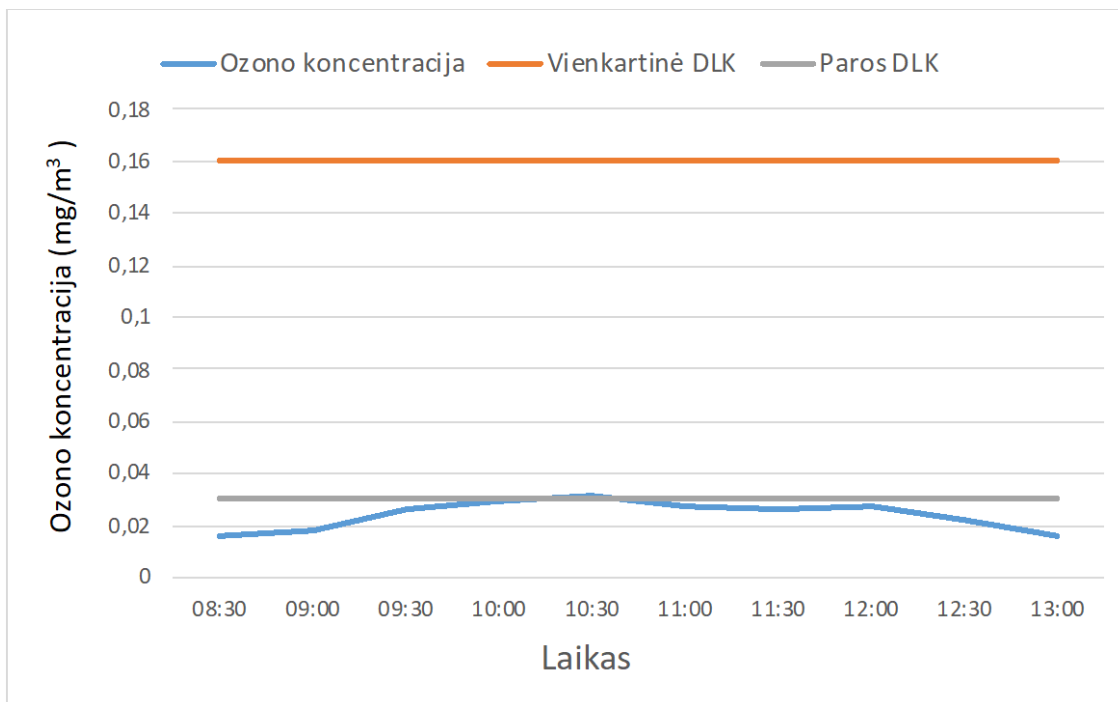
Laikas	Temperatūra	Anglies dioksidas (CO ₂) mg/m ³ (vidurkis)	Ozonas (O ₃), mg/m ³ (vidurkis ± standartinis nuokrypis)	Veikiančių centrifugų kiekis
9:00	17,44°C	0,738	0	3
9:30	18,21 °C	0,792	0,006 ± 0,000493	3
10:00	19,18 °C	0,810	0,004 ± 0,000195	3
10:30	19,56 °C	0,846	0,004 ± 0,000731	3
11:00	19,56 °C	0,918	0,002 ± 0,000041	5
11:30	19,80 °C	0,990	0,006 ± 0,000911	7
12:00	20,21 °C	0,792	0,008 ± 0,000068	7
12:30	20,30 °C	0,792	0,008 ± 0,000582	7

Remiantis 9 lentelės centrifugų kambario Nr.3 gautais tyrimo rezultatai, galime pasakyti, kad per darbo dieną tiek temperatūra, tiek ozono koncentracija kilo, tačiau darbo pabaigoje nukritus temperatūrai, nukrito ir ozono koncentracija. Taip pat galime teigti, kad šiame kambaryje yra įrengtos vedinimosi sistemos, kurios vedina kambarį, nors ir susidaro ribinė koncentracija, tačiau tai nėra pavojinga.

9 lentelė. Centrifugų kambario Nr.3 tyrimo rezultatai

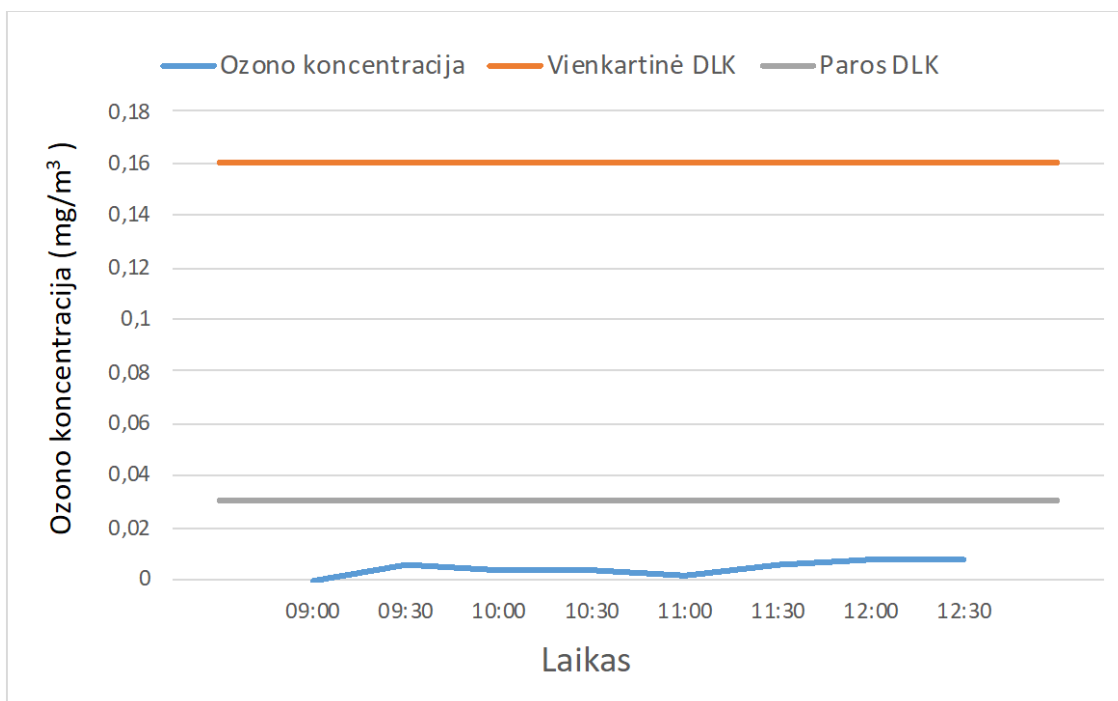
Laikas	Temperatūra	Anglies dioksidas (CO₂) mg/m³ (vidurkis)	Ozonas (O₃), mg/m³ (vidurkis ± standartinis nuokrypis)	Veikiančių centrifugų kiekis
8:30	18,93°C	0,666	0	4
9:00	19,42°C	0,738	0,002 ± 0,000151	4
9:30	20,08 °C	0,810	0,008 ± 0,000219	7
10:00	20,30 °C	0,828	0,018 ± 0,000767	7
10:30	20,61 °C	0,990	0,020 ± 0,000531	7
11:00	21,33 °C	0,990	0,026 ± 0,000739	8
11:30	21,38 °C	0,918	0,032 ± 0,000811	8
12:00	21,39 °C	0,846	0,022 ± 0,000404	8
12:30	21,47 °C	0,810	0,026 ± 0,000284	8

Atsižvelgus į 9 pav. rezultatus, matome kad ozono koncentracijos pasiekia ribinę leidžiamą paros norma, bet darbo eigoje mažėja, tam įtakos gali turėti įjungtos vedinimo sistemos.



9 pav. Ozono koncentracijos kaita centrifugų kambaryje Nr.1 darbo dienos eigoje.

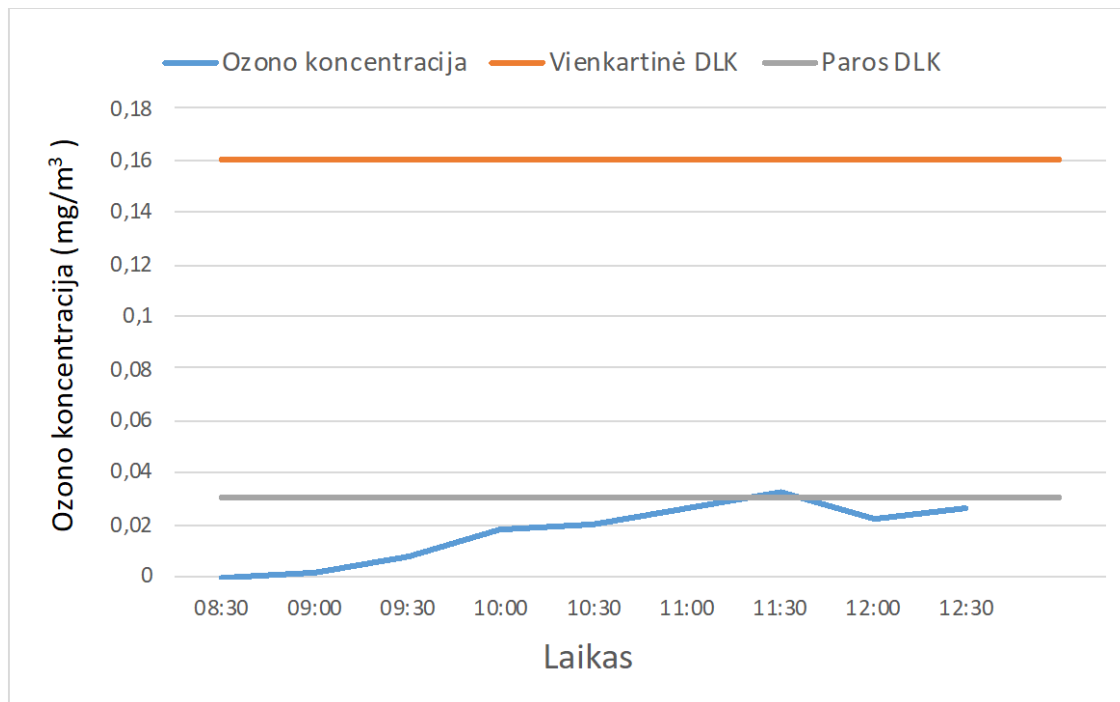
Pagal 10 pav. pavaizduotą grafiką galime stebėti nežymų ozono koncentracijos padidėjimą, tačiau kuris nepasiekia ribinės vertės.



10 pav. Ozono koncentracijos kaita centrifugų kambaryje Nr.2 darbo dienos eigoje.

Lyginant su ankstesniais grafikais, 11 pav. matome žymų ozono koncentracijos padidėjimą. Darbo eigoje ozono koncentracija pasiekia ir net viršija leistiną didžiausią paros

koncentraciją. Tai galėjo lemti intensyvus centrifugų naudojimas, tačiau viso proceso metu veikė vedinimo sistema, todėl link darbo pabaigos ozono koncentracija sumažėjo.



11 pav. Ozono koncentracijos kaita centrifugų kambaryje Nr.3 darbo dienos eigoje.

IŠVADOS

1. Pagrindiniai ozono susidarymo šaltiniai visuomeninio naudojimo patalpose yra daugiafunkciniai spausdinimo ir kopijavimo aparatai, centrifugos.
2. Išmatuotos ozono (O_3) koncentracijos trijuose kopijavimo kambariuose ir trijuose centrifugų kambariuose. Didžiausia O_3 paros koncentracija nustatyta centrifugų patalpose ($0,032 \text{ mg/m}^3$). Kopijavimo patalpose O_3 nesiekė nustatytos ribinės paros normos.
3. Atlikus ozono koncentracijų tyrimus biuro kopijavimo ir centrifugų patalpose, nustatyta, kad dėl naudojamos įrangos ozono koncentracija didėja abiejų paskirčių patalpose, tačiau centrifugų patalpose ozono koncentracija darbo metu padidėja iki 15,6 % daugiau nei kopijavimo patalpose.
4. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais, ozono koncentracija centrifugų patalpose viršijo didžiausią leistiną paros koncentraciją ($0,03 \text{ mg/m}^3$) iki 6,6 %. Kopijavimo patalpose, nors ir buvo fiksuojamos O_3 koncentracijos padidėjimas, tačiau jis didžiausių leistinų normų neviršijo.

REKOMENDACIJOS

- Norint, kad patalpose nesusidarytų didelės ozono koncentracijos, turėtų būti įrengtos ventiliavimo sistemos, kurios savo galingumu būtų pritaikytos prie kambario kvadratūros ir kurios darbo metu veiktų.

- Mažo tūrio patalpose turėtų būti ribotas kiekis didelių energijos kiekius naudojančios įrangos, nes kiekvienas toks prietaisas skleidžia šilumą ir dėl varikliuose vykstančių elektros iškrovų intensyvėja ozono susidarymas.

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS
BIOMOKSLŲ INSTITUTAS

Dominyka Tiškutė

Aplinkotyros ir aplinkotvarkos studijų programa

Magistrantūros baigiamasis darbas

Visuomeninių patalpų oro tarša ozonu

SANTRAUKA

Ozonas (O_3) bespalvės ir bekvapės, labai nestabilios dujos, kurios yra rimta oro kokybės problemos priežastis. Per pastaruosius metus, labai padidėjo visuomenės susirūpinimas dėl prastos patalpų oro vedinimo sistemos. Patalpų ozoną daugiausia išskiria kopijavimo aparatai, lazeriniai spausdintuvai, ozono generatoriai ir kiti elektros prietaisai. Patalpų ozonas taip pat susidaro dėl iškrovos iš elektrostatiinių oro valymo įrenginių. Kopijavimo aparatai yra laikomi svarbia priemone švietimo įstaigose ir komerciniuose darbo ofisuose. Kai kurie tyrimai rodo, kad veikiant kopijavimo aparatams ir lazeriniams spausdintuvams išsiskiria daug lakiųjų organinių junginių (LOJ), formaldehido ir ozono, o tai kenkia patalpų oro kokybei. Išskiriamų medžiagų kokybę ir kiekį lemia techninis procesas, naudojamų dažų ir popieriaus tipas, įrangos modelis ir amžius, priežiūra ir aplinkos sąlygos. Ozonas yra susijęs su neigiama įtaka sveikatai, tačiau mažiau žinoma apie pažeidžiamas/jautrias populiacijas, kurioms net ir mažos ozono koncentracijos gali būti pavojingos. Išvados rodo, kad tam tikro amžiaus žmonės, ypač vyresnio amžiaus yra labai jautrūs trumpalaikiam ozono poveikiui. Didžiuliai ozono koncentracijos kiekiai sukelia neigiamą kvėpavimo takų poveikį, pasunkėjusį kvėpavimą, dusulį, skausmą giliai įkvėpus ir kvėpavimo takų uždegimą. Šie poveikiai gali pasunkinti plaučių ligas, tokias kaip astmą, emfizemą ir lėtinę obstrukcinę plaučių ligą (lėtinis bronchitas).

VILNIAUS UNIVERSITY
LIFE SCIENCE CENTER

Dominyka Tiškutė

Master's thesis

Ozone pollution in public indoor air

SUMMARY

Ozone (O₃) is a colourless and odourless, highly unstable gas that is a serious cause of air quality problems. In recent years, there has been a significant increase in public concern about poor indoor air ventilation. Indoor ozone is emitted mainly by photocopiers, laser printers, ozone generators and other electrical appliances. Indoor ozone is also generated by discharges from electrostatic air cleaners. Photocopiers are considered to be an important tool in educational establishments and commercial work offices. Some studies show that the operation of photocopiers and laser printers produces high levels of volatile organic compounds (VOCs), formaldehyde and ozone, which are detrimental to indoor air quality. The quality and quantity of emissions are determined by the technical process, the type of ink and paper used, the model and age of the equipment, maintenance and environmental conditions. Ozone is associated with adverse health effects, but less is known about vulnerable/sensitive populations for whom even low concentrations of ozone can be dangerous. The findings suggest that people of a certain age, especially the elderly, are very sensitive to short-term exposure to ozone. High levels of ozone lead to adverse respiratory effects, breathing difficulties, shortness of breath, pain on deep inhalation and inflammation of the airways. These effects can aggravate lung diseases such as asthma, emphysema and chronic obstructive pulmonary disease (chronic bronchitis).

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Amann A, Bertok I, Cofala J et al. Cost-effective control of acidification and ground-level ozone [J]. In: Third Interim Report to the European Commission. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Laxenburg, Austria. (1997)
2. Ardkapan, S. R., Afshari, A., Bergsøe, N. C., & Nielsen, P. V. (2014). Evaluation of air cleaning technologies existing in the Danish market: Experiments in a duct and in a test room. *Indoor And Built Environment*, 23
3. Arsalane K, Gosset P, Vanhee D, Voisin C, Hamid Q, Tonnel AB, et al. Ozone stimulates synthesis of inflammatory cytokines by alveolar macrophages *in vitro*. *Am J Respir Cell Mol Biol*. (1995)
4. Baur, D., Saisana, M., Schulze, N. 2004. Modelling the effects of meteorological variables on ozone concentration: a quantile regression approach, *Atmospheric Environment* 38 (28), 4689-4699.
5. Bell ML, Goldberg R, Hogrefe C, Kinney PL, Knowlton K, Lynn B, et al. Climate change, ambient ozone, and health in 50 US cities. *Clim Change*. (2007)
6. Bell ML, McDermott A, Zeger SL, et al. Ozone and short – term mortality in 95 US urban communities, 1987 – 2000. *JAMA*. 2004
7. Brimblecombe, P. (2003). The effects of air pollution on the built environment, London: Imperial College Press; River Edge, NJ: Distributed by World Scientific Pub. Co.
8. Confalonieri, U. E. C., Lima, A. C. L., Brito, I., & Quintao, A. F. (2014).
9. C.J. Weschler, Ozone in indoor environments: concentration and chemistry, *Indoor Air* 10 (2000)
10. Chang HH, Zhou J, Fuentes M. Impact of climate change on ambient ozone level and mortality in southeastern United States. *Int J Environ Res Public Health*. (2010)
11. Chao, G., Zhi, G., Jialei, S., 2019. Emission rates of indoor ozone emission devices: A Literature review. *Building and environment journal*.
12. Chun EM. Smoking cessation strategies targeting specific populations. *Tuberc Respir Dis*. 2019;82:1–5.
13. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017;389:1907–18. North CM, Rice MB, Ferkol T, Gozal D, Hui C, Jung

- SH, et al. Air pollution in the Asia-Pacific region: a Joint Asian Pacific Society of Respiriology/American Thoracic Society perspective (republication) *Respirology*. 2019;24:484–91.
13. D.B.Brown,A.E.Peritz,D.L.Mitchell,S.Chiarello,J.Uitto,F.P.Gasparro,Common fluorescent sunlamps are an in appropriate substitute for sunlight, *Photochem. Photobiol. Sci.* (2000)
 14. D.U.Xiaogang,J.Liu,Relationshipbetweenoutdoorandindoorozonepollution concentration, *Trans. Tianjin Univ.* (2009).
 15. Darling, E. K., Cros, C. J., Wargocki, P., Kolarik, J., Morrison, G. C., & Corsi, R. L. (2012). Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements. *Building and Environment*
 16. de Gennaro, G., Dambruoso, P. R., Loiotile, A. D., Di Gilio, A., Giungato, P., Tutino, M., et al. (2014). Indoor air quality in schools. *Environmental Chemistry Letters*, 12(4)
 17. Devlin R, McKinnon K, Noah T, Becker S, Koren H. Ozone-induced release of cytokines and fibronectin by alveolar macrophages and airway epithelial cells. *Am J Physiol.* (1994)
 18. DU, Xiaogang and LIU Junjie. Relationship Between Outdoor and Indoor Ozone Pollution Concentration. 2009
 19. EEA (2015) Effects of climate change: air pollution due to ozone and health impact. European Environment Agency
 20. EEA (2016) Air quality in Europe—2016 report. European Environment Agency
 21. Environmentaal Protection Agency. *Funding Opportunity: Clean Air Research Gaps*. 2009
 22. EPA (2012) Integrated science assessment of ozone and related photochemical oxidants (second external review draft). Washington, DC, United States Environmental Protection Agency
 23. European Environment Agency . Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2015. Air pollution due to ozone: health impacts and effects of climate change [Internet] [cited 2020 Dec 2].
 24. F.D. Gilliland, K. Berhane, E.B. Rappaport, D.C. Thomas, E. Avol, W.J. Gauder- man, S.J. London, H.G. Margolis, R. Mcconnell, K.T. Islam, J.M. Peters, The effects of ambient airpollution on school absenteeism due to respiratory illnesses, *Epidemiology* 12 (2001)
 25. Fulco, C.E., Liverman, C.T., Sox, H.C. Gulf War and Health. 2000

26. Gall, E., Darling, E., Siegel, J. A., Morrison, G. C., & Corsi, R. L. (2013). Evaluation of three common green building materials for ozone removal, and primary and secondary emissions of aldehydes. *Atmospheric Environment*
27. Gao H, Wang K, W WA, Zhao W, Xia ZL. A systematic review and meta-analysis of short-term ambient ozone exposure and COPD hospitalizations. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17:2130.
28. Gao, Z., & Zhang, J. S. (2012). Modeling ozone penetration through the wall assembly using computational fluid dynamics. *Hvac & R Research*
29. Gauderman WJ, Avol E, Gilliland F, Vora H, Thomas D, Berhane K, et al. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med*. (2004)
30. H. Tovalin-Ahumada, L. Whitehead, Personal exposures to volatile organic compounds among outdoor and indoor workers in two Mexican cities, *Sci. Total Environ*. 376 (2007)
31. HEI (2010) Public health and air pollution in Asia (PAPA): coordinated studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality in four cities. Boston, Health Effects Institute Research Report 154
32. HEI (2011) Public health and air pollution in Asia (PAPA): coordinated studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality in two Indian cities. Boston, Health Effects Institute Research Report 157
33. Holz O, Khalilieh S, Ludwig-Sengpiel A, Watz H, Stryszak P, Soni P, et al. SCH527123, a novel CXCR2 antagonist, inhibits ozone- induced neutrophilia in healthy subjects. *Eur Respir J*. (2010)
34. Huang, Y. T., Chen, C. C., Chen, Y. K., Chiang, C. M., & Lee, C. Y. (2012). Environmental test chamber elucidation of ozone-initiated secondary pollutant emissions from painted wooden panels in buildings. *Building and Environment*,
35. Yang Q, Ge MQ, Kokalari B, Redai IG, Wang X, Kemeny DM, et al. Group 2 innate lymphoid cells mediate ozone-induced airway inflammation and hyperresponsiveness in mice. *J Allergy Clin Immunol*. (2016)
36. J. Sundell, On the history of indoor air quality and health, *Indoor Air* 14 (2004)
37. K.M. Mortimer, L.M. Neas, D.W. Dockery, S. Redline, I.B. Tager, The effect of air pollution on inner-city children with asthma, *Eur. Respir. J*. (2002)

38. Kim H, Kim J, Kim S, Kang SH, Kim HJ, Kim H, et al. Cardiovascular effects of long-term exposure to air pollution: a population-based study with 900 845 person-years of follow-up. *J Am Heart Assoc.* 2017;6:e007170.
39. Krewski, D., Jerrett, M., Burnet, R.T., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., Turner, M.C., Pope, C.A., Thurston, G., Calle, E., Thun, M.J., 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality.
40. Lietuvos higienos normos HN 35:2007 “Didžiausia leidžiamų cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“
41. Lin, C.-C., & Chen, H.-Y. (2014). Impact of HVAC filter on indoor air quality in terms of ozone removal and carbonyls generation. *Atmospheric Environment*
42. Liu Linmao, Guo Jingfu, Li Jie et al. The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator [J]. *Journal of Electrostatics.* (2000)
43. McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Islam T, Gauderman WJ, et al. Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study. *Lancet.* 2002;359:386–91.
44. N. Elango, V. Kasi, B. Vembhu, J.G. Poornima, Chronic exposure to emissions from photocopiers in copy shops causes oxidative stress and systematic inflammation among photocopier operators in India, *Environ.* (2013)
45. N. Kagi, S. Fujii, Y. Horiba, N. Namiki, Y. Ohtani, Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers, *Build. Environ.* 42 (2007)
46. N.D. Girolamo, M.T. Coroneo, D. Wakefield, UVB-elicited induction of MMP- 1 expression in human ocular surface epithelial cells is mediated through the ERK1/2 MAPK-dependent pathway, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* (2003)
47. National Center of Biotechnology Information. PubMed. 2012
48. Pfister G, Walters S, Lamarque JF, Fast J, Barth M, Wong J, et al. Projections of future summertime ozone over the US. *JGR: atmospheres* (2014)
49. Poppendieck, D. G., Rim, D., & Persily, A. K. (2014). Ultrafine particle removal and ozone generation by In-Duct electrostatic precipitators. *Environmental Science & Technology.*
50. R.S. Islamov, Y.A. Krishtafovich, A peculiarity of silver-based corona wire heating on ozone generation, *J. Electrostat.* (2011)
51. S.C. Lee, S. Lam, H.K. Fai, Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber, *Build. Environ.* 36 (2001)

52. S.I.V. Sousa, C. Ferraz, M.C.M. Alvim-Ferraz, F.G. Martins, L.G. Vaz, M.C. Pereira, Spirometric tests to assess the prevalence of childhood asthma at Portuguese rural areas: influence of exposure to high ozone levels, *Environ. Int.* (2011)
53. Skominas, V., Ozono cheminés savybės. (2010)
54. Sundell, J. And Zuberg, A. (1996) Ozone and other photochemical oxidants in ambient and indoor air: properties, sources and concentrations. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 22, 5-14
55. The current ozone directive and other relevant legislatio, 2016
56. The Interagency Working Group of Climate Cahnge. *A human health perspective on climate change: a report outlining the research needs of the human health effects of climate change.* (2010)
57. U.S. Environmental Protection Agency . Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2016. Integrated science assessment (ISA) for oxides of nitrogen: health criteria (final report, Jan 2016)
58. U.S. EPA . Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2019. Integrated science assessment (ISA) for particulate matter (final report, Dec 2019) [Internet] [cited 2020 Dec 2].
59. US Environmental Protection agency (EPA), 2015. National ambient air quality standarts for ozone.
60. Walker, I. S., & Sherman, M. H. (2013). Effect of ventilation strategies on residential ozone levels. *Building And Environment*
61. Wang M, Sampson PD, Sheppard LE, Stein JH, Vedal S, Kaufman JD. Long-term exposure to ambient ozone and progression of subclinical arterial disease: the multi-ethnic study of atherosclerosis and air pollution. *Environ Health Perspect.* 2019;127:57001.
62. Weichenthal S, Pinault LL, Burnett RT. Impact of oxidant gases on the relationship between outdoor fine particulate air pollution and nonaccidental, cardiovascular, and respiratory mortality. *Sci Rep.* 2017;7:16401.
63. Weschler, C. J. (2006). Ozone's impact on public health: Contributions from indoor exposures to ozone and products of ozone-initiated chemistry. *Environmental Health Perspectives*, 114(10)
64. Weschler, C. J., Ozone in indoor environments: concentration and chemistry, *Indoor air* 10 (2000) 269-288.

65. WHO (World Health Organisation). Air Quality Guidelines for Europe, Copenhagen: WHO,1987
66. Zhang, J., Yongjie, W. And Zhangfu, F. Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide. 2019
67. Zhang, J., Liou, P.J. Ozone in residential air: concentrations, I/O ratios, indoor chemistry and exposures. *Indoor air* 1994
68. Zhong, L., Haghoghat F., Blondeau, P., & Kozinski, J. *Modeling and physical interpretation of photocatalytic oxidation efficiency in indoor air applications.* (2010)
69. Zhong, L., Haghoghat F., Lee, C.S. Indoor ozone and climate change. *Sustainable cities and society journal.* (2017)
70. Zhong, L., Haghoghat F., Lee, C.S. Ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor environmental applications: Experimental validation of the model. *Building and Environment.* (2013)
71. Zhong, L., Haghoghat F., Lee, C.S., & Lakdawala, N. *Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air applications: Systematic experimental evaluation.* Journal of Hazardous Materials. (2013)