



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

# KÖÖGIKUBUDE SAASTEAINETE EEMALDAMISE TÕHUSUS JA MÕJU ÕHUKVALITEEDILE TÜÜPKORTERI NÄITEL

## IMPACT OF KITCHEN HOOD CAPTURE EFFICIENCY ON AIR QUALITY IN THE EXAMPLE OF A TYPICAL APARTMENT

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Andres Nigol  
/nimi/

Üliõpilaskood 183308EAXM

Juhendaja: Ülar Palmiste, doktorant  
/nimi, amet/

*(Tiitellehe pöördel)*

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina \_\_\_\_\_ ( *autori nimi* ) (sünnikuupäev: ..... )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ ,

( *lõputöö pealkiri* )

mille juhendaja on

\_\_\_\_\_ ,

( *juhendaja nimi* )

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

\_\_\_\_\_ ( *allkiri* )

\_\_\_\_\_ ( *kuupäev* )

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Andres Nigol, 183308EAXM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 - Hooned ja rajatised (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** doktorant, Ülar Palmiste (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus ja mõju õhukvaliteedile tüüpkorteri näitel.

(inglise keeles) Impact of kitchen hood capture efficiency on air quality in the example of a typical apartment.

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe katseline määramine erinevatel töörežiimidel;
2. Toiduvalmistamise mõju hindamine õhukvaliteedile peenosakeste mõõtmise teel köögikubu erinevate töörežiimide juures;
3. Tulemuste võrdlemine piirnormidega, toiduvalmistamise mõjust tulenevalt tüüpkorteri köögiventilatsiooni optimaalse lahenduse leidmine.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade, varasemate uuringute tulemustega tutvumine	02.2022
2.	Mõõtestendi ehitus, köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe mõõtmised	03.2022
3.	Toiduvalmistamisel emiteeruvate peenosakeste kontsentratsiooni mõõtmine	10.2022
4.	Tulemuste võrdlemine ja analüüsimine. Töö vormistamine	12.2022

**Töö keel:** Eesti

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "19"detsember 2022.a

**Üliõpilane:** Andres Nigol ..... "....." detsember 2022.a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Ülar Palmiste ..... "....." detsember 2022.a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Thalfeldt ..... "....." detsember 2022.a  
/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
Lühendite ja tähiste loetelu .....	7
1 SISSEJUHATUS .....	8
2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	10
3 TEOREETILISED ALUSED .....	12
3.1 Elamute köögiventilatsioon .....	12
3.2 Köögiventilatsiooni nõuded .....	13
3.3 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus .....	17
Toiduvalmistamine ja peenosakesed .....	20
4 METOODIKA.....	22
4.1 Uurimisobjekt.....	22
4.2 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe mõõtmised .....	23
4.2.1 Mõõteseadmed ja meetodika .....	25
4.2.2 Õhuvooluhulga mõõtmine.....	26
4.2.3 Süsihappegaasi mõõtmine.....	27
4.2.4 Gaasikulu mõõtmine.....	28
4.2.5 Katsetatavad köögikubud .....	29
4.2.6 Katsete kirjeldus .....	30
4.3 Toiduvalmistamise mõju mõõtmised.....	31
4.3.1 Mõõteseadmed ja meetodika .....	32
4.3.2 Toiduvalmistamise mõju katsete kirjeldus .....	32
5 TULEMUSED JA ANALÜÜS .....	34
5.1 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus .....	34
5.1.1 Köögikubu küljeplaatidega (variant 1).....	34
5.1.2 Köögikubu sileda põhjaga (variant 2).....	40
5.1.3 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe järeldused .....	42
5.2 Köögikubude mõju toiduvalmistamisel emiteeruvate peenosakeste kontsentratsioonile .....	44
5.2.1 Toiduvalmistamine kubu kasutamata .....	45
5.2.2 Toiduvalmistamine kubu õhuhulgal 50 l/s.....	46
5.2.3 Toiduvalmistamine kubu õhuhulgal 30 l/s.....	47
5.2.4 Peenosakeste mõõtmiskatsete järeldused.....	49
KOKKUVÕTE .....	52
SUMMARY.....	55
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	57
LISAD .....	58

## **EESSÕNA**

Autor tänab juhendajat Ülar Palmistet lõputöö teema- ja valmimisele kaasa aitamise eest ning Alo Mikolat töös kasutatud mõõteseadmetega varustamise ja konsultatsioonide eest. Tänan lähedasi toetuse ja mõistva suhtumise eest.

Käesolevas magistritöös hinnatakse köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusust erinevatel tööolukordadel. Kontrollitakse toiduvalmistamise mõju eluruumi õhukvaliteedile kaasaegselt renoveeritud korterelamu kahetoalises tüüpkorteris ja võrreldakse toiduvalmistamise mõju ruumiõhu kvaliteedile erinevatel köögiventilatsiooni olukordadel.

Võtmesõnad: saasteainete eemaldamise tõhusus, peenosakesed, kohtäratõmme, köögikubu, magistritöö.

## Lühendite ja tähiste loetelu

ASHRAE – Põhja-Ameerika kütte-, jahutus- ja ventilatsiooniinseneride ühendus

*(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)*

BBR - Rootsi Eluasemeameti ehituseeskirjad

HAP- kodumajapidamiste õhusaaste *(home air pollution)*

HVI - Koduventilatsiooni Instituut, *(Home ventilation Institute)*

CE- köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus *(Capture efficiency)*

CE<sub>esmane</sub>- köögikubu saasteainete esmane eemaldamise tõhusus *(First pass capture efficiency)*

CO<sub>2</sub> - süsihappegaas

CO<sub>2,vt</sub> - CO<sub>2</sub> kontsentratsioon väljatõmbekanalisis

CO<sub>2,rõ</sub> - CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ruumiõhus

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> - butaan

IAQ – siseõhu kvaliteet *(Indoor air quality)*

IRC - Rahvusvaheline elamu kood, *(International Residential Code)*

MEK - metüületüülketooni

Of- lõhna vähendamise tegur *(Odour reduction factor)* EVS-EN 13141-3:2017

q- õhuhulk

Q<sub>vt</sub> - väljatõmbe õhuhulk

PM<sub>10</sub> - peened osakesed

PM<sub>2.5</sub> – eriti peened osakesed

TEK17 - Norra ehitustehniline norm

WHO - Maailma Terviseorganisatsioon *(World Health Organization)*

# 1 SISSEJUHATUS

Inimesed veedavad 85-90% ajast sisetingimustes, millest omakorda suurem osa viibitakse kodus. Kodune toiduvalmistamine ja selle soojendamine on igapäevane tegevus, millega suurem osa inimestest kokku puutub.

Toiduvalmistamise ajal tajuvad kodus viibivad inimesed lõhna, suitsu ja niiskust, kuid ei suuda õhus olevate saasteainete kogust otseselt tuvastada ega hinnata nende mõju tervisele. Paljud ei tea, et toiduvalmistamise käigus tekivad tervisele kahjulikud saasteained, mistõttu pole köögi ventilatsiooni kasutamine järjekindel isegi siis, kui see on olemas.

Toiduvalmistamise käigus võib tekkida tervisele potentsiaalselt ohtlike kemikaalide ja ühendite kogum, mille kontsentratsioon sisetingimustes ületab normides esitatud piirväärtuseid kui köögi ventilatsioon on puudulik.

Lõputöö uurimisprobleem on toiduvalmistamise mõju eluruumi õhukvaliteedile. Söögitegemisel eralduvate kuumade aurude, lõhnade ja erinevate õhusaasteainete eemaldamiseks on tavapärane kasutada kohtäratõmbe süsteemi köögikubudega. Paraku praktikas on tavapärane, et köögikubu valikul keskendutakse pigem kubu välimusele ning müra ja võimsuse näitajatele ja saasteainete eemaldamise tõhususe omadused jäävad tagaplaanile. Lisaks on erinevates tehnilistes nõuetes köögi üld- ja kohtventilatsiooni vooluhulkade juhised erinevad ja segadust tekitavad. Töös käsitletakse erinevaid eluhoonete köögiventilatsiooniga seotud nõudeid ning tuuakse välja erinevused.

Lõputöös hinnatakse eksperimentaalselt köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusust erinevates tööolukordades.

Töös kontrollitakse mõõtmistega toiduvalmistamise mõju eluruumi õhukvaliteedile kaasaegselt renoveeritud korterelamu kahetoalises tüüpkorteris ja võrreldakse toiduvalmistamise mõju ruumiõhu kvaliteedile erinevates köögiventilatsiooni olukordades.

Toiduvalmistamise mõju tüüpkorteri õhukvaliteedile hinnatakse peenosakeste (PM10) ja eriti peenete osakeste (PM2.5) sisalduse mõõtmistega ruumiõhus.



Katsete tulemusi võrreldakse nõuetes kehtestatuga ja pakutakse lahendus tüüpikorteri optimaalsele köögiventilatsioonile.

Töös kasutatud lihtsustused:

- Saasteinete eemaldamise tõhususe määramisel mõõdeti ruumi CO<sub>2</sub> taustkontsentratsioon ühepunktimeetodil, CO<sub>2</sub> ei ole aga ruumis ühtlaselt segunenud. Pliidi kohalt ruumi liikuv õhuvool on soojem kui ruumiõhk, mis tõstab saasteained ruumi ülemisse tsooni ning ruumi ülemises osas on saasteainete kontsentratsioon suurem kui allosas.
- Saasteainete eemaldamise tõhususel määramisel kasutatakse gaasipõletil tekkiva CO<sub>2</sub> analüüsi. Gaasikütuse põlemisel tekkiva CO<sub>2</sub> voog (poti külgedelt tõusev) ei pruugi ühtida erinevatel tingimustel toiduvalmistamisel tekkivate saasteainete trajektooriga.
- Toiduvalmistamise mõju hindamisel mõõdeti peenosakeste sisaldust vaid köögis. Kõrvalruumidesse hajumisel väheneb osakeste kontsentratsioon, mistõttu ei ole tulemused otseselt ülekantavad kogu eluruumile.

## 2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Toiduvalmistamisest tulenevad saasteained võivad oluliselt ja kahjulikult mõjutada kodude õhukvaliteeti. Varasemalt teostatud uuringutes on jõutud tõdemuseni, et toiduvalmistamine on peamine tervisele ohtlike saasteainete allikas kodudes [2].

Toiduvalmistamisega seotud saasteained hõlmavad, kuid ei ole nendega piiratud, süsinikmonooksiidi (CO), lämmastikdioksiidi (NO<sub>2</sub>), formaldehüüdi (CH<sub>2</sub>O), lenduvaid orgaanilisi ühendeid, polütsükilisi aromaatsed süsivesinikke, peeneid- ja ülipeeneid osakesi. Toiduvalmistamine tekitab ka niiskust ja lõhna [2,3].

Orgaanilise aine kõrgel temperatuuridel kuumutamisel (näiteks praadides või küpsetades) eralduvad akroleiin (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O) ja polütsükilised aromaatsed süsivesinikud (PAH) [4].

Ka köögiseadmed ise võivad toiduvalmistamise protsessi käigus tekitada arvukalt saasteaineid. Näiteks ahjude ja röstrite elektrilised küttekehad võivad eraldada peeneid ja ülipeeneid osakesi (UFP), gaasipõletid aga lämmastikoksiidi, süsinikmonooksiidi ja formaldehüüdi (HCHO) [4].

Uuringud on näidanud seost kodudes suurenenud lämmastikoksiidide ja laste suurenenud hingamisteede sümptomite (õhupuudus, vilistav hingamine ja astmahoog) vahel [4].

Toiduvalmistamise mõju vähendamiseks ruumiõhu kvaliteedile on uuritud kirjanduses pakutud järgnevat:

- Valida köögikubud, mille hea saasteainete eemaldamise tõhusus on dokumenteeritud;
- Enamikel köögikubudel on oluliselt suurem saasteainete eemaldamise tõhusus, kui toiduvalmistamine toimub esipõletite asemel tagumistel põletitel.;
- Kasutada induktsioonpliite elektritakistuse või maagaasi pliidiplaatide asemel [2];
- Automaatrežiimiga köögikubud võivad kodudes oluliselt vähendada kokkupuudet köögis leiduvate saasteainetega [2];
- Isegi kõige paremad köögikubud enne sisselülitamist kasutada. Ka osaliselt tõhus süsteem, mida pidevalt kasutatakse, vähendab kodus reostuse ulatust märkimisväärselt. Uuringuandmed näitavad, et köögikubude tekitatud liigne müra heidutab inimesi neid regulaarselt kasutamast [4].

Uurimistööd näitavad, et köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus varieerub köögikubu kuju, paigalduskoha, õhuvoolu ja muude omaduste poolest. Mõõtmised kodudes ja laborites näitavad, et paljudel köögikubudel on heitgaaside ja saasteainete eemaldamise tõhusus (CE), sõltuvalt õhuvoolu hulgast ja sellest, kas kasutatakse eesmist või tagumist põletit, väga erinev.

Pliidiplaadi ja köögiku vahel tekkivate voolumudelite jaoks on oluline kõrgus pliidiplaadi kohal ja see, kas pliidiplaat ja köögikubu asuvad seinakappidega piirkonnas, lahtisel seinal või saarel. Need omadused mõjutavad vajaminevat ventilaatori jõudlust [7].

## 3 TEOREETILISED ALUSED

### 3.1 Elamute köögiventilatsioon

Köögi väljatõmbeventilatsiooni eesmärk on eemaldada ruumis tekkivad saasteained ja niiskus. Kõige efektiivsem on eemaldamine juhul, kui see toimub vahetult niiskuse ja saasteallikate tekkekohas. Toiduvalmistamiskohal paiknev köögikubu ja potentsiaalselt isegi hästi paigutatud sein- või laeventilaator, võivad saasteainete eemaldamisel olla palju tõhusamad, kui mujal köögis või kodus paiknev väljatõmbeventilatsioon [2].

Köögis peab olema üldventilatsioon ja sellele lisaks modifitseeritava väljatõmbega köögikubu.

Elamute köögikubud jagunevad: väljatõmbe- ja tsirkulatsiooni kubud. Tsirkuleerivad köögikubud suunavad õhu tagasi kööki ja eemaldavad erineval tasemel saasteaineid. Paremad mudelid on varustatud rasva- ja söefiltriga. Väljatõmbe köögikubud juhivad köögis olevad saasteained väliskeskkonda ja neid peetakse tõhusaks meetodiks toidu valmistamisega seotud saasteainete allika kontrollimiseks [3].

Väljatõmbe köögikubud saab omakorda jagada: seinale paigaldatavateks (kinnitatakse köögiseinale) ja lakke kinnituvateks (paigaldatakse köögisaarte kohale). Kasutatakse ka tööpinda integreeritud kül- ja allatõmbe kubusid (*downdraft range hoods*) ja mikrolaineahi kubusid (*microwave range*).



Joonis 3.1 Koduköögi köögikubud

Köögikubud on erineva suuruse ja kujuga. Mõnedel on vertikaalselt sügavad põhjaosad, mis tekitavad kogumismahu, kuhu pliidilt tõusvad gaasid ja aur saavad koguneda. Teistel on siledad või kumerad põhjad - sageli rasvaekraanidega, mis on paigutatud üle kogu põhja sisselaskeava ja mille kogumismaht on väga piiratud või puudub üldse.

Köögikubu tõhususe määravad: kubu kuju, väljatõmbeõhu hulk, paiknemine seinas suhtes ning pliidi ja kubu vahekaugus.

Heade töötingimuste saavutamiseks ei tohiks kubu alumine serv asetseda pliidi pealispinnast madalamal kui 600 mm ja 650 mm gaasipõleti korral.

Köögikubude varikate peab olema vähemalt sama lai ja sügav kui pliidiplaat. Köögikubu külgmised servad lisavad kogumisvõimsust. Külgservadeta kubu on aurude eemaldamisel vähetõhus ning peab toidulõhnade levimise takistamiseks ära tõmbama suurema õhuhulga. Suurem õhuhulk võib olla ebasobiv müra ja energiakulu seisukohast. Lisaks võib problemaatiliseks osutuda pliidikubu väljatõmbe kompenseerimine ilma suurt alarõhku tekitamata. Seetõttu tuleks valida köögikubud, mille hea tõhusus on dokumenteeritud.

Köögikubud võivad töötada pidevalt või katkendlikult ning olla automaatsed või vajada käsitsi käivitamist.

### 3.2 Köögiventilatsiooni nõuded

Järgnevalt on võrreldud elamu köögi väljatõmbeventilatsiooni käsitlevaid nõudeid ja juhiseid.

- Sisekliimamääruse eelnõu

Köögi üldventilatsiooni väljatõmme 8 l/s, ajutine kohtaratõmme pliidikubust 25 l/s. Lisamärkus 3- üldväljatõmbe õhuhulk võib olla väiksem juhul kui vähim korteri õhuvooluhulga keskväertus on tagatud.

- EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast.

Köögi väljatõmbeõhu vooluhulk sõltub eluruumi põhiruumide arvust, elanike ootustest (sisekliima klassist) ja sellest, kas köögis on köögikubu.

- EVS 845-2:2004 Hoonete ventilatsiooni projekteerimine osa 2: Ventilatsiooniseadmete valik (kehtetu)

Köögi üldventilatsioon väljatõmme 20 l/s. Lisamärkus b) Normatiiv, kui köögis on pliidi kohal kubu; kui ei, on väljatõmme 50 l/s.

Ptk. 4.2 Elamute ventilatsioon: (9) Äratõmme köögipliidilt tuleb teostada läbi rasvafiltri ja soovitatavalt omaette ventilaatoriga. Perioodiline lühiajaline väljatõmme pliidikummi kaudu võib olla ka suurem (vajadusel 80 l/s kuni 110 l/s). Väljatõmbe kompenseerimine

toimub läbi tubade välisseinas olevate välisõhuklappide ja vajadusel köögiakna avamisega.

- ASHRAE Põhja-Ameerika kütte-, jahutus- ja ventilatsiooniinseneride ühendus, standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings.

Ajutine kohtäratõmme: Kohtäratõmme pliidikubust 50 l/s, kohtäratõmme muud tüüpi ventilaatoriga kui köögikubu 150 l/s või suletud köögi puhul ka 5 l/h.

Kui suletud köögi väljatõmbeventilaatori õhuvooluhulk on suurem või võrdne 5 l/h (viie kordne ruumi maht tunnis), siis võib ventilaatoriks olla kohalik köögi väljatõmbeventilaator või kubu. Kui vooluhulk on väiksem kui 5 l/h, peab kasutama köögikubu.

Pidev väljatõmme: Suletud köögis 5 l/h (viiekordne ruumimaht tunnis).

Nii ASHRAE 62.2 kui ka IRC nõuavad täiendava õhu sisselaskeava paigaldamist kodudesse, kus on köögikubud nimivooluga 400 cfm (190 l/s) või rohkem.

- Norra ehitustehniline norm TEK17

Köögi üldventilatsioon väljatõmme 36 m<sup>3</sup>/h (10 l/s), kohtäratõmme 108 m<sup>3</sup>/h (30l/s).

- Rootsi Eluasemeameti ehituseeskirjad (BBR) Ehitusjuhend 7 Ventilatsioon

Köögi üldventilatsioon väljatõmme minimaalselt 10 l/s eeldusel, et kohtäratõmme on 75% saasteainete eemaldamise tõhususega. Kööginurga üldventilatsiooni minimaalne väljatõmme on 15 l/s.

- Rahvusvaheline elamu kood, International Residential Code (IRC)

Ühe ja kahepereelamutes köögi üldventilatsioon väljatõmme on 25 cfm (11,8 l/s) ja katkendlik 100 cfm (~50l/s).

- Koduventilatsiooni instituut, Home ventilation Institute (HVI)

HVI on mittetulundusühing, mis sertifitseerib HVI protseduuri 9169 abil mõõdetud õhuvoolud ja HVI protseduuri 91510 abil mõõdetud müratasemed ning avaldab suure hulga köögikubude ja -seadmete sertifitseeritud väärtused HVI sertifitseeritud toodete kataloogis. Seinakinnitusega köögikubu puhul on HVI soovitatav õhuhulk 100 cfm (47,2 l/s) sirgjoonelise jala (ft≈0,305 m) kohta ja minimaalne 40 cfm/ft (18,9 l/s). 60 cm laiuse kubu korral on soovituslikult õhuhulk 93 l/s ja minimaalne 37 l/s. Köögisaare kohale asuva köögikubu soovitatav õhuhulk 150 cfm (70,8 l/s) sirgjoonelise jala (ft≈0,305 m) kohta ja minimaalne 50 cfm/ft (23,6 l/s). 60 cm laiuse kubu korral on soovituslikult õhuhulk 139 l/s ja minimaalne 46 l/s.

## **Kokkuvõte köögiventilatsiooni nõuetest**

### Üldventilatsioon:

- Köögi üldväljatõmme on sisekliimamääruse eelnõu, Norra TEK17, Rootsi BBR ja Rahvusvaheline elamu kood IRC puhul vahemikus **8...11,8** l/s;
- EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1 on kolme põhiruumiga tavaelamu puhul, sisekliima kvaliteediklass II (Hea, ootuste normaalne tase) köögi väljatõmbeõhu vooluhulk 30 l/s kui köögis ei ole kuhu ja **15** l/s kui köögis on kuhu;
- ASHRAE standard 62.2-2022 on suletud köögi korral nõutud üldventilatsioon väljatõmme viie kordne ruumi maht tunnis (5 l/h). Katsekorteri korral on see 90 m<sup>3</sup>/h ehk **25** l/s.

### Kohtäratõmme pliidikubust:

- Köögi kohtäratõmme on sisekliimamääruse eelnõu, Norra TEK17 ja Koduventilatsiooni instituudi *Home ventilation Institute* (minimaalne) kohaselt vahemikus **25...37** l/s;
- ASHRAE standard 62.2-2022 ja International Residential Code (IRC) on **50** l/s;
- Koduventilatsiooni instituut, *Home ventilation Institute* (HVI) soovituslik seinakinnitusega 60 cm laiusega köögikuhu **93** l/s.

Köögiventilatsiooni nõuded on koondatud tabelis 3.1.

Köögiventilatsioon on normides määratud ainult õhu vooluhulgaga. Ainus erand on Rootsi Eluasemeameti Ehituseeskirjad (BBR), kus köögi üldväljatõmbe vooluhulga puhul on eeldus, et köögis on 75% saasteainete eemaldamise tõhususega köögikuhu.

Tabel 3.1 Elamuköögi väljatõmbeventilatsiooni nõuded

Viide	Üld-ventilatsioon väljatõmme	Kohtäratõmme	Märkused
Sisekliimamääruse eelnõu	8 l/s	25 l/s	Väljatõmbe õhuhulk võib olla väiksem, juhul kui vähim korteri õhuvooluhulga keskvärtus (0,42 l/s) on tagatud
EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1	20(1t); 25(2t); 30(3t); 35(4t); 40(≥5t) l/s * tegur		Sõltuvalt peamiste ruumide arvust korteris, sisekliima klassist ja köögikubu olemasolust. Tegurid: I kat. 1,4; II kat. 1,0; III kat. 0,7; IV kat. 0,5. Lisamärkus: Kategooria 4 kohaldub ainult juhul, kui köögis on lisakubu.
EVS 845-2:2004 Hoonete ventilatsiooni projekteerimine osa 2: Ventilatsiooniseadmete valik (kehtetu)	20/50 l/s		Normatiiv väljatõmme 20 l/s kui köögis on pliidi kohal kubu, kui ei siis väljatõmme 50l/s
ASHRAE standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings	5 l/h *	50/150 l/s **	* -suletud köögis ** - kohtäratõmme pliidikubust 50l/s; 150 l/s muud tüüpi ventilaatoriga kui köögikubu
Norra ehtustehniline norm TEK17	10 l/s	30 l/s	
Rootsi Eluasemeameti ehituseeskirjad (BBR) Ehitusjuhend 7 Ventilatsioon	10 l/s *	CE 75%	* - eeldusel, et kohtäratõmme 75% saasteainete eemaldamise tõhususega. Kööginurk üldventilatsioon minimaalne väljatõmme 15 l/s
International Residential Code (IRC)	11,8 l/s	50 l/s	
Home Ventilation Institute (HVI)		37 l/s * 93 l/s **	* - seinakinnitusega 60 cm laiuse kubu minimaalne õhuvool ** - seinakinnitusega 60 cm laiuse kubu soovitatav õhuvool Seinakinnitusega köögikubu puhul on HVI soovitatav õhuhulk 100 cfm (47,2 l/s) sirgjoonelise jala (ft≈0,305 m) kohta ja minimaalne 40 cfm/ft (18,9 l/s). Köögisaaire kohale asuva köögikubu soovitatav õhuhulk 150 cfm (70,8 l/s) sirgjoonelise jala (ft≈0,305 m) kohta ja minimaalne 50 cfm/ft (23,6 l/s).



### 3.3 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus

Köögikubude jõudlusnäitajad hõlmavad õhuvooluhulka, helitugevust, energiakasutust ja saasteainete eemaldamise tõhusust enne nende segunemist ruumiõhuga.

Köögikubu õhuvool sõltub ventilaatori töökõverast ja kubu ning ühendatud kanalisüsteemi aerodünaamilisest takistusest (õhuvooluhulga määrab ventilaatori kõvera ja süsteemi kõvera ristumiskoht). Takistust mõjutavad ventilatsioonikanalite materjal (nt sile või painduv), -pikkus, - läbimõõt, pöörete ja üleminekutükkide arv, väljaviskeotsik ja väljatõmbe kompenseerimislahendus. Suurem takistus tähendab suuremat ventilaatori võimsust, energiakasutust ja mürataset.

Köögikubude efektiivsust iseloomustatakse saasteainete eemaldamise tõhususega (*Capture efficiency*), mis on defineeritud kui köögikubuga eemaldatud saasteaine koguse ja toiduvalmistamisel eraldunud saasteainete koguhulga suhe [7].

$$CE = \frac{M_{\text{eemaldatud}}}{M_{\text{emiteeritud}}} \quad (3.1)$$

Kogutõhusus sisaldab saasteaineid, mida köögikubu püüab kinni enne ruumi segunemist, samuti neid, mis pääsevad ruumi ja eemaldatakse seejärel koos köögikubust väljuva ruumiõhuga. [7]

$$M_{\text{eemaldatud}} = M_{\text{segunemata}} + M_{\text{ruumist väljatõmme}} \quad (3.2)$$

Saasteaineid, mis püütakse kinni otse toiduvalmistamisel ja mis ei pääse ruumi, saab kasutada saasteainete esmase eemaldamise tõhususe  $CE_{\text{esmane}}$  (*First pass*) arvutamiseks. [7]

$$CE_{\text{esmane}} = \frac{M_{\text{segunemata}}}{M_{\text{emiteeritud}}} \quad (3.3)$$

Mitmed eeskirjad ja standardid eeldavad kaudselt, et köögikubude tõhusus toiduvalmistamise saasteainete ja niiskuse eemaldamisel on suuresti või täielikult määratud õhuvooluhulgaga. Erinevates uuringutes on aga jõutud järeldusele, et õhuvooluhulk ja saasteainete eemaldamise tõhusus (CE) on küll seoses, kuid ei ole samatähenduslikud. Sama õhuvoolu korral erinesid testitud köögikubude saasteainete

eemaldamise tõhusused märkimisväärselt, mõnel juhul kolm korda. Eeldatakse, et need erinevused tulenevad köögikubu disaini erinevustest (nt tasane, madal salv, sügav salv) ja põletite katmise ulatusest [7].

Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe tõendamiseks on välja töötatud standard EVS-EN 13141-3:2017 Hoonete ventilatsioon – Elamute ventilatsiooniseadmete ja -komponentide katsetamine – Osa 3: Elamutes kasutatavad pliidikubud. Standard määrab meetodid elamutes kasutatavate köögikubude tööomaduste mõõtmiseks. Kehtib ilma ventilaatorita köögikubude kohta. Tõendamine seisneb lõhna eemaldamise tõhususe testimisel. Katse tehakse tootja antud õhuvoolul, mis eemaldab lõhna  $\geq 75\%$ .

Suletud katseruumi maht peab olema  $22 \pm 2 \text{ m}^3$ . Ruumi seinad peavad olema metüületüülketooni (MEK) mitteläbilaskvad.

Katsetatav köögikubu paigaldatakse:

- Mööda katseruumi ühte pikemat seinu koos köögikappidega;
- Pliidiplaadi kohale, köögikappide vahel;
- Kõrgusel 600 mm pliidiplaadist või tootja määratud kõrgustel;

Köögikubud, mis ei ole ette nähtud paigaldamiseks kappi või kappide vahele, tuleb katsetada ilma seinakappideta. Köögimööbli kapid peavad olema katseruumi ülejäänud õhu eest suletud. Testruumis peab olema suletav ventilatsiooniava ja õhuhajutusekraan. Katseruum ühendatakse väljatõmbe kanalisüsteemiga, mis sisaldab sulgventiili, õhuvoolumõõturit ja ventilaatorit.

Katkendlikult töötavat õhuhajutusekraani kasutatakse reaalse olukorra simuleerimiseks õhu liikumisega köögis. Ekraani laius peab olema  $(500 \pm 2)$  mm ja kõrgus  $(1\ 000 \pm 2)$  mm. Ekraani keskpunkti ja põranda vaheline kaugus peab olema  $(1\ 000 \pm 2)$  mm ja kaugus seinast  $(1\ 000 \pm 2)$  mm. Ekraani liigutatakse ühest otsast teise iga 4 sekundi järel konstantse kiirusega 0,5 m/s, välja arvatud kiirendus ja aeglustamine esimese 100 mm jooksul igast lõppasendist.

Eesmisele vasakpoolsele pliidiplaadile asetatakse  $(200 \pm 20)$  mm läbimõõduga ja  $(45 \pm 2)$  mm kõrgusega vaskpõhjaga pann, mille põhja läbimõõt on sama kui pliidiplaadil. Temperatuuri panni põhjas, selle küljelt 40 mm kaugusel, hoitakse  $170\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . Metüületüülketooni (MEK) kontsentratsiooni tuvastamiseks kasutatakse nelja proovivõtupunkti, millest igaüks on vertikaalselt 500 mm kaugusel. Metüületüülketooni

(MEK) kontsentratsiooni mõõtmise detektor peab asuma väljaspool ruumi. Proovivõtupunktide ja mõõteseadmete ühendamiseks kasutatakse 2,5 mm läbimõõduga, võrdse pikkusega PTFE torudega.

Kõigepealt määratakse katseruumi omadused köögikubu kasutamata. 100 g lahust, mis sisaldab (12 ± 0,1) g metüületüülketooni (MEK) (300 ± 1) g destilleeritud vees, tilgutatakse pannile pidevalt sellise kiirusega, et kogu lahus aurustuks 10 min jooksul. Katseruum loetakse piisavalt suletuks, kui metüületüülketooni (MEK) kontsentratsioon katseruumis langeb vähem kui 5 % 1 tund pärast lahuse aurustumist.

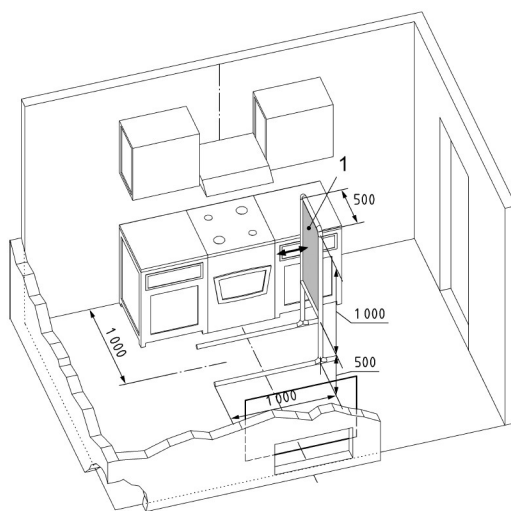
Järgnevalt tehakse katse köögikubu kasutatades, metüületüülketooni lahust tilgutatakse kuumutatud pannile nii, et 100 g lahust on aurustuks 600 ± 5 sekundi jooksul. Lisaventilaator peab olema välja lülitatud, ventilatsiooniava ja sulgventiil suletud ning ventilaator õhuvooluga (70 ± 14) l/s asetatud põranda keskele. Metüületüülketooni (MEK) kontsentratsiooni ruumis (C2) mõõdetakse siis, kui väärtus on stabiliseerunud. Lõhna vähendamise tegur (Of) arvutatakse protsentides, kasutades valemit:

$$Of = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad (3.4)$$

Kus:

- C1 on C1 on metüületüülketooni kontsentratsioon aurustumise lõpus, kui köögikubu ei tööta;
- C2 on metüületüülketooni kontsentratsioon aurustumise lõpus, kui köögikubu töötab.

Katse tulemusena esitatakse lõhna vähendamise tegur, õhuvool ja paigalduskõrgus.



Joonis 3.1 EN 13141-3:2017 testruum õhuhajutusekraaniga

## Toiduvalmistamine ja peenosakesed

Peenosakekestest tingitud negatiivset tervisemõju on kinnitanud paljud epidemioloogilised uuringud. 10 mikromeetrist väiksemad osakesed võivad läbida ülemisi hingamisteid; osakesed, mis on väiksemad kui 2,5 µm võivad jõuda kopsu alveoolidesse ja veelgi väiksemad (0,1 µm) osakesed võivad sattuda vereringesse.

Kehtib seos, et mida väiksem osake, seda ohtlikum on see inimese tervisele. Osakeste PM2.5 ja PM10 tervisemõju seostatakse südamehaiguste, kopsuhaiguste, kopsuvähi, astmahoogude ning mitmete teiste terviseriketega [5].

AIVC (*Air infiltration and Ventilation Centre*) hinnangul on kõige ohtlikumad saasteained tahked osakesed, mille läbimõõt on  $\leq 2,5$  µm (PM2.5). Need on piisavalt väikesed, et vältida bioloogilist kaitsevõimet ning on seotud krooniliste hingamisteede ja südameveresoonkonna haiguste ning vähiga [10].

PM10 ja PM2.5 osakesed:

- PM10 - osakesed, mis standardi EVS-EN 12341 „Välisõhk. Standardne kaalumismeetod suspendeerunud osakeste PM10 või PM2.5 massikontsentratsiooni määramiseks“ või muu samaväärse rahvusvahelise või Euroopa standardiorganisatsiooni standardi kohasel proovivõtmisel ja mõõtmisel 50 protsendil juhtudest läbivad kümne mikromeetri suuruse aerodünaamilise diameetriga mõõduselektiivse ava.
- PM2.5 - osakesed, mis standardi EVS-EN 12341 või muu samaväärse rahvusvahelise või Euroopa standardiorganisatsiooni standardi kohasel proovivõtmisel ja mõõtmisel 50 protsendil juhtudest läbivad 2,5 mikromeetri suuruse aerodünaamilise diameetriga mõõduselektiivse ava.

Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) soovitab, et PM2.5 keskmine kontsentratsioon välisõhus oleks alla 10 µg/m<sup>3</sup> aastas ja 25 µg/m<sup>3</sup> ööpäevas. Need juhised kehtivad ka sisekeskkonna kohta, kuna puuduvad veenvad tõendid sise- ja välisallikatest pärinevate tahkete osakeste ohtlikkuse erinevuse kohta [9]. Ka sisekliima määruuse eelnõus on kirjas (Lisa 3 Tabel 8), et peenosakeste kontsentratsioon ruumi õhus 24 tunni keskmine ei tohi ületada 50 µg/m<sup>3</sup> PM10 osakestele ja 25 µg/m<sup>3</sup> PM2.5 osakestele.

USA riiklikud välisõhu kvaliteedistandardid nõuavad vastavalt 12 µg/m<sup>3</sup> aastas ja 35 µg/m<sup>3</sup> ööpäevas. *Well Buildings Standard* seab läveks 15 µg/m<sup>3</sup>, mida mõõdetakse vähemalt kord tunnis resolutsiooniga 10 µg/m<sup>3</sup> või peenem [10].

Uuringutega on tõendatud, et toiduvalmistamine võib tekitada märkimisväärse peenosakeste kontsentratsiooni kasvu ja piigid võivad olla kuni kaks suurusjärku suuremad kui WHO antud piirnormid [10].

Toiduvalmistamisel tekkiva PM2.5 heite põhiparameeter on emissioonimäär, mida mõjutab: toiduvalmistamismeetod, koostisosa kaal, liha tüüp, õli tüüp ning liha/köögiviljade suhe.

Varasemate uuringutega on leitud, et toiduvalmistamisviisil on kõige suurem mõju ja PM2.5 emiteerub rohkem õliga fritüürimisel, millele järgnesid praadimine, sega-praadimine, keetmine ja aurutamine [12,13].

Toiduvalmistamisel tekkivate PM10 ja PM2.5 osakeste uurimistöös saadi PM2.5 emissiooniks erinevatel toiduvalmistamisviisidel 2,14...22,84 mg/min ja PM10 2,35...25,57 mg/min. PM2.5 emissioonimäär oli PM10 omast 86,5–97,0%. Kala küpsetamise emissioonimäär oli kõrgem kui teistel toiduvalmistamistüüpidel- selle põhjuseks võis olla pärast katseid hautatud kala pidev emissioon [14].

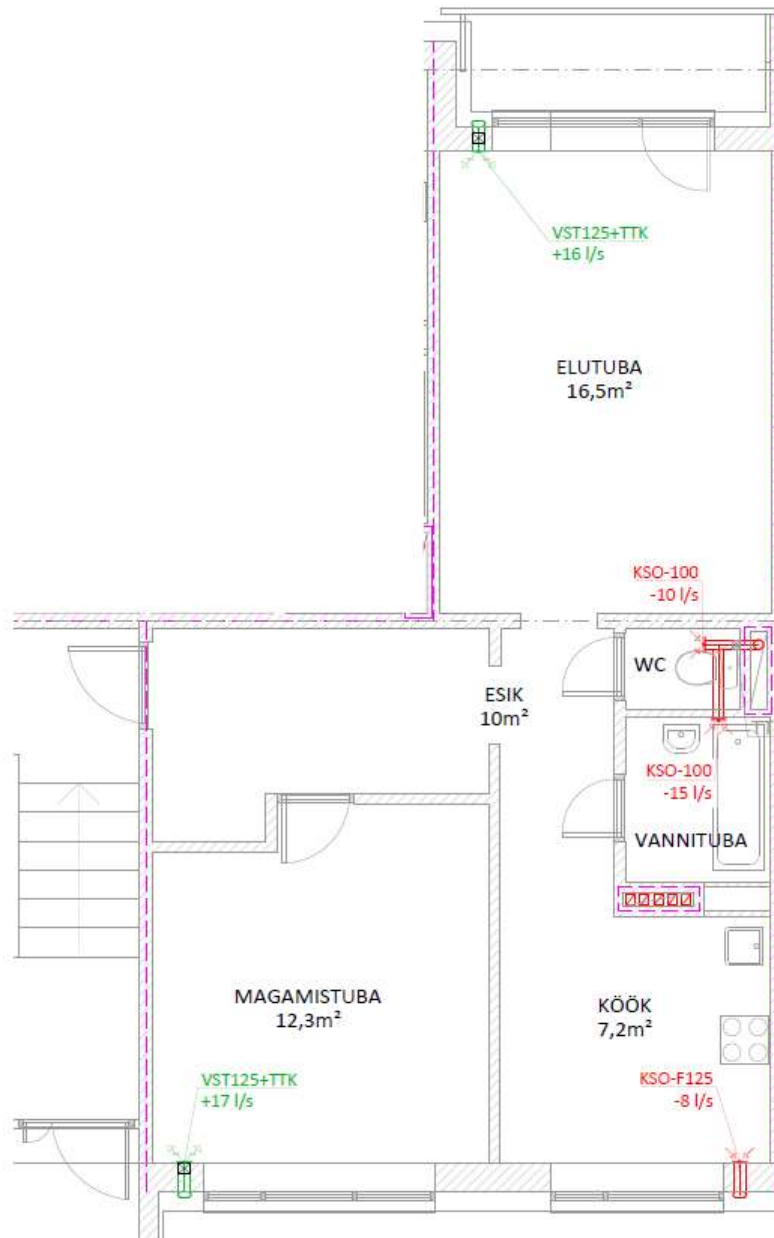
Mitmed uuringud on hinnanud PM2.5 emissioonitugevust mõne toiduvalmistamise stsenaariumi põhjal, eeldades, et emissioonimäär on toiduvalmistamise ajal konstantne, kuid emissioonimäärad võivad paljude tegurite, näiteks toidu temperatuuri tõttu, oluliselt erineda [11].

Elamute siseõhu peenete osakeste sisaldust analüüsiva lõputöö käigus tehtud mõõtmistel ületas toidutegemise järgselt PM10 osakeste keskväärtus sisekliima määrase eelnõus toodud piirväärtust 13 korda ja PM2.5 osakeste puhul 18 korda [6].

## 4 METOODIKA

### 4.1 Uurimisobjekt

Mõõtmised teostati rekonstrueeritud viiekorruselise korterelamu 1. korruse kahetoalises korteris. Korteri plaan koos rekonstrueerimisprojekti ventilatsiooni õhuhulkadega:



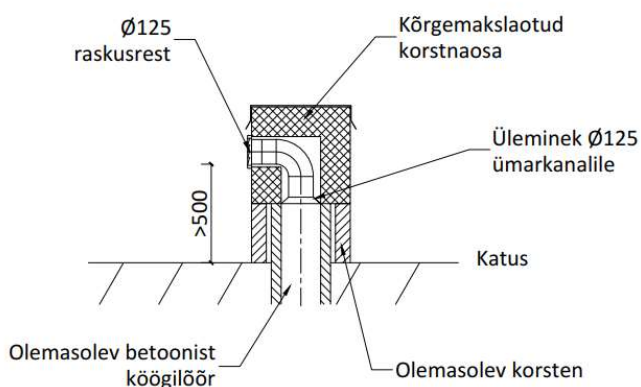
Joonis 4.1 Katsekorteri plaan

## Ventilatsioonisüsteemi kirjeldus

Õhuvahetuse tagamiseks on hoone katusel tsentraalne soojustagastusega ventilatsiooniagregaat. Värske õhk ventilatsiooniagregaati võetakse läbi agregaadi õhuvõtuotsiku ja sealt edasi juhatakse magistraalseid kanaleid pidi jaotuskastideni, kus omakorda juhatakse iga ruumi tarbeks individuaalse ventilatsioonikanaliga igasse eluruumi mööda välisseina, soojustuse alt. Heitõhk köögist ja WC-pesuruumist suunatakse samuti iga ruumi kaupa individuaalsete ventilatsioonikanalitega jaotuskastideni, kust omakorda ventilatsiooniagregaati ning sealt läbi katuse paigaldatud väljaviskehajutaja kaudu väliskeskonda.

Korteri pindala on 50 m<sup>2</sup>, ruumala 124 m<sup>3</sup>. Rekonstrueerimisprojekti järgne korteri ventilatsiooni õhuvooluhulk on 33 l/s ja köögi üldväljatõmme 8 l/s, mis teeb korteri õhuvahetuseks 0,96 1/h ja köögis 1,6 1/h.

Köögikubud on rekonstrueerimisprojektiga ette nähtud ühendada köögišahtiga, mis on katusel lõpetatud välisrestiga:

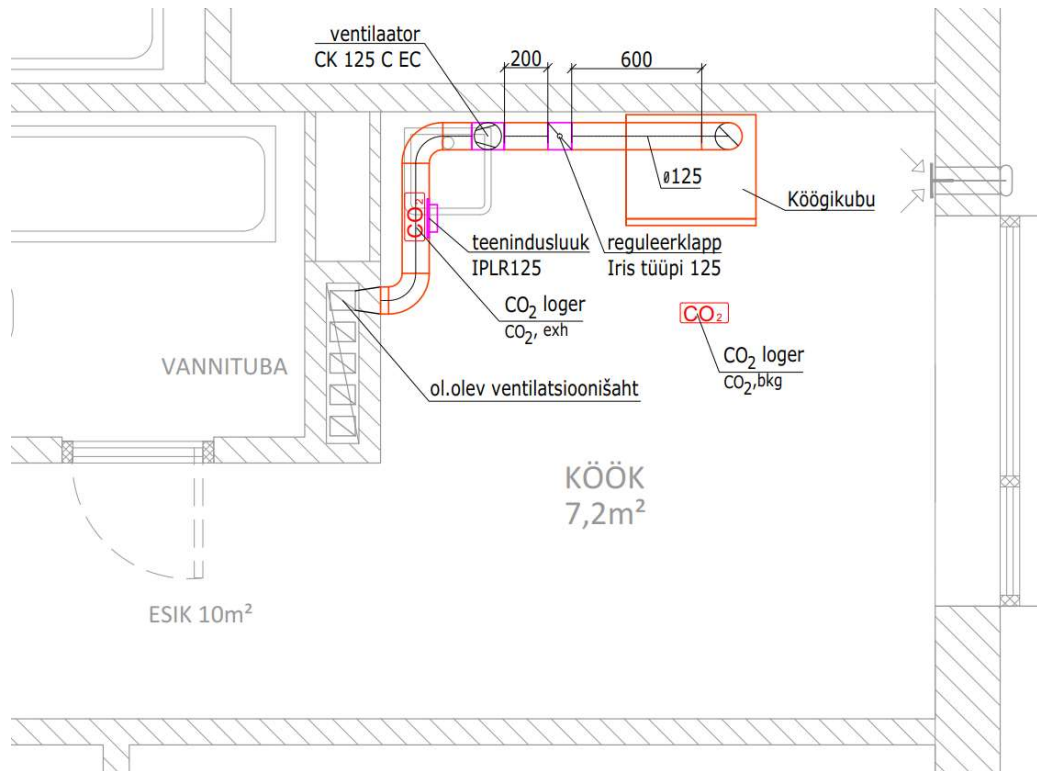


Joonis 4.2 Köögilõõride katuseväljavise

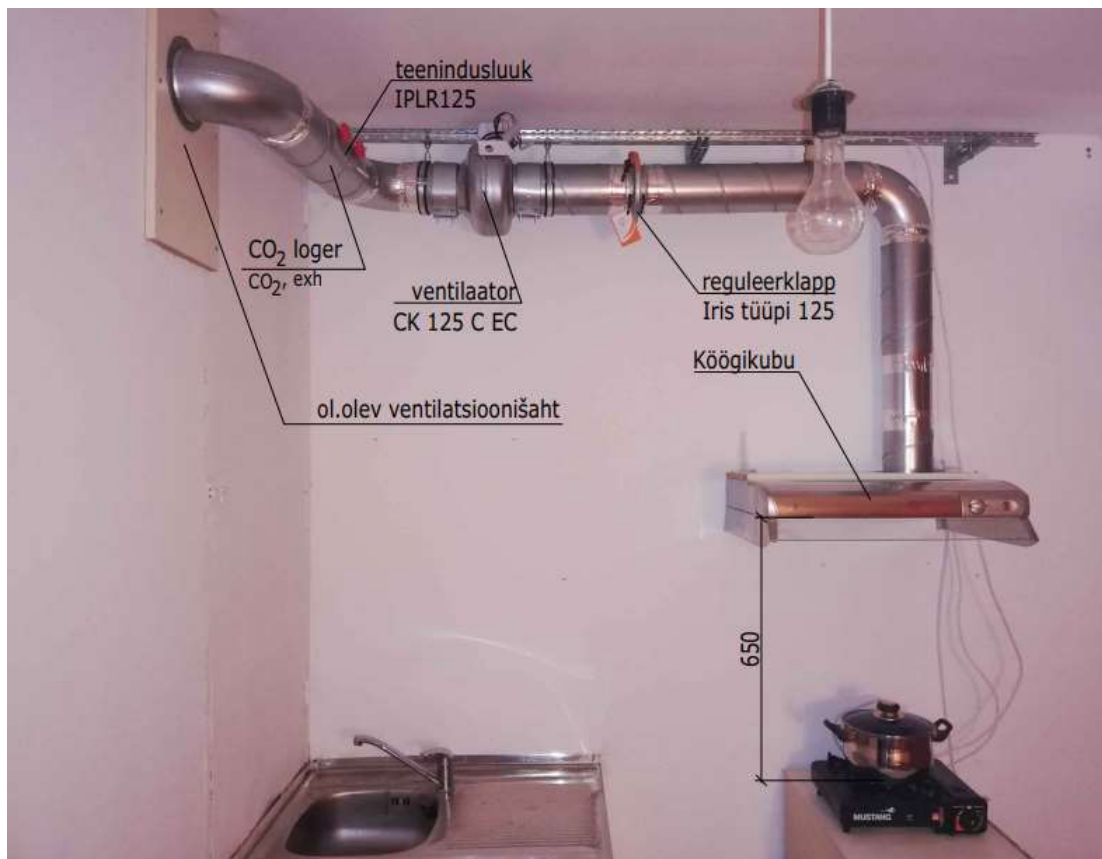
## **4.2 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe mõõtmised**

Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe katsed teostati 2022 aasta jaanuaris ja veebruaris. Saasteainete eemaldamise tõhususe määramiseks rajati tüüpkorterrisse katsestend. Katsestend koosnes:

- Gaasipõletist;
- Köögikubust;
- IRIS tüüpi reguleerklapist (rõhuvahe mõõteotsikutega);
- Kiirusregulaatoriga ventilaatorist;
- Teenindusluugist (IPLR) CO<sub>2</sub> loggeri kanalisse paigaldamiseks.



Joonis 4.3 Katsestendi joonis



Joonis 4.4 Katsestendi vaade



#### 4.2.1 Mõõteseadmed ja meetodika

Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusust hinnati saasteainete eemaldamise kogutõhususe (CE) abil, mis arvutati kuhu läbiva CO<sub>2</sub> massivoolu suurenemise suhe (foonist kõrgemal) jagatuna gaasipõletist lähtuva CO<sub>2</sub> massi emissiooni määraga (võrrand 4.1).

$$CE = \frac{Q_{CO_2 \text{ eemaldatud}}}{Q_{CO_2 \text{ emiteeritud}}} \quad (4.1)$$

kus:  $Q_{CO_2 \text{ eemaldatud}} = Q_{vt} [CO_{2,vt} - CO_{2,rõ}] [l/h]$

$Q_{vt}$  - köögikubu väljatõmbe õhuhulk;  
 $CO_{2,vt}$  - CO<sub>2</sub> kontsentratsioon kubukanalis;  
 $CO_{2,rõ}$  - CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ruumiõhus.

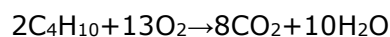
QCO<sub>2</sub> emiteeritud:

Kütusekulu (butaan C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) määramiseks kaaluti katsete alguses ja lõpus gaasiballoon. Keskmise kütusekulu põleti täisvõimsusel saadi 55 mg/s ⇒ 198 g/h.

Butaani molaarmass 58,12 g/mol

198 g C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> / 58,12 = 3,41 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>/h

Butaani täielikul põlemisel:



3,41 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> \* 8 mol CO<sub>2</sub> / 2 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> = 13,62 mol CO<sub>2</sub>/h

Standardtingimustel (25 °C ja 1 atmosfääri rõhul) on Boyle'i seaduse järgi 1 mool 24,47 liitrit

QCO<sub>2</sub> emiteeritud = 13,62 mol CO<sub>2</sub> \* 24,47 = 333,3 l CO<sub>2</sub>/h

Gaasipõletina kasutati kaasaskantavat balloongaasipliiti. Arvestades butaani alumiseks kütteväärtuseks 12,58 kWh/kg, saadi põleti võimsuseks katsevooluhulgal (maksimaalsel asendil) 2,5 kW.

#### 4.2.2 Õhuvooluhulga mõõtmine

Õhuvooluhulk määrati Testo 440 dP mõõteseadmega reguleerklapi rõhulangu alusel.

Tabel 4.1 Mõõteseadme Testo 440 dP parameetrid

<b>Diferentsiaalrõhk</b>	
Mõõtevahemik	-150 kuni +150 hPa
Täpsus	±0,05 hPa (0 kuni 1,00 hPa) ±0,2 hPa + 1,5% (1,01 kuni +150 hPa)
<b>Temperatuur (NTC)</b>	
Mõõtevahemik	-40 kuni +150 °C
Täpsus	±0,4 °C (-40 kuni -25,1 °C) ±0,3 °C (-25 kuni +74,9 °C) ±0,4 °C (+75 kuni +99,9 °C)

Õhuvooluhulk määrati mõõdetud rõhulangu ja reguleerklapi asendi põhjal:

$$q = k \cdot \sqrt{\Delta p_m} \quad (4.1)$$

kus

q – õhuhulk, l/s;

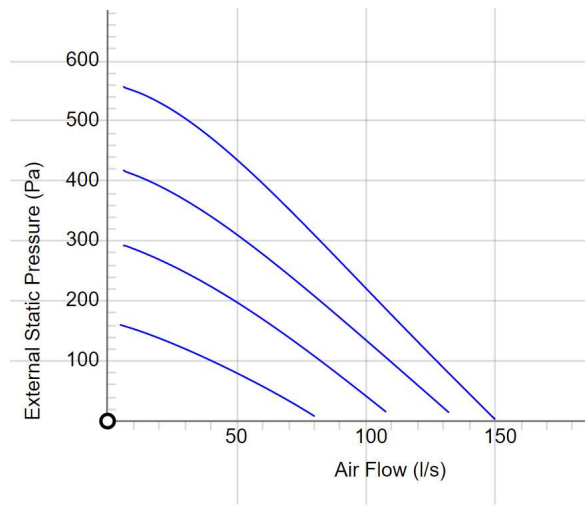
$\Delta p_m$  – mõõdetud rõhkude vahe, Pa;

k - tegur reguleerklapi asendist



Joonis 4.5 Õhuvooluhulga mõõtmine

Soovitud vooluhulk seadistati ventilaatori EC mootori 0-10 V potentsiomeetriga.



Joonis 4.6 Kasutatud ventilaatori karakteristik

### 4.2.3 Süsihappegaasi mõõtmine

Süsihappegaasi mõõtmiseks kasutasin Onset HOB0 MX1102A CO<sub>2</sub> logereid.

Üks loger paigaldati kubukanalisse ja teine kööki kubu kõrvale, millega mõõdeti CO<sub>2</sub> taustkontsentratsioon köögis. Süsinikdioksiidi kontsentratsioon mõõdeti kubu heitõhukanalis ja köögis sekundilise intervalliga.



Joonis 4.7 Onset HOB0 MX1102A loger

Tabel 4.2 Onset HOB0 MX1102A logeri parameetrid.

Loger	
Töövahemik	0° ... 50°C; 0 kuni 95% RH; 0 kuni 5000 ppm
CO2 andur	
Mõõtetäpsus	±50 ppm ±5% 25°C temperatuuril
Temperatuuri andur	
Mõõtetäpsus	±0.21°C vahemikus 0° ... 50°C



Joonis 4.8 CO<sub>2</sub> taustkontsentratsiooni mõõtmine

#### 4.2.4 Gaasikulu mõõtmine

Gaasikulu mõõdeti igal katsel, kaaludes gaasiballooni katse alguses ja lõpus taadeldud kaaluga.



Joonis 4.9 Gaasiballooni kaalumine

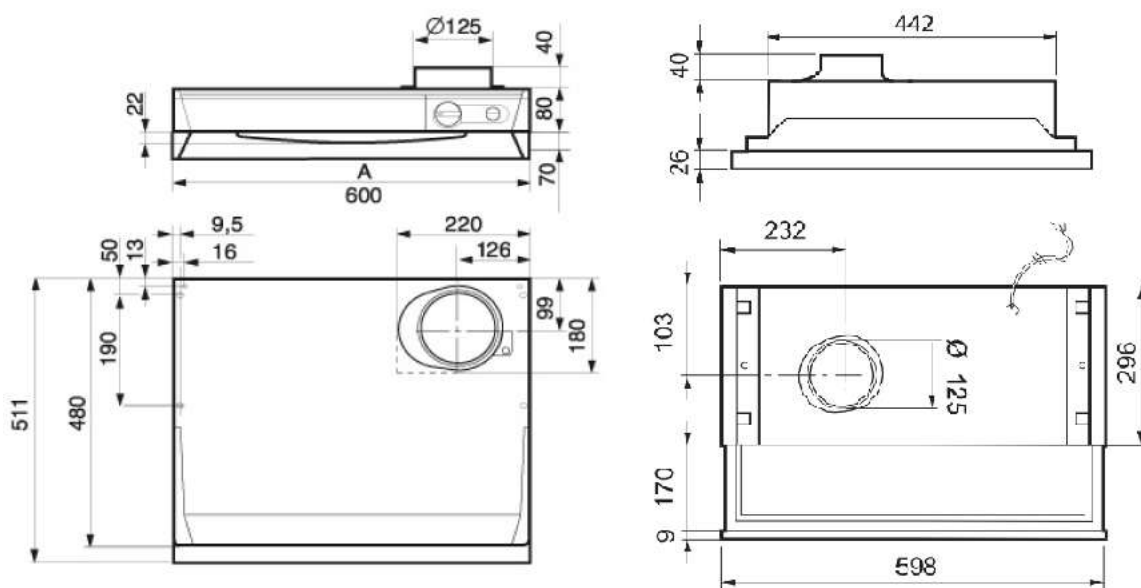
#### 4.2.5 Katsetatavad köögikubud

Töös on katsetatud seinale paigaldatavaid ventilaatorita köögikubusid. Köögikubud on disainitud paiknema seinal köögikapi või vürtsiriuli all.

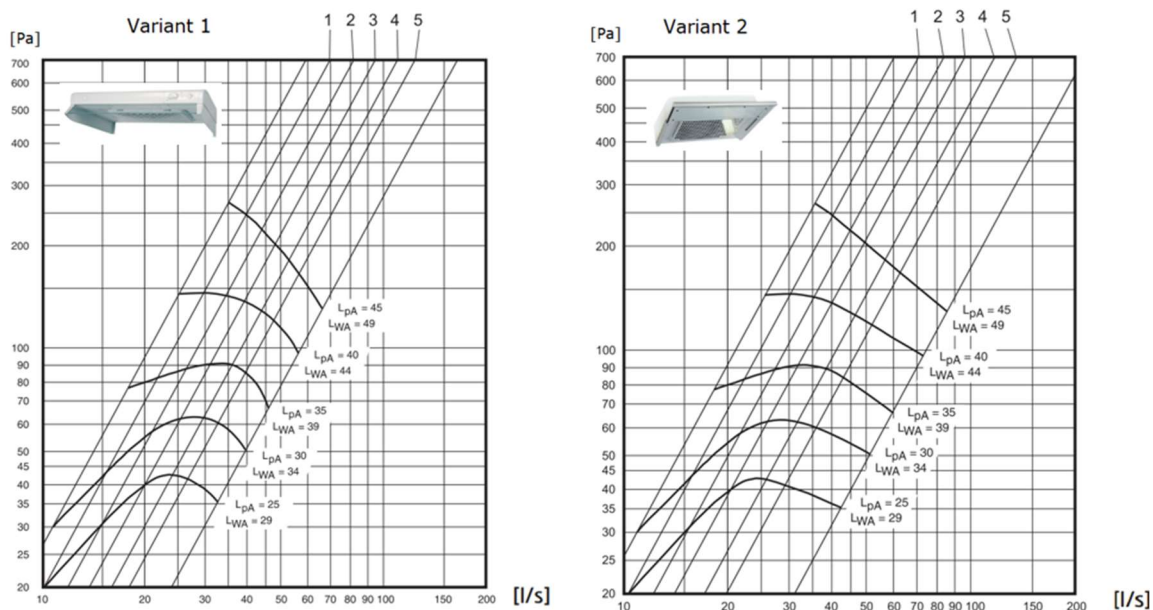
Variant 1 on varustatud kogumismahtu tekitavate küljeplaatidega, Variant 2 on teleskoopse põhjaga (puuduva kogumismahuta).



Joonis 4.10 Katsetatud köögikubud (vasakul variant 1 ja paremal variant 2)



Joonis 4.11 Katsetatud köögikubude mõõtmed (vasakul variant 1 ja paremal variant 2)



Joonis 4.12 Katsetatud köögikubude rõhukao graafikud

#### 4.2.6 Katsete kirjeldus

Katse käik:

- CO<sub>2</sub> logerite sisselülitamine;
- köögikubu tööle lülitamine määratud ventilaatori seadistuses;
- gaasipõletile asetatakse veega täidetud, kaetud 5-liitrine roostevabast terasest pott;
- põleti seatakse maksimumile;
- pärast põleti käivitamist eemaldub katse operaator tööpiirkonnast eemale;
- põleti lülitada 10 minutiga välja;
- lõpliku CO<sub>2</sub> tausttaseme määramiseks andmete kogumine veel ühe minuti jooksul.

Katsed teostati erinevatel kubu õhuhulkadel. Lisaks teostati katse vahepealse vee segamisega, et imiteerida toiduvalmistamise mõju.

### 4.3 Toiduvalmistamise mõju mõõtmised

Toiduvalmistamise mõju hindamiseks siseõhu kvaliteedile, kasutati peenosakeste mõõtmist. Peenosakeste katsed teostati novembris 2022. Toiduvalmistamise mõju hindamiseks rajati tüüpkorterisse katsestend. Katsestend koosnes:

- elektripliidist;
- köögikubust (kogumismahtu tekitavate küljeplaatidega, variant 1);
- IRIS tüüpi reguleerklapist (rõhuvahe mõõteotsikutega);
- kiirusregulaatoriga ventilaatorist.




Joonis 4.13 Toiduvalmistamise mõju katsestend

Peenosakeste seire teostati korteri köögis. Toiduvalmistamisviisiks valiti liha pannil praadimine. Varasemates uuringutes on leitud, et praadimisel võib eralduvate osakeste arv olla kordi suurem kui mõnda muud tüüpi toiduvalmistamisviiside puhul [8,12,13,14].

#### 4.3.1 Mõõteseadmed ja metoodika

Peenosakeste sisalduse mõõtmiseks kasutakse laser-fotomeetrilist analüsaatorit TSI DustTrak 8533.

Tabel 4.3 TSI DustTrak 8533 parameetrid

	
Mõõtepiirkond	0,001 – 150 mg/m <sup>3</sup> 0,1 – 15 µm
Mõõtetäpsus	±0,001 mg/m <sup>3</sup> °C kohta
Ajakonstatnt	1 – 60 s
Õhuvoolukiirus	3 l/s
Kasutustemperatuur	0 – 50°C

#### 4.3.2 Toiduvalmistamise mõju katsete kirjeldus

Toiduvalmistamise katsed algasid mõõteseadme sisselülitamisega, mis paigaldati keset kööki lauale. 15 minutit hiljem lülitati tööle pliidi põleti ja köögikubu ventilaator. Pliidiplaadile paigaldati pann, mis kaeti kolme supilusikatäie taimeõliga. Viie minuti pärast, kui pann ja õli olid kuumutatud, paigaldati pannile kolm 125 g hakkliha kuubikut. Liha praeti viis minutit mõlemalt poolt. Küpsetamise lõpus eemaldati pann pliidilt (kaeti kaanega ja paigutati ahju jahtuma) ning lülitati väljatõmbeventilaator välja.

Iga katse järel puhastati pann, pliit ja kubu eelmise katse jääkidest. Kubuta katse ajal paigutati pliit köögi keskele ja suleti köögikubu reguleerklapp.

Operaatori liikumine katsete ajal oli minimaalne ja kõikidel katsetel võimalikult sarnane.



Katseolukorrad:

1. Toiduvalmistamine kubu kasutamata;
2. Toiduvalmistamine tagumisel pliidiplaadil töötava kubuga (õhuhulgal 50 l/s), kubu lülitatakse välja toiduvalmistamise lõppedes;
3. Toiduvalmistamine esimesel pliidiplaadil töötava kubuga (õhuhulgal 50 l/s), kubu lülitatakse välja toiduvalmistamise lõppedes;
4. Toiduvalmistamine tagumisel pliidiplaadil töötava kubuga (õhuhulgal 30 l/s), kubu lülitatakse välja toiduvalmistamise lõppedes;
5. Toiduvalmistamine esimesel pliidiplaadil töötava kubuga (õhuhulgal 30 l/s), kubu lülitatakse välja toiduvalmistamise lõppedes.

## 5 TULEMUSED JA ANALÜÜS

### 5.1 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus

#### 5.1.1 Köögikubu küljeplaatidega (variant 1)

Köögikubu variant 1 saasteainete eemaldamise tõhususe määramiseks tehti katsed kuhu vooluhulkadel 50, 40, 30, 20 l/s. Lisaks tehti katse õhuhulgaga 50 l/s, vahepealse vee segamisega, et imiteerida toiduvalmistamise mõju.

Kubu kõrgus põletist oli 650 mm (gaasipliidi minimaalne), põleti paiknes kuhu keskel.



Joonis 5.1 Köögikubu variant 1 saasteainete eemaldamise tõhususe katsetamine

#### 5.1.1.1 Katse kuhu õhuhulgal 50 l/s

CO<sub>2</sub> Kubukanalis:

$Q_{vt}$  (kuhu õhuhulk) = 50 l/s  $\Rightarrow$  180 m<sup>3</sup>/h

CO<sub>2</sub> vt = 2146 ppm

CO<sub>2</sub> rõ = 497 ppm

$\Delta$ CO<sub>2</sub> = 2146 - 497 = 1649 ppm

$Q_{CO_2} = 180 \cdot 0,1649 / 100 = 0,296 \text{ m}^3 \text{ CO}_2/\text{h} = 296,9 \text{ l CO}_2/\text{h}$

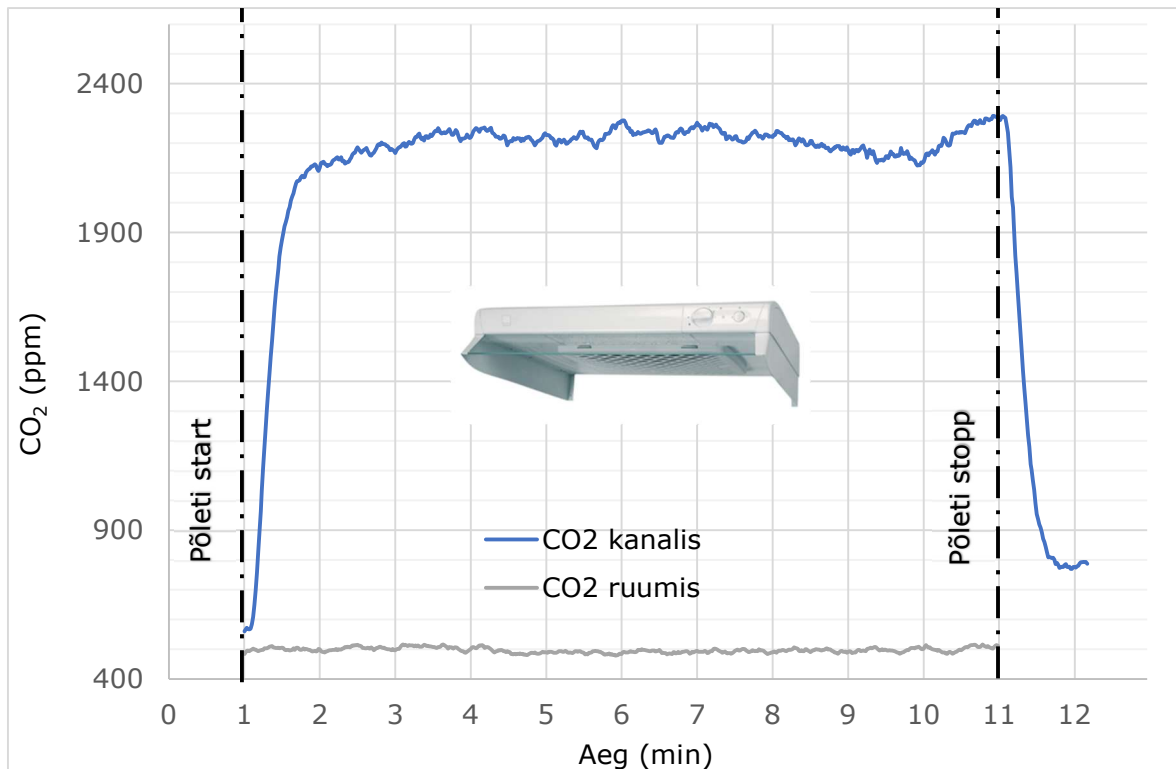
CO<sub>2</sub> emiteeritud:

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 196,5 g/h / 58,12 = 3,38 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>/h

$$3,42 \text{ mol C}_4\text{H}_{10} * 8 \text{ mol CO}_2 / 2 \text{ mol C}_4\text{H}_{10} = 13,52 \text{ mol CO}_2/\text{h}$$

$$Q_{\text{CO}_2} = 13,52 \text{ mol CO}_2 * 24,47 = 330,9 \text{ l CO}_2/\text{h}$$

$$CE = \frac{Q_{\text{CO}_2 \text{ eemaldatud}}}{Q_{\text{CO}_2 \text{ emiteeritud}}} = \frac{296,9}{330,9} = 0,90 \Rightarrow 90\%$$



Joonis 5.2. CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid köögikubu variant 1 vooluhulgal 50 l/s

### 5.1.1.2 Katse kubu õhuhulgal 40 l/s

CO<sub>2</sub> Kubukanalis:

$$Q \text{ vt (kubu õhuhulk)} = 40 \text{ l/s} \Rightarrow 144 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{CO}_2 \text{ vt} = 2342 \text{ ppm}$$

$$\text{CO}_2 \text{ rõ} = 474 \text{ ppm}$$

$$\Delta \text{CO}_2 = 2342 - 474 = 1869 \text{ ppm}$$

$$Q_{\text{CO}_2} = 144 * 0,1868 / 100 = 0,269 \text{ m}^3 \text{ CO}_2/\text{h} = 269,1 \text{ l CO}_2/\text{h}$$

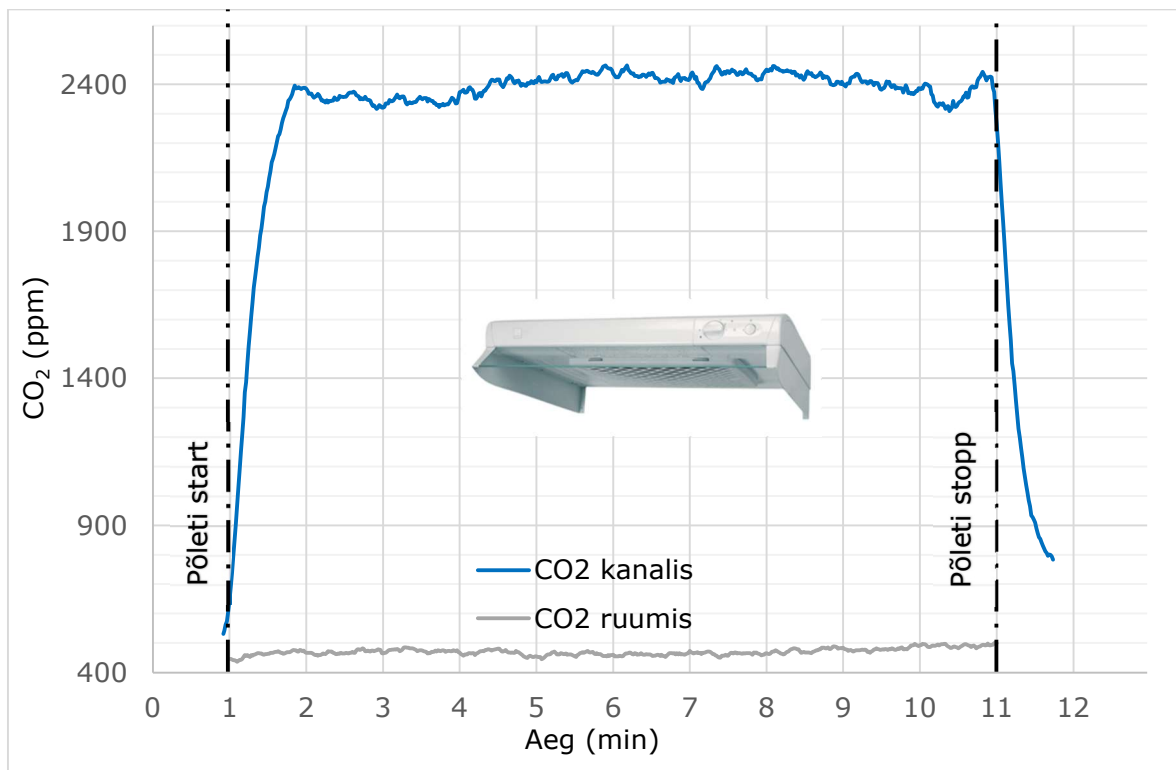
CO<sub>2</sub> emiteeritud:

$$\text{C}_4\text{H}_{10} \text{ 199 g/h} / 58,12 = 3,42 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}/\text{h}$$

$$3,42 \text{ mol C}_4\text{H}_{10} * 8 \text{ mol CO}_2 / 2 \text{ mol C}_4\text{H}_{10} = 13,67 \text{ mol CO}_2/\text{h}$$

$$Q_{\text{CO}_2} = 13,67 \text{ mol CO}_2 * 24,47 = 334,5 \text{ l CO}_2/\text{h}$$

$$CE = \frac{Q_{CO_2} \text{ eemaldatud}}{Q_{CO_2} \text{ emiteeritud}} = \frac{269,1}{334,5} = 0,80 \Rightarrow 80\%$$



Joonis 5.3. CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid köögikubu variant 1 vooluhulgal 40 l/s

### 5.1.1.3 Katse kubu õhuhulgal 30 l/s

CO<sub>2</sub> Kubukanalis:

$$Q \text{ vt(kubu õhuhulk)} = 30 \text{ l/s} \Rightarrow 108 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$CO_2 \text{ vt} = 2674 \text{ ppm}$$

$$CO_2 \text{ rõ} = 518 \text{ ppm}$$

$$\Delta CO_2 = 2674 - 518 = 2250 \text{ ppm}$$

$$Q_{CO_2} = 108 * 0,225 / 100 = 0,233 \text{ m}^3 \text{ CO}_2/\text{h} = 232,8 \text{ l CO}_2/\text{h}$$

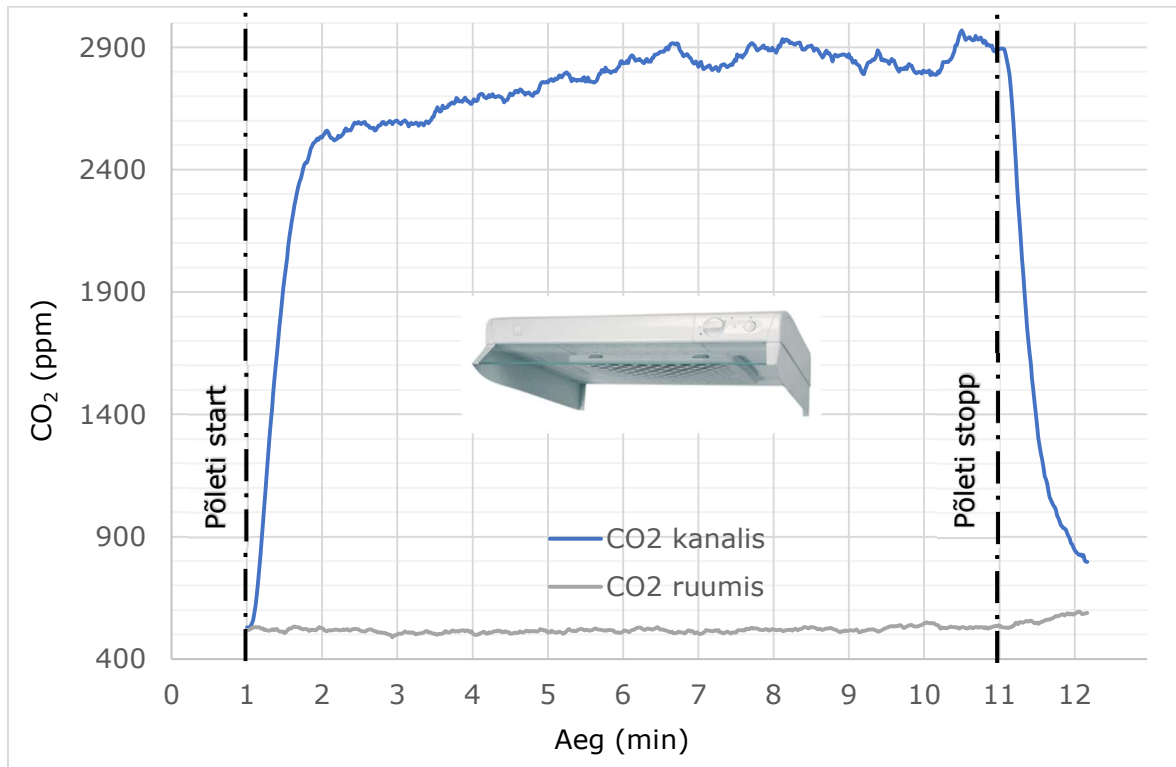
CO<sub>2</sub> emiteeritud:

$$C_4H_{10} \text{ 197 g/h} / 58,12 = 3,40 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}/\text{h}$$

$$3,40 \text{ mol C}_4\text{H}_{10} * 8 \text{ mol CO}_2 / 2 \text{ mol C}_4\text{H}_{10} = 13,59 \text{ mol CO}_2/\text{h}$$

$$Q_{CO_2} = 13,59 \text{ mol CO}_2 * 24,47 = 332,4 \text{ l CO}_2/\text{h}$$

$$CE = \frac{Q_{CO_2} \text{ eemaldatud}}{Q_{CO_2} \text{ emiteeritud}} = \frac{232,8}{332,4} = 0,70 \Rightarrow 70\%$$



Joonis 5.4. CO2 kontsentratsioonid köögikubu variant 1 vooluhulgal 30 l/s

#### 5.1.1.4 Katse kubu õhuhulgal 20 l/s

CO<sub>2</sub> Kubukanalis:

Qvt (kubu õhuhulk)= 20 l/s  $\Rightarrow$  72 m<sup>3</sup>/h

CO<sub>2</sub> vt= 3172 ppm

CO<sub>2</sub> rõ = 588 ppm

$\Delta CO_2 = 3172 - 588 = 2584$  ppm

$Q_{CO_2} = 72 * 0,2584 / 100 = 0,186$  m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/h = 186,1 l CO<sub>2</sub>/h

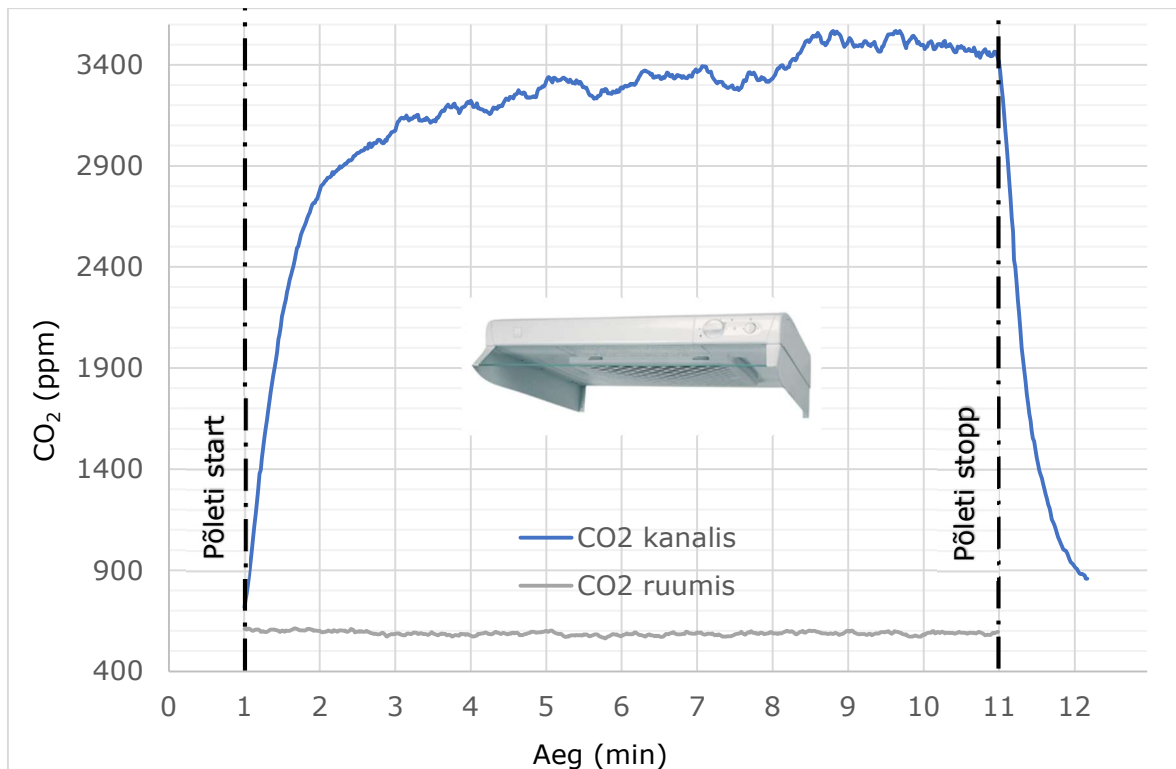
CO<sub>2</sub> emiteeritud:

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 195 g/h / 58,12 = 3,35 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>/h

3,35 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> \* 8 mol CO<sub>2</sub> / 2 mol C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> = 13,40 mol CO<sub>2</sub>/h

$Q_{CO_2} = 13,40 \text{ mol CO}_2 * 24,47 = 327,9$  l CO<sub>2</sub>/h

$$CE = \frac{Q_{CO_2} \text{ eemaldatud}}{Q_{CO_2} \text{ emiteeritud}} = \frac{186,1}{327,9} = 0,57 \Rightarrow 57\%$$



Joonis 5.5. CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid köögikubu variant 1 vooluhulgal 20 l/s

#### 5.1.1.5 Katse kubu õhuhulgal 50 l/s vahepealse vee segamisega

Selle katse käigus segati katse keskel potis vett 30 sekundit, et imiteerida toiduvalmistamise mõju.

##### CO<sub>2</sub> Kubukanalis:

Qvt (kubu õhuhulk)= 50 l/s ⇒ 180 m<sup>3</sup>/h

CO<sub>2</sub> vt= 2192 ppm

CO<sub>2</sub> rõ = 609 ppm

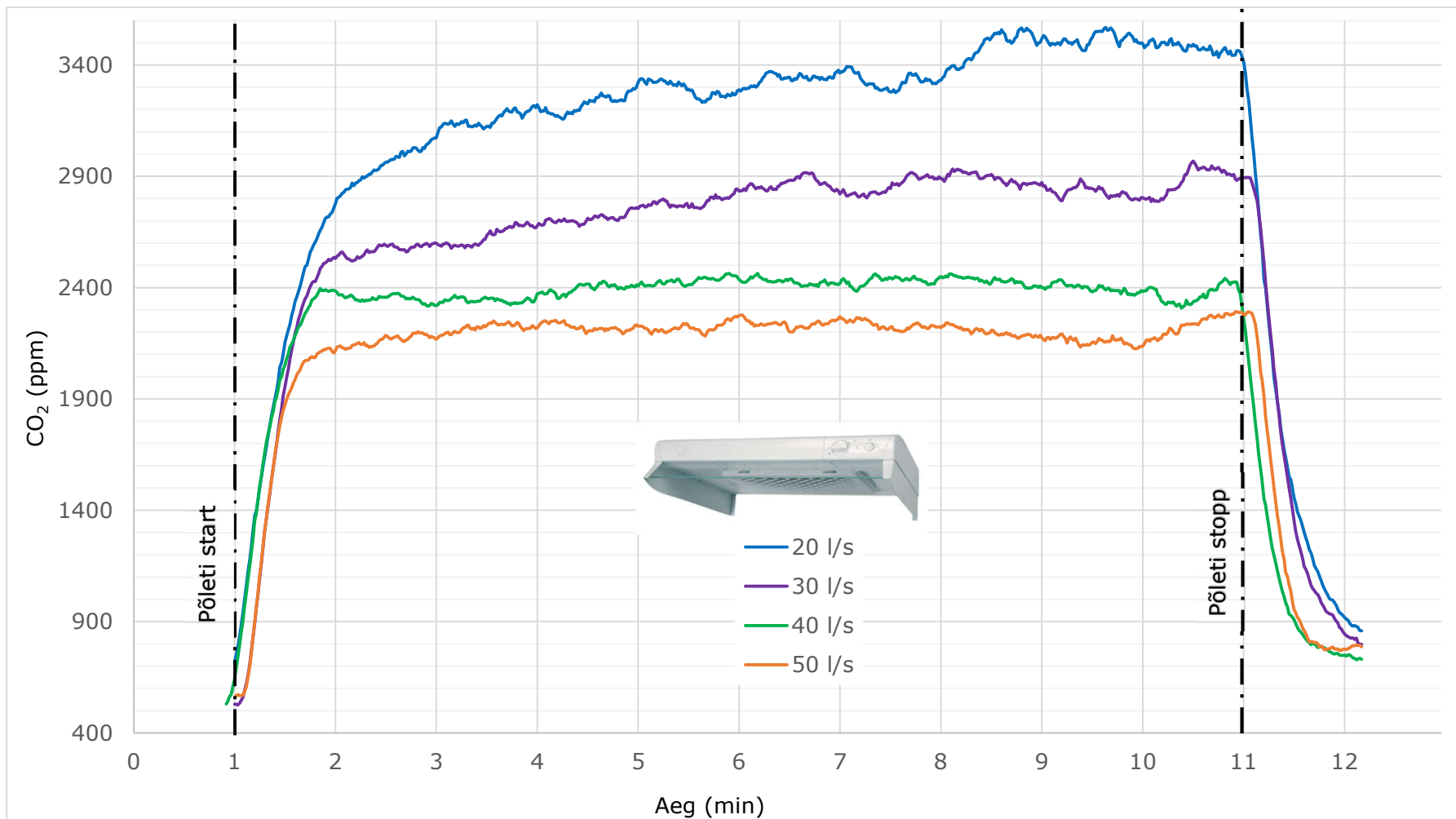
ΔCO<sub>2</sub> = 2192 -609 =1582 ppm

QCO<sub>2</sub>=180\*0,1582/100= 0,285 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/h=285 l CO<sub>2</sub>/h

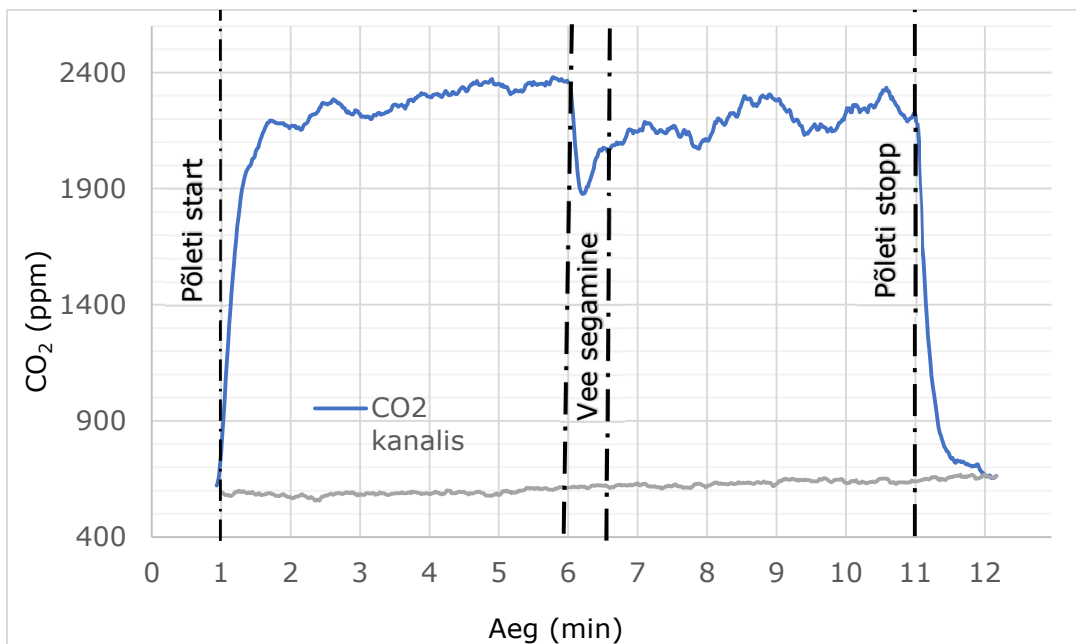
##### CO<sub>2</sub> emiteeritud:

QCO<sub>2</sub>=333 l CO<sub>2</sub>/h

$$CE = \frac{QCO_2 \text{ eemaldatud}}{QCO_2 \text{ emiteeritud}} = \frac{285}{333} = 0,85 \Rightarrow 85\%$$



Joonis 5.6 Kõögikubu variant 1 CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid kuhu väljatõmbekanalis



Joonis 5.7. CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid köögikubu variant 1 vooluhulgal 50 l/s vahepealse vee segamisega

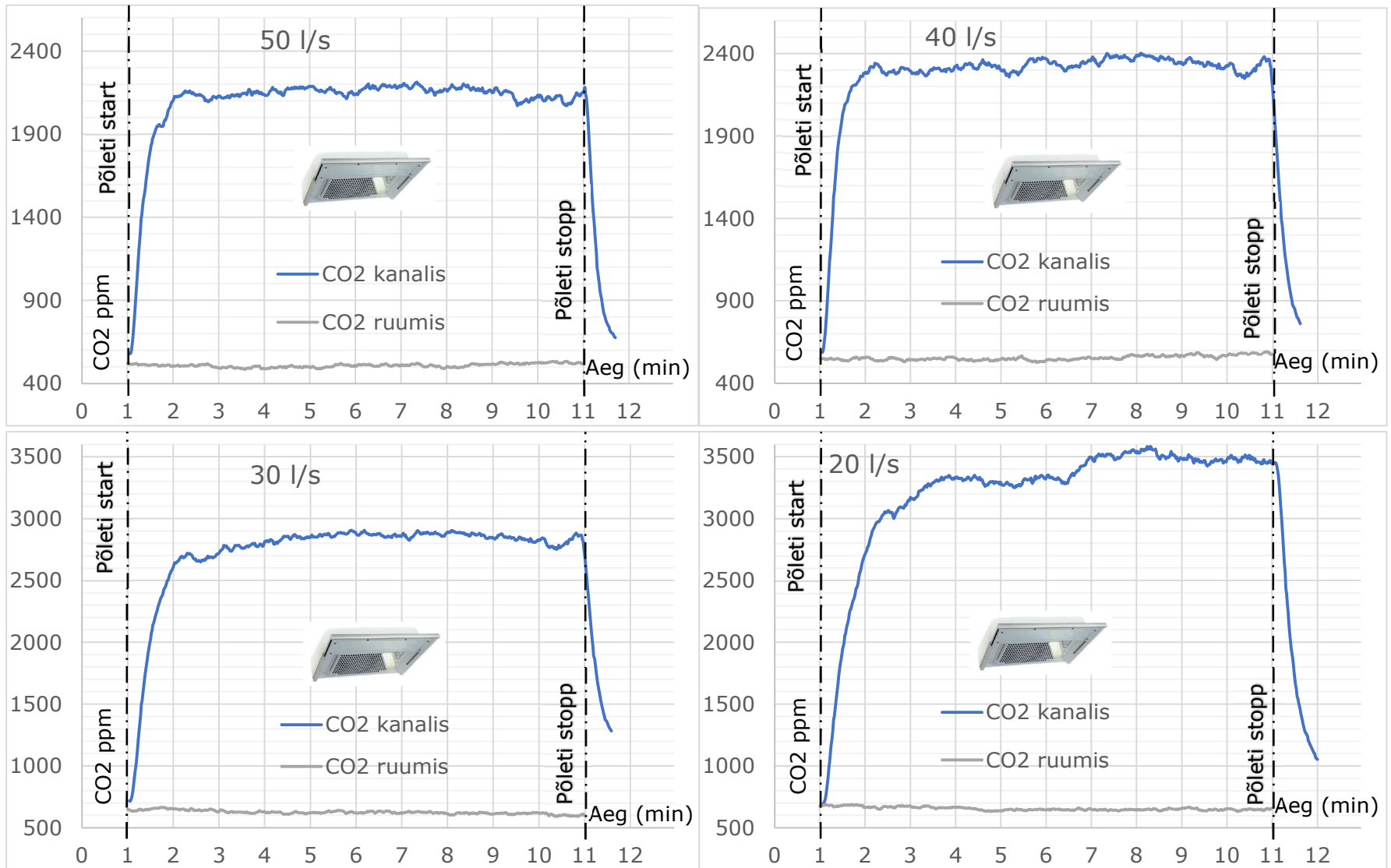
### 5.1.2 Köögikubu sileda põhjaga (variant 2)

Köögikubu variant 2 saasteainete eemaldamise tõhususe määramiseks tehti katsed kuhu õhuhulkadel 50, 40, 30 ja 20 l/s. Kuhu kõrgus põletist 650 mm (gaasipliidi minimaalne), põleti paiknes kuhu keskel. Köögikubu variant 2 CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid on esitatud joonisel 5.9.



Joonis 5.8 Köögikubu variant 2 saasteainete eemaldamise tõhususe katsetamine

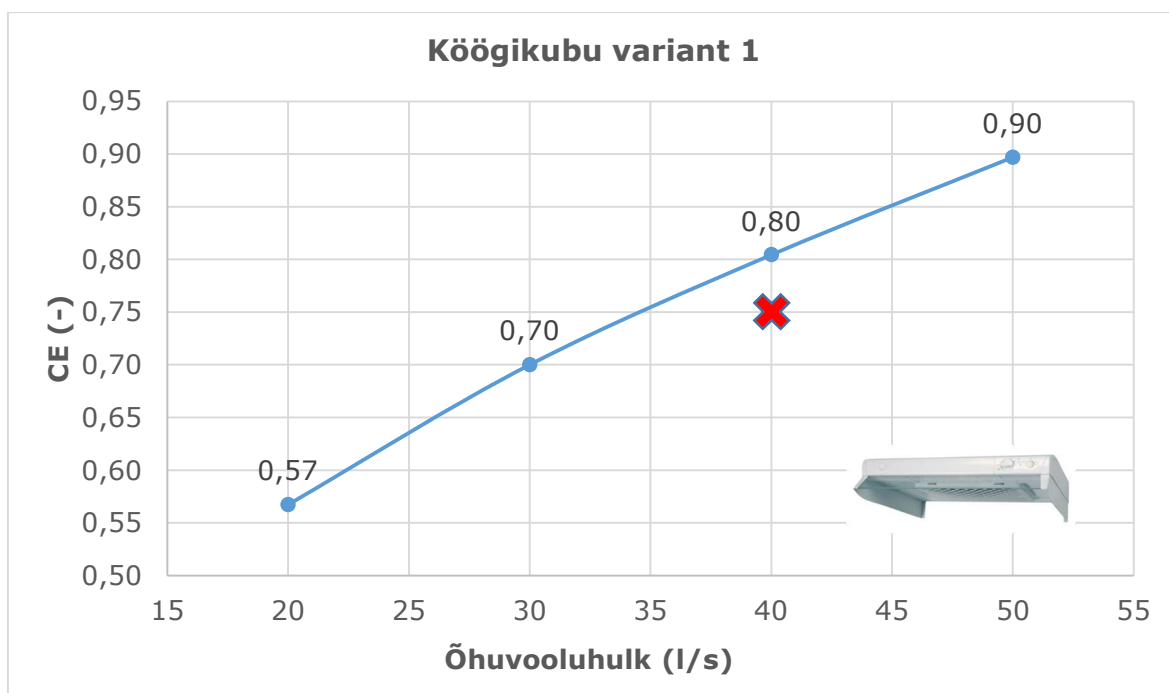




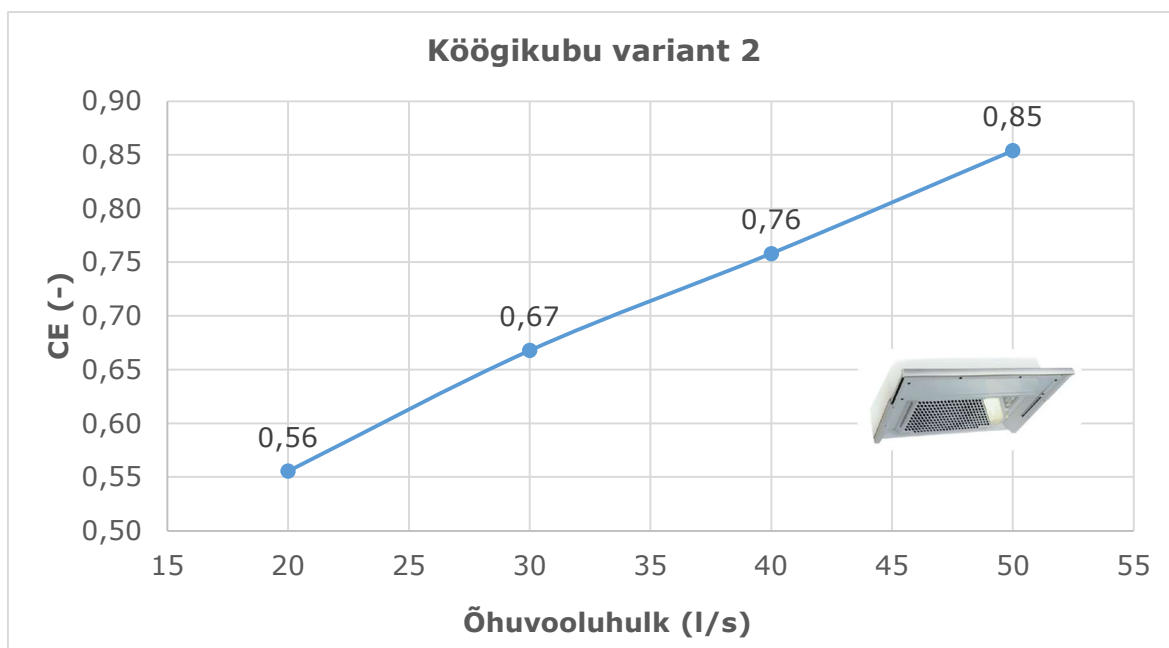
Joonis 5.9 Köögikubu variant 2 CO<sub>2</sub> kontsentratsioonid

### 5.1.3 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe järeldused

Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe katsetulemused on esitatud joonistel 5.10 (variant 1) ja 5.11 (variant 2) ja koondatult joonisel 5.12.



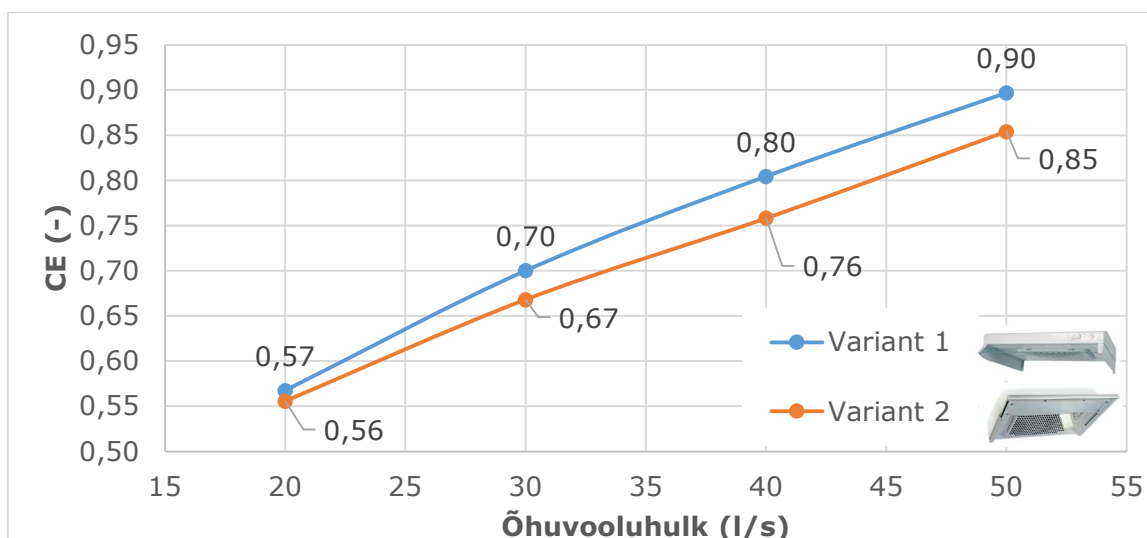
Joonis 5.10. Köögikubu variant 1 saasteainete eemaldamise tõhusus (punane rist tähistab tootja andmetel  $O_f=75\%$  EVS-EN 13141-3:2017)



Joonis 5.11. Köögikubu variant 2 saasteainete eemaldamise tõhusus

Tabel 5.1 Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus erinevatel õhuvooluhulkadel

Q, l/s		50	40	30	20
CE	Variant 1	0,90	0,80	0,70	0,57
	Variant 2	0,85	0,76	0,67	0,56
	Δ%	5	4	3	1



Joonis 5.12. Katsetatud köögikubude saasteainete eemaldamise tõhususe võrdlus

Kogumismahtu tekitavate küljeplaatidega köögikubu (variant 1) saasteainete eemaldamise tõhusus jäi vahemikku 0,57...0,9 (57...90%) ja teleskoopse sileda põhjaga (variant 2) kubul vahemikku 0,56...0,85 (56...85%).

Tootja andmetel on kuhu variant 1 lõhna vähendamise tegur 75% (EVS-EN 13141-3:2017) vooluhulgal 140 m<sup>3</sup>/h (~40 l/s), mis on joonisel 5.9 tähistatud ristiga. EVS-EN 13141-3:2017 järgi teostatakse katse pliidi esiplaadil, katkendlikult töötava õhuhajutusekraaniga. Käesolevas töös paiknes gaasipõleti kuhu keskel ja operaator eemaldas katse ajaks ruumist, mis selgitab parema saasteainete eemaldamise tulemuse saamist.

Kogumismahtu tekitavate küljeplaatidega köögikubu (variant 1) saasteainete eemaldamise tõhusus oli sileda, teleskoopse põhjaga (variant 2) kuhu tulemustest parem 1...5 protsendipunkti, erinevus suurenes õhuhulga suurenedes.

Vahepealne vee segamine, 50 l/s kuhu õhuhulgal, vähendas saasteainete eemaldamise tõhusust 5 protsendipunkti, mis kinnitab, et toiduvalmistamistegevus ja sellega

kaasnevad õhuvoolud mõjutavad köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusust. EVS-EN 13141-3:2017 alusel teostatavates katsetes võetakse see arvesse katkendlikult töötavat õhuhajutusekraani kasutatakse reaalse olukorra simuleerimiseks õhu liikumisega köögis.

Köögikubu saasteainete eemaldamise tõhususe katsed tehti põleti asukohaga kubu keskel. Hilisemates toiduvalmistamise katsetes ilmnis, et väiksemal vooluhulgal ja toiduvalmistamisel pliidi esiplaadil, on saasteainete eemaldamine vähemtõhusam.

## 5.2 Köögikubude mõju toiduvalmistamisel emiteeruvate peenosakeste kontsentratsioonile

Käesolevas peatükis on esitatud katsekorteris teostatud peenosakeste mõõtmiskatsete tulemused.



Joonis 5.12 Peenosakeste mõõtmiskatsed (a- katsetamine tagumisel pliidiplaadil, b- katsetamine esimesel pliidiplaadil, c- katsetamine kubu kasutamata)

Köögikubu kõrgus oli 600 mm pliidiplaatide pealt (elektripliidi minimaalne).

Kõik katsed tehti 10 sekundilise mõõteintervalliga ja katse kirjeldust (vt. ptk. 4.3.2) järgides. Peenosakeste kontsentratsioonid on esitatud  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ühikutes.

Katsete kokkuvõtte tabelites on esitatud mõõtetulemuste minimaalsed, maksimaalsed, keskmised, mediaan ning 5 ja 95 protsentiili väärtused.

Kuna peenosakeste nõuded on esitatud 24 tunni keskmisena, siis on mõõtmistulemused kalkuleeritud ööpäeva arvestusega, et peale toiduvalmistamise mõju möödumist on peenosakeste kontsentratsioon ruumiõhus konstantne  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Kubuga katsed tehti õhuhulkadel 30 l/s ja 50 l/s:

- Õhuhulk 30 l/s vastab Norra TEK17, Koduventilatsiooni Instituudi (*Home ventilation Institute HVI*) ja sisekliima määruse eelnõule;
- Õhuhulk 50 l/s vastab ASHRAE standardile 62.2-2022 ja Rahvusvaheline elamu kood (*International Residential Code IRC*) nõudele vt. ptk. 3.2.

Kubuga katsete hindamisel on arvestatud nädalavahetuse olukorda, kus toimub kaks toiduvalmistamiskorda päevas (n. lõuna- ja õhtusöök).

### 5.2.1 Toiduvalmistamine kubu kasutamata

Kubu kasutamata olukorra kirjeldamiseks tehti viie tunnise mõõteperioodiga katsed. Kokku teostati kolm korduskatset ja käesolevas töös esitatakse keskmist tulemust.

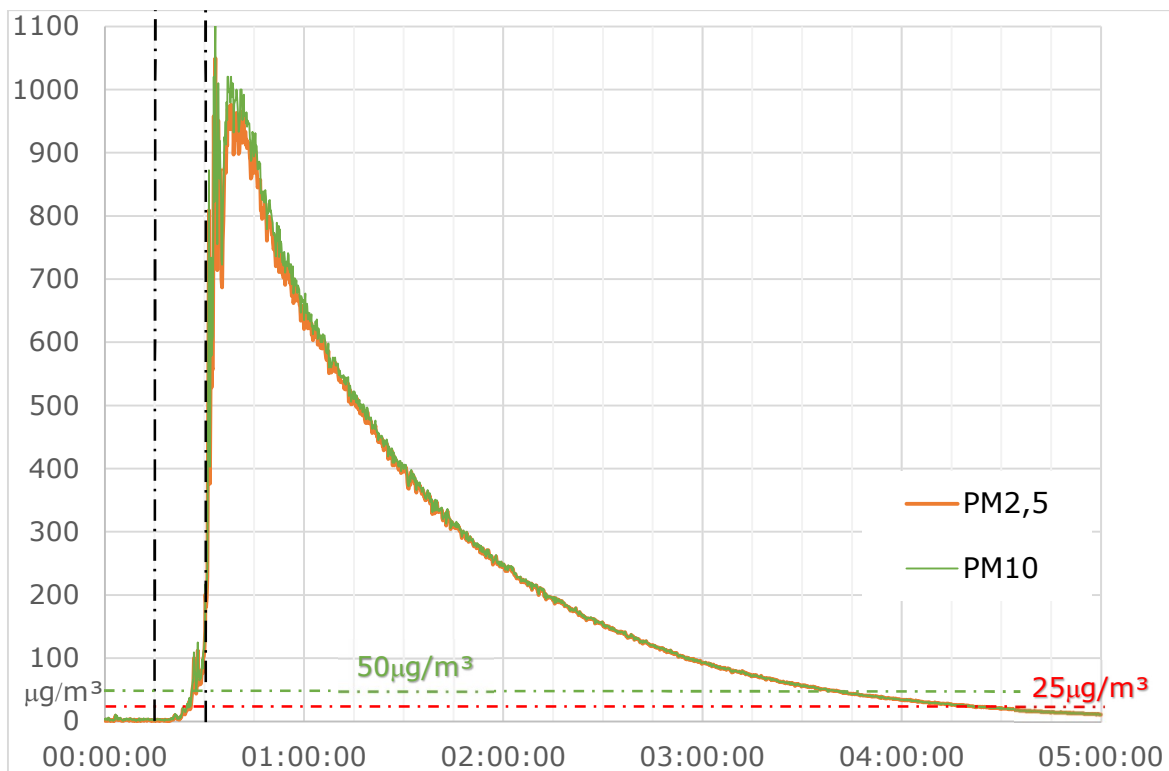
Peenosakeste kontsentratsioon köögis saavutas haripunkti 7 minutit pärast toiduvalmistamist tasemel  $1050 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 osakestel ja  $1110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 osakestel. Mõõteperioodi (5h) keskmine peenosakeste sisaldus oli  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 osakestel ja  $214 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 osakestel.

Tabel 5.2 Peenosakeste sisalduse kokkuvõte kubuta praadimiskatsel

Karakteristik	Kontsentratsioon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	PM2.5	PM10
Min	1	1
Maks	1050	1110
Keskmine	210	214
Mediaan	94	95
5%	2,0	4,0
95%	795	825

24 h keskmine peenosakeste sisaldus köögis ühest kubuta praadimisest saadakse PM2.5 osakeste korral  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja PM10 osakeste korral  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mis ületab PM2.5 piinormi ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 2 korda ja võrdub ligikaudu PM10 piinormiga ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Joonisel 5.13 on esitatud peenosakeste sisaldus köögis kubuta praadimiskatsel, aeg on arvestusega katse algusest ja vertikaalsed lisajooned tähistavad pliidi sisse- ja väljalülitamist.



Joonis 5.13. Peenosakeste sisaldus köögis kubuta praadimiskatsel (vertikaalteljel kontsentratsioon ühikutes  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , horisontaalteljel aeg tundides)

Kuna PM10 ja PM2.5 väärtused olid katsetes võrreldavas suurusjärgus ja PM2.5 piirnorm on poole väiksem, siis käsitletakse järgnevates katsetulemustes ainult PM2.5 sisaldust.

### 5.2.2 Toiduvalmistamine kubu õhuhulgal 50 l/s

Kubu õhuvooluhulgal 50 l/s tehti nelja tunni mõõtmispikkusega katsed. Katsed teostati panni asetusega esimesel ja tagumisel pliidiplaadil.

Mõõteperioodi (4h) keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus köögiõhus:

- esimesel pliidiplaadi katsel  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- tagumisel pliidiplaadi katsel  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabel 5.3 PM2.5 peenosakeste sisalduse kokkuvõte 50 l/s kubu õhuhulgaga praadimiskatsel

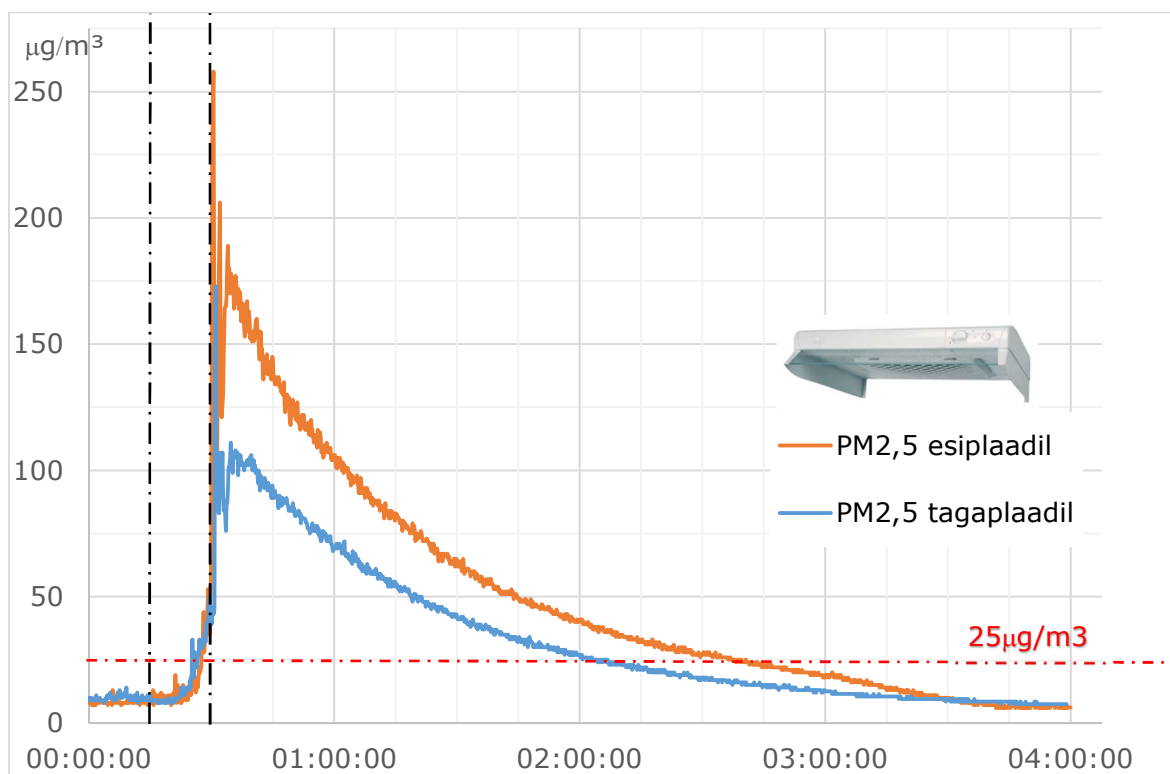
Karakteristik	Kontsentratsioon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Esiplaadil	Tagaplaadil
Minimaalne	6	8
Maksimaalne	258	173
Keskmine	45	31
Mediaan	28	19
5%	7	8
95%	140	92

Esimesel pliidiplaadil söögitegemine mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust ~3 h ja tagumisel pliidiplaadil ~2,5 h.

24 tunni keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus kahest toiduvalmistamiskorrast päevas, kuhu õhuhulgal 50 l/s saadi:

- esimesel pliidiplaadil 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ehk 81% piirnormist (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- tagumisel pliidiplaadil 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ehk 62% piirnormist (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Joonisel 5.14 on esitatud PM2.5 peenosakeste sisaldus köögis kuhu õhuhulgal 50 l/s, aeg on arvestusega katse algusest ja vertikaalsed lisajooned tähistavad pliidi sisse- ja väljalülitamist.



Joonis 5.14. PM2.5 peenosakeste sisaldus köögis 50 l/s kuhu õhuhulgal (vertikaalteljel kontsentratsioon ühikutes  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , horisontaalteljel aeg tundides)

### 5.2.3 Toiduvalmistamine kuhu õhuhulgal 30 l/s

30 l/s kuhu õhuhulgal tehti 4 tunni mõõtmisperioodiga katsed. Katsed teostati panni asetusega esimesel ja tagumisel pliidiplaadil.

Mõõteperioodi (4h) keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus köögiõhus:

- esimesel pliidiplaadi katsel 91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- tagumisel pliidiplaadi katsel 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

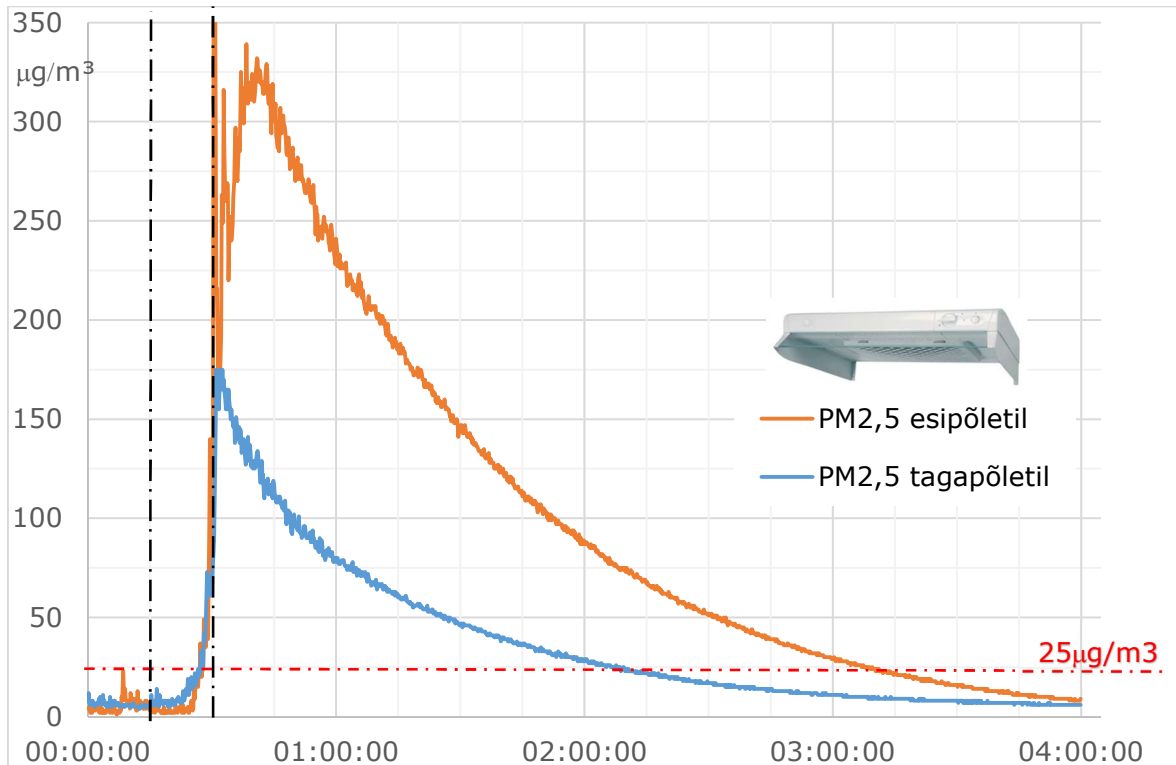
Tabel 5.4 PM2.5 Peenosakeste kokkuvõte 30 l/s kubu õhuhulgaga praadimiskatsel

Karakteristik	Kontsentratsioon, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Esiplaadil	Tagaplaadil
Minimaalne	1	4
Maksimaalne	502	175
Keskmine	91	35
Mediaan	52	18
5%	3,0	6
95%	291	118

Esimesel pliidiplaadil söögitegemine mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust  $\sim 3,5$  h ja tagumisel  $\sim 2,5$  h. Ööpäeva keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus köögis kahest toiduvalmistamiskorrast päevas, kubu õhuhulgal 30 l/s saadi:

- esimesel pliidiplaadil  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ehk 143% piirnormist ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- tagumisel pliidiplaadil  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ehk 67% piirnormist ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Joonisel 5.15 on esitatud 30 l/s kubu õhuhulgal katsete tulemused panni asetusega esimesel ja tagumisel pliidiplaadil.



Joonis 5.15. PM2.5 peenosakeste sisaldus köögis 30 l/s kubu õhuhulgal (vertikaalteljel kontsentratsioon ühikutes  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , horisontaalteljel aeg tundides)



#### 5.2.4 Peenosakeste mõõtmiskatsete järeldused

Kubu kasutamata söögitegemine, mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust märkimisväärselt. Peenosakeste kontsentratsioon köögis saavutas haripunkti 7 minutit pärast toiduvalmistamist tasemel 1050 µg/m<sup>3</sup> PM2.5 ja 1110 µg/m<sup>3</sup> PM10 osakestel. Kuigi praadimise aeg oli lühike (10 minutit), mõjutas toidutegemine köögiõhu peenosakeste sisaldust rohkem kui neli tundi. Viie tunni mõõteperioodi keskmine peenosakestes sisaldus oli 210 µg/m<sup>3</sup> PM2.5 ja 214 µg/m<sup>3</sup> PM10 osakestel. Ööpäeva keskmine ühest kubuta praadimisest saadi 50 µg/m<sup>3</sup>, mis ületab piirnormi (25 µg/m<sup>3</sup>) kaks korda.

Köögikubu kasutamine vähendas oluliselt PM2.5 osakeste taset:

- Tagumisel pliidiplaadil katsed olid mõlemal õhuhulgal võrdväärsed, maksimaalne PM2.5 kontsentratsioon oli 175 µg/m<sup>3</sup> ja nelja tunni mõõteperioodi keskmine 33 µg/m<sup>3</sup>. Ööpäeva keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus kahest toiduvalmistamiskorrast päevas saadi 30 l/s õhuhulgal 17 µg/m<sup>3</sup> ja 50 l/s õhuhulgal 16 µg/m<sup>3</sup> ehk 67 ja 62 % piirnormist (25 µg/m<sup>3</sup>). Praadimine mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust ligikaudu 2,5 tundi.
- Esimesel pliidiplaadil tehtud katsetulemuste PM2.5 maksimaalne kontsentratsioon oli 502 µg/m<sup>3</sup> 30 l/s õhuhulgal ja 258 µg/m<sup>3</sup> 50 l/s õhuhulgal. Nelja tunni mõõteperioodi keskmine oli 30 l/s õhuhulgal 91 µg/m<sup>3</sup> ja 50 l/s õhuhulgal 45 µg/m<sup>3</sup>. Ööpäeva keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus kahest toiduvalmistamiskorrast päevas saadi 30 l/s õhuhulgal 36 µg/m<sup>3</sup> ja 50 l/s õhuhulgal 20 µg/m<sup>3</sup> ehk 143 ja 81 % piirnormist (25 µg/m<sup>3</sup>). Esimesel pliidiplaadil söögitegemine mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust ligikaudu 3,5 tundi 30 l/s õhuhulgal ja ligikaudu 2,5 tundi 50 l/s õhuhulgal.

Tabel 5.5 Peenosakeste PM2.5 kokkuvõtte praadimiskatsel

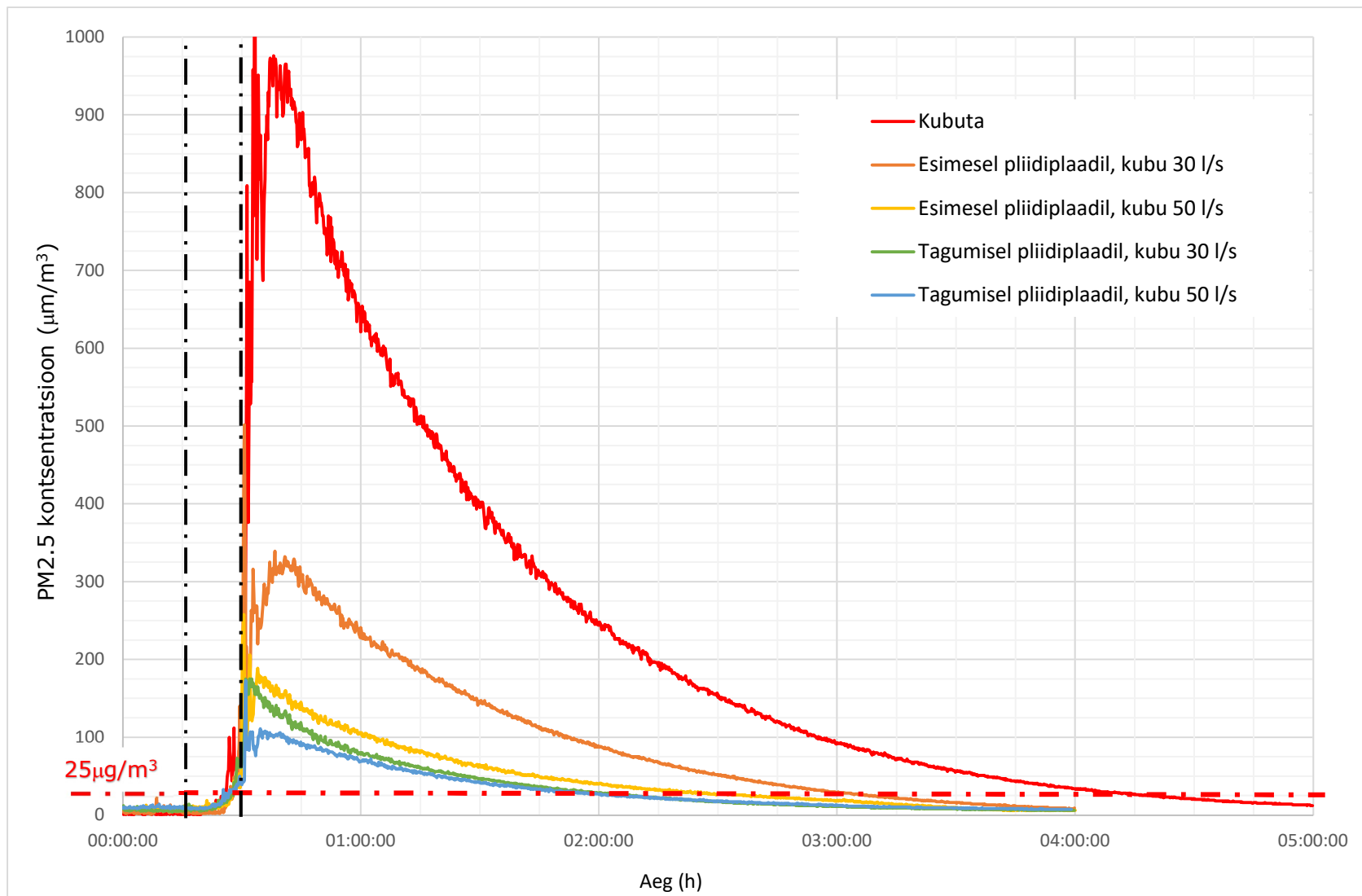
Karakteristik	Kubuta	Esimesel pliidiplaadil		Tagumisel pliidiplaadil	
		30 l/s	50 l/s	30 l/s	50 l/s
<b>Maksimaalne</b>	1050	502	258	175	173
<b>Keskmine</b>	210	91	45	35	31
<b>Mediaan</b>	94	52	28	18	19
<b>5%</b>	2	3	7	6	8
<b>95%</b>	795	291	140	118	92

Köögikubuga katsetel eristus esimesel pliidiplaadil tehtud väiksema vooluhulgaga katse, mille puhul oli mõõteperioodi keskmine PM2.5 peenosakestes sisaldus 2,6 korda suurem sama vooluhulgaga tagumisel pliidiplaadil katse tulemustest. Ja ööpäeva keskmine

peenosakeste sisaldus köögis, kahest toiduvalmistamiskorrast päevas, ületab piirnormi ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1,44 korda.

Tagumisel pliidiplaadil tehtud katsed ja esimesel pliidiplaadil suurema õhuhulgaga katse tulemused ei erinenud oluliselt ja ööpäeva keskmine peenosakeste sisaldus köögis, kahest toiduvalmistamiskorrast päevas jäi piirnormi piiresse.

Peenosakeste katsete tulemused on koondatud joonisele 5.16.



Joonis 5.16 Peenosakeste sisaldus köögis praadimiskatsetel

## KOKKUVÕTE

Lõputöös uuriti toiduvalmistamise ja köögiventilatsiooni mõju kaasaegselt renoveeritud korteri õhukvaliteedile. Nõutava õhukvaliteedi tagamiseks peab köögis olema väljatõmbeventilatsioon, mille eesmärk on eemaldada ruumis tekkivad saasteained ja niiskus. Kõige efektiivsem on eemaldamine juhul, kui see toimub vahetult niiskuse ja saasteallikate tekkekohas ehk kasutades köögikubu.

Köögikubude jõudlusnäitajad hõlmavad õhuvooluhulka, helitugevust, energiakasutust ja saasteainete eemaldamise tõhusust enne nende segunemist ruumiõhuga. Õhuvooluhulk ja saasteainete eemaldamise tõhusus on küll seoses, kuid ei ole samatähenduslikud. Köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus on defineeritud kui köögikubuga eemaldatud saasteaine koguse ja toiduvalmistamisel eraldunud saasteainete koguhulga suhe.

Töös võrreldi erinevaid köögiventilatsiooni norme ja leiti, et köögiventilatsioon on peaaegu eranditult määratletud ainult üldväljatõmbe ja kohtäratõmbe õhuvooluhulgaga. Seejuures erinesid normide õhuhulgad märkimisväärselt, jäädes katsekorteri jaoks vahemikku 8...25 l/s üldventilatsioonil ja 25...93 l/s kohtäratõmbele.

Saasteainete eemaldamise tõhususe määramiseks rajati korterisse katsestend. Köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusust hinnati saasteainete eemaldamise kogutõhususe (CE) abil, mis arvutati kubu läbiva CO<sub>2</sub> massivoolu suurenemise suhe (foonist kõrgemal) jagatuna gaasipõletist lähtuva CO<sub>2</sub> massi emissiooni määraga. Töös katsetati seinale paigaldatavaid köögikubusid erinevatel õhuvooluhulkadel ja lisaks tehti katse vahepealse vee segamisega, et imiteerida toiduvalmistamise mõju. Katsetatud köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusus jäi vahemikku 0,56...0,9 (56...90%). Kogumismahtu tekitavate küljeplaatidega köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus oli sileda põhjaga kubu tulemustest parem 1...5 protsendipunkti, erinevus suurenes õhuhulga kasvades. Vahepealne vee segamine vähendas saasteainete eemaldamise tõhusust 5 protsendipunkti, mis kinnitab toiduvalmistamistegevuse mõju saasteainete eemaldamise tõhususele.

Toiduvalmistamise mõju hindamiseks teostati katsekorteris peenosakeste mõõtmisega praadimiskatsed. Katsed tehti panni paiknemisel esimesel ja tagumisel pliidiplaadil ning erinevatel kubu õhuvooluhulkadel. Mõõtmiskatsed tõestasid, et toiduvalmistamisel on märkimisväärne mõju katsekorteri siseõhu kvaliteedile.

Kubu kasutamata söögitegemine, mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust rohkem kui neli tundi. Peenosakeste kontsentratsioon köögis saavutas haripunkti 7 minutit pärast toiduvalmistamist tasemel  $1050 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 ja  $1110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 osakestel. Viie tunni mõõteperioodi keskmine peenosakestes sisaldus oli  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 ja  $214 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 osakestel. Ööpäeva keskmine ühest kubuta praadimisest saadi  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mis ületab piirnormi ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) kaks korda.

Köögikubu kasutamine vähendas oluliselt PM2.5 osakeste sisaldust köögiõhus. Kubu kasutades söögitegemine, mõjutas köögiõhu peenosakeste sisaldust 2,5 kuni 3,5 tundi. Tagumisel pliidiplaadil katsete ja esimesel pliidiplaadil suurema õhuhulgaga katse tulemused ei erinenud oluliselt: maksimaalne PM2.5 kontsentratsioon jäi vahemikku  $173\text{...}258 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja nelja tunni mõõteperioodi keskmine jäi vahemikku  $31\text{...}45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Arvestada nädalavahetuse olukorda, kus toimub kaks toiduvalmistamiskorda päevas (n. lõuna- ja õhtusöök) ning peale toiduvalmistamise mõju möödumist on peenosakeste kontsentratsioon ruumiõhus konstantne (n.  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), on ööpäeva keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus kahest toiduvalmistamiskorrast päevas vahemikus  $16\text{...}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , jäädes Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) ja sisekliima määruse eelnõu 24 h piirnormi ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) piiresse.

Teistest katsetest eristus esimesel pliidiplaadil tehtud 30 l/s õhuvooluhulgaga katse, mille puhul oli mõõteperioodi keskmine PM2.5 peenosakestes sisaldus 2,6 korda suurem sama õhuhulgaga tagumisel pliidiplaadil katse tulemustest. PM2.5 maksimaalne kontsentratsioon oli  $502 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja nelja tunni mõõteperioodi keskmine oli  $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ööpäeva keskmine PM2.5 peenosakeste sisaldus kahest toiduvalmistamiskorrast päevas tuleks  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mis ületab piirnormi ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1,44 korda.

Köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus sõltub köögikubu kujust, õhuvooluhulgast, paigaldusviisist (seinal või köögisaare kohal), kõrgusest pliidi kohal, toiduvalmistamisviisist, toiduvalmistamistegevusest (liigutused, häirivad õhuvoolud) jm. Köögiventilatsiooni normides kajastatav õhuvooluhulk on vaid üks komponent ja ainult sellest lähtumine on puudulik. Suurte õhuvooluhulkade korral võib problemaatiliseks osutada pliidikubu väljatõmbe kompenseerimine ilma suurt alarõhku tekitamata ja kompensatsiooniõhu ülessoojendamine külmal ajal. Seetõttu tuleks valida köögikubud, mille hea tõhusus on tõendatud n. EVS-EN 13141-3:2017 katsete meetodika alusel. Lähtuma peaks katse tulemustes esitatud õhuvooluhulgast ja köögikubu paigalduskõrgusest.

Käesolevas töös katsetatud kogumismahtu tekitavate küljeplaatidega köögikubul on tootja andmetel lõhna vähendamise tegur 75% vooluhulgal 140 m<sup>3</sup>/h ehk 40 l/s. Katsekorteris teostatud saasteainete eemaldamise tõhususe katsed kinnitasid seda. Samuti selgus peenosakeste mõõtmiskatsetel, et tootja andmetest väiksemal õhuvooluhulgal ja esimesel pliidiplaadil katsetades ei olnud tagatud peenosakeste piirmäär.

Käesolevas töös uuriti köögikubude saasteainete eemaldamise tõhusust erinevatel õhuvooluhulkadel. Saasteainete eemaldamise tõhususe katsetel ei muudetud põleti asukohta kubu suhtes. Hiljem teostatud peenosakeste katsed tõestasid, et toiduvalmistamise asukohal (esi- või tagaplaadil) on oluline mõju.

Töös uuriti seinale kinnituvaid köögikubusid, ei uuritud köögisaare kohale paigaldatavaid- ja tööpinda integreeritud külg- ja allatõmbe kubusid. Töö tulemused ei ole ülekantavad teist tüüpi köögikubudele ja need vajavad täiendavat uurimist.

Toiduvalmistamise mõju hindamiseks kogu korteris, tuleks teostada peenosakeste mõõtmine erinevates ruumides.

## SUMMARY

In this thesis, the effect of cooking and kitchen ventilation on the air quality of a modern renovated apartment is investigated. A kitchen needs to have exhaust ventilation to ensure the required air quality. Most effective is the removal of contaminants if it takes place directly at the source of moisture and pollution, i.e. using a kitchen hood.

Kitchen hood performance indicators include airflow, sound volume, energy use, and pollutant removal efficiency before they mix with room air. Airflow and pollutant removal efficiency are related, but not synonymous. Kitchen hood capture efficiency is defined as the ratio of the amount of contaminant removed by the range hood to the total amount of pollutants released during cooking. During the work, different kitchen ventilation standards were compared and found that kitchen ventilation is almost exclusively defined by the airflow rate.

A test stand was set up in the apartment to determine kitchen hood capture efficiency. Hood performance was evaluated using single-pass capture efficiency (CE), calculated as the ratio of incremental (above background) CO<sub>2</sub> mass flow through the hood divided by the CO<sub>2</sub> mass emission rate from the cooking burner.

Wall-mounted kitchen hoods were tested at different air flow rates. An experiment was also done by mixing water, to imitate the effect of cooking. The tested kitchen hood's capture efficiency ranged from 0,56 to 0,9 (56 to 90%). The kitchen hood with side plates had 1-5 percentage points better capture efficiency than a hood with a smooth bottom. Water mixing reduced pollutant removal efficiency by 5 percentage points, confirming the effect of cooking activity on pollutant removal efficiency.

Frying experiments with the measurement of fine particles were carried out to evaluate the effects of cooking. Measurement experiments proved that cooking had a significant effect on the indoor air quality of the test apartment. Cooking without the hood, affected the fine particle content of the kitchen air for more than four hours. The use of a cooker hood during the frying experiment significantly reduced the content of PM<sub>2.5</sub> particles in the kitchen air after the frying test.

Kitchen hood capture efficiency depends on the shape of the cooker hood, the amount of airflow, the installation method (on the wall or above the kitchen island), height above the stove, cooking method, cooking activity (movements, disturbing air currents), etc. The amount of airflow, given in the Kitchen ventilation standards is only one part and it is insufficient to proceed only from it. Therefore, should choose kitchen hoods whose

good efficiency has been proven, for example, based on the EVS-EN 13141-3:2017 test methodology.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. ASHRAE Standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings. (2022);
2. J. Chris Stratton, Brett C. Singer. Addressing Kitchen Contaminants for Healthy, Low-Energy Homes. 2014;
3. Yang-Seon Kim, Iain S. Walker & William W. Delp. Development of a standard capture efficiency test method for residential kitchen ventilation. 2018;
4. Environmental Health Perspectives, volume 122, number 6, Take care in the kitchen, Avoiding Cooking-Related Pollutants, June 2014;
5. Sisekliima määruse eelnõu
6. Kirill Gundich. Elamute siseõhu peente osakeste sisalduse analüüs Tallinna Tehnikaülikool Magistritöö, 2019;
7. M. Lunden, W. Delp, B. C. Singer. Capture efficiency of cooking-related fine and ultrafine particles by residential exhaust hoods. 2015;
8. Nina A. Dobbin, Liu Suna, Lance Wallace, Ryan Kulka, Hongyu You, Tim Shin, Daniel Aubin, Melissa St-Jean, Brett C. Singer. The benefit of kitchen exhaust fan use after cooking - An experimental assessment. 2018;
9. O'Leary, C.; Jones, B.; Dimitroulopoulou, S.; Hall, I.P. Setting the Standard. The Acceptability of Kitchen Ventilation for the English Housing Stock. Building and Environment 2019, 166;
10. Benjamin Jones, Gavin Phillips, Catherine O'Leary, Constanza Molina, Ian Hall, Max Sherman. Diagnostic barriers to using PM2.5 concentrations as metrics of indoor air quality. 2018;
11. Jianbang Xiang, Jiayuan Hao, Elena Austin, Jeff Shirai, Edmund Seto. Residential cooking-related PM2.5: Spatial-temporal variations under various intervention scenarios. 2021;
12. E. Saito, N. Tanaka, A. Miyazaki, M. Tsuzaki. Concentration and particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons formed by thermal cooking. 2013;
13. Siao Wei See, Rajasekhar Balasubramanian. Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. 2008;
14. Kyungmo Kang, Hyungkeun Kim, Daeung Danny Kim, Yun Gyu Lee, Taeyeon Kim. Characteristics of cooking-generated PM10 and PM2.5 in residential buildings with different cooking and ventilation types. 2019

## **LISAD**

Katsete videod ja pildid SD kaardil.