



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

ALLATÕMBEGA KÖÖGIKUBU TOIMIVUSE EKSPERIMENTAALNE UURING

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PERFORMANCE OF THE KITCHEN DOWN-DRAFT SYSTEM

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kättriin Onemar

Üliõpilaskood: 192744EAKI

Juhendaja: Ülar Palmiste, doktorant

(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.

“22” mai 2024

Autor: Kättriin Onemar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“22” mai 2024

Juhendaja: Ülar Palmiste

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Kättriin Onemar (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Allatõmbega köögikubu toimivuse eksperimentaalne uuring,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Ülar Palmiste,
(*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.

22.05.2024 (kuupäev)
/ allkirjastatud digitaalselt /

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TalTech Ehituse ja arhitektuuri instituut
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kätriin Onemar (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: EAKI02/19 - Hoonete sisekliima ja veetehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): doktorant, Ülar Palmiste (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Allatõmbega köögikubu toimivuse eksperimentaalne uuring
(inglise keeles) Experimental study of the performance of the kitchen down-draft system

Lõputöö põhieesmärgid:

- Hinnata kvalitatiivselt suitsukatsete abil allatõmbega köögikubu toimivust.
- Eksperimentaalselt hinnata toiduvalmistamisel tekkivate saasteainete eemaldamise tõhusust allatõmbe köögikubuga.
- Toiduvalmistamise mõju hindamine õhukvaliteedile tahkete peenosakeste möötmise teel kasutades allatõmbega köögikubu.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Valitud valdkonna taustauuring, püstitatud uurimisküsimustele tuntud alternatiivsete lahenduste otsing, kirjeldamine ja analüüs	22.12.2023
2.	Lõputöö teema sõnastamine ning esialgse lähteülesande koostamine	13.02.2024
3.	Lõputöö täpsustatud lähteülesande, eesmärkide põhjendamise, lõputöö struktuuri, sh kirjanduse ülevaate ja meetoodika lühikirjelduse koostamine koos lõputöö plaani ning ajakavaga	25.02.2024
4.	Katsestendi ehitus ja planeeritud katsed allatõmbe köögikubuga ning lõputöö teoreetiliste aluste vormistamine	10.04.2024
5.	Katse tulemuste analüüsimine ja vormistamine	25.04.2024
6.	Lõplik vormistamine ning saadud tagasiside põhjal viimaste paranduste tegemine	15.05.2024
7.	Lõputöö esitamine	22.05.2024

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "22" mai 2024. a

Üliõpilane: Kättriin Onemar / allkirjastatud digitaalselt / "22" mai 2024. a
/allkiri/

Juhendaja: Ülar Palmiste / allkirjastatud digitaalselt / "22" mai 2024. a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Thalfeldt ".....".....2024.a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	8
1. SISSEJUHATUS.....	9
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	12
3. TEOREETILISED ALUSED	15
3.1 Toiduvalmistamisel eralduvad saasteained	15
3.2 Üldnõuded elamute köögiventilatsioonile.....	17
3.3 Allatõmbega köögikubud.....	18
3.4 Saasteainete eemaldamise tõhususe määramine	20
3.5 Köögikubude müra	22
4. METOODIKA.....	23
4.1 Katsestend.....	23
4.1.1 Katsetatav allatõmbega köögikubu	24
4.1.2 Kubu õhuhulkade kontrollmöödistused	26
4.2 Katseruumi õhuvahetuskordsus	27
4.3 Kvalitatiivne hinnang allatõmbega köögikubu toimivusele	28
4.3.1 Kasutatud katsevahendid.....	28
4.3.2 Katsete läbiviimise kirjeldus.....	29
4.4 Saasteainete püüdmistõhususe katseline määramine	30
4.4.1 Kasutatud mõõteseadmed ja vahendid	31
4.4.2 Katsete läbiviimise kirjeldus.....	32
4.5 Tahkete peenosakeste kontsentratsiooni mõõtmine ruumiõhus toiduvalmistamisel	33
4.5.1 Kasutatud mõõteseadmed ja vahendid	33
4.5.2 Katsete läbiviimise kirjeldus.....	34
4.6 Müra mõõtmised.....	36
4.6.1 Kasutatud mõõteseade.....	36
4.6.2 Katsete läbiviimise kirjeldus.....	37
5. TULEMUSED JA ANALÜÜS	38
5.1 Kubu õhuhulkade kontrollmöödistused.....	38
5.2 Katseruumi õhuvahetuskordsus	39
5.3 Kvalitatiivne hinnang allatõmbega köögikubu väljatõmbele	40
5.4 Saasteainete püüdmistõhusus	47
5.5 Allatõmbega köögikubu mõju toiduvalmistamisel emiteeruvate tahkete peenosakeste kontsentratsioonile	51
5.6 Allatõmbega köögikubu müratase	59

6.	JÄRELDUSED	60
	KOKKUVÕTE	62
	SUMMARY	64
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	65
	LISAD	70
	Lisa 1 Allatõmbega köögikubu vaatluse videote lingid	70

EESSÕNA

Käesolev magistritöö on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli eriala Hoonete sisekliima ja veetehnika lõputööna. Töö ajendiks oli autori enda isiklik huvi, mis sõnastati juhendaja abiga lõplikuks magistritöö teemaks. Teostatud katsed viidi läbi eramu kööki ehitatud katsestendi abil.

Lõputöös uuritakse allatõmbega köögikubu toimivust erinevates tööolukordades, et katselisel teel jõutud järelduste põhjal saaks valdkonda tuua uusi teadmiseid. Katsetes kasutati allatõmbega köögikubu, mille äratõmbe ava asus pliidiplaadiga samas tasapinnas. Samale seadmele lisati ka 30 cm kõrgune teleskoop, et näha millist mõju kõrgemale tõstetud äratõmme tulemustele avaldab.

Autor soovib erilist tänu avaldada töö juhendajale Ülar Palmistele igakülgse abi ja suurepärase juhendamise eest. Tänan ETS NORD'i toetamast äratõmbekanalite ehitust vajalike materjalidega. Soovin esile tõsta ning tänada enda lähedasi toetuse ja mõistva suhtumise eest.

1. SISSEJUHATUS

Sisse hingatava õhu kvaliteedist sõltub otseselt inimeste tervis, enesetunne ja produktiivsus. Leitud on, et enamik inimesi veedab paljudes riikides umbes 80-90% oma ajast siseruumides [1], mistõttu on õhukvaliteedi tagamisel toimival ventilatsioonisüsteemil oluline roll. Mitmed sisekliima uuringud on kindlaks teinud, et toiduvalmistamine on üheks peamiseks niiskuse, lõhna, tahkete osakeste ja muude saasteainete tekitavaks tegevuseks elamutes [2, 3]. Enamik inimestest puutub igapäevaselt kokku toiduvalmistamisega ning on seega otseses kokkupuutes võimalike õhus lenduvate ohtlike ühenditega. Selle vältimiseks on köökidesse ettenähtud eraldi kohtventilatsioon, et tekkivad saasteained kõige efektiivsemalt eemaldada nende tekkekohas. Paraku enamik inimestest ei ole teadlikud toiduvalmistamisel tekkivate lenduvate osakeste mõjust tervisele, seega isegi köögikubude olemasolu korral ei pruugita neid korrektselt kasutada. Kättesaadava informatsiooni põhjal kasutavad Ameerika Ühendriikides köögikubu iga toidu valmistamise kord vaid 10-25% inimestest, 20-30% inimestest on raporteerinud, et ei kasuta köögis kohtväljatõmmet üldse. [4]

Tehnoloogia arenedes on jõudnud uuendused ka köögitehnika valdkonda. Köögikubud on muutunud mõõtmetelt väiksemateks, samas andmete kohaselt efektiivsemateks. Väljanägemiselt võib leida kubusid, mis on kohati köökides lausa disainelementide eest. Tootjad on välja tulnud seadmetega, mis koostöös pliidiplaadiga reguleerivad automaatselt väljatõmbe õhuhulkasid, kusjuures köögikubu jääb automaatselt tööle ka peale toiduvalmistamise lõpetamist teatud ajaks. Kõike seda selleks, et inimeste igapäevaelu mugavdada, nende elukeskkonda ohutumaks muuta ning samal ajal pakkuda ka disaini vaatevinklist iga inimese maitsele midagi sobivat.

Käesoleva lõputöö uurimisprobleem keskendubki ühele viimastel aastatel üha populaarsemaks muutunud trendile elamute köökides – allatõmbega köögikubud. Rohkesti katsetatud klassikalised seinä või lakke kinnitatavad köögikubud on soodsalt positioneeritud toiduvalmistamisel pliidi kohale tekkiva ülespoole suunatud konvektiivse õhujoo kinnipüüdmiseks. Et ka allatõmbega köögikubu suudaks toiduvalmistamisel tekkivad saasteained eemaldada, peab seade töötama vastu loomuliku konvektsiooni suunale.

Töö eesmärgiks on allatõmbega köögikubude toimivuse testimine erinevates tööolukordades, et anda hinnang nende toimivusele.

Eesmärgi täitmiseks on sõnastatud järgmised uurimisküsimused:

- Kuidas allatõmbega köögikubu mõjutab õhuvoolusid saasteainete tekkimise piirkonnas?
- Milline on allatõmbega köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus erinevates tööolukordades?
- Kuidas mõjutab allatõmbega köögikubu tahkete peenosakeste kontsentratsioone ruumiõhus?
- Kuidas mõjutavad erineva kõrgusega toiduvalmistamisnõud allatõmbega köögikubu toimivust?
- Millist mõju avaldab teleskoobi lisamine allatõmbega köögikubule, mille äratõmbe pilu asub pliidiplaadiga samas tasapinnas?

Käesolevas lõputöös hinnatakse:

- kvalitatiivselt suitsukatsete abil allatõmbega köögikubu äratõmmet;
- eksperimentaalselt toiduvalmistamisel tekkivate saasteainete eemaldamise tõhusust allatõmbega köögikubuga erinevates tööolukordades;
- toiduvalmistamise mõju õhukvaliteedile tahkete peenosakeste mõõtmise teel kasutades allatõmbega köögikubu erinevates tööolukordades;
- allatõmbega köögikubu mürataset.

Antud töös on kasutatud järgmiseid limitatsioone ja lihtsustusi:

- tulemused on saadud ühte tüüpi kubu ning katsestendiga, seetõttu ei saa tulemusi automaatselt üle kanda lõputöös katsetamata kubu tüüpidele;
- katsed on teostatud ruumis, kus piisav kompensatsioonihõhu juurdevool on tagatud;
- katsetatav allatõmbega köögikubu on paigaldatud väljatõmbe konfiguratsioonis, seetõttu ei saa tulemusi automaatselt üle kanda siseringlusega kubudele;
- töös on kasutatud katsete läbiviimiseks induktsioonpliiti, tulemused võivad erineda näiteks gaasipliiti kasutades.

Käesoleva magistritöö kirjanduse ülevaates on toodud läbilõige varasematest allatõmbega köögikubudega läbiviidud uuringutest ning publitseeritud teadusartiklitest. Teoreetiliste aluste peatükis defineeritakse allatõmbega köögikubude mõiste ning antakse ülevaade selle olemusest. Samuti käsitletakse toiduvalmistamisel tekkivate saasteainete kohta teadaolevat informatsiooni ning köögikubude jõudlusnäitajaid, nagu saasteainete eemaldamise tõhusus, õhuvooluhulk ja helitugevus. Lühidalt tuuakse välja üldised nõuded köögiventilatsioonile. Lõputöö neljas peatükk keskendub töös kasutatud meetodikate kirjeldamisele, millele järgneb tulemusi esitlev peatükk. Kokkuvõtlikult on

lõputöö tulemuste põhjal formuleeritud järeldused ja soovitused ära toodud kuuendas peatükis. Töö kokkuvõttes võetakse kogu magistritöö lühidalt kokku. Lisadest leiab viited veebilehekülgedele, kust on leitavad kvalitatiivse hinnangu katsevideod.

Võtmesõnad: allatõmbega köögikubu, saasteainete eemaldamise tõhusus, tahkete peenosakeste sisaldus, *down-draft systems*, kohtaratõmme, magistritöö.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Esimest korda on Eesti standardites ära defineeritud mõiste *down-draft systems* 2011. aastal [5]. Eesti keeles ametlik või üheselt levinud tõlge sõnale *down-draft* puudub, seega käesolevas töös on eelnevalt nimetatud tehnoloogiale viidatud kui allatõmbega köögikubu. Tootjad nimetavad selliseid süsteeme väga erinevalt, tuues välja mõned näited – töötasapinda uputatav õhupuhasti, integreeritud auruäratõmbega pliidiplaat, alttõmbetehnoloogiaga õhupuhasti.

Allatõmbega köögikubusid on varasemalt testitud energiatarbimise ning õhuvooluhulkade osas 1989. aastal avaldatud teadusartiklis toetudes standardile ASHRAE 51-1985. Leiti, et pliidi kõrvale või keskele paigaldatud köögikubu on efektiivne madalamate pannide või pottide kasutamise korral, kõrgemate pottide kasutamisel vähenes aurude äratõmbe efektiivsus drastiliselt. Artiklis märgiti ära, et pliidi kohal asetsevad köögikubud on energiatõhusamad, kuna sama saasteainete püüdmistõhususe saavutamiseks kasutab klassikaline köögikubu väiksemaid õhuvooluhulki ning ventilaatori võimsust. [6] *Home Ventilating Institute (HVI)* ja *National Kitchen and Bath Association (NKBA)* soovivad allatõmbega köögikubudel kasutada suuremaid ventilaatoreid, et kompenseerida klassikalise kuhu kogumismahuti puudumist. Täpsemaid suuruseid ei ole aga välja pakutud. [7]

Ameerika Ühendriikide valitsuse poolt toetatud 2010. aastal toimunud uuringus jõuti järeldusele, et paljude toodete puhul ei vasta katsetes mõõdetud õhuvooluhulgad isegi ligilähedale toote dokumentides lubatud suurustele. Jõuti järelduseni, et pliidiplaadi taga asetseva allatõmbega köögikubu kasutamise korral on äratõmme väga efektiivne tagumiselt keedutsoonilt, eesmiselt keedutsoonilt on saasteainete äratõmme ebaefektiivne. Arvestatavate tulemusteni jõudmiseks peeti vajalikuks veel täiendavate eksperimentaalsete katsete läbiviimist ning simulatsioonide põhiseid analüüse. [8] 2011. aastal samas laboris aset võtvad katsed kinnitasid eelmisel aastal saadud tulemusi. [4] Siinkohal on oluline ära mainida, et kahes viimases uuringus oli peamine fookus seinale kinnituvatel (nä klassikalistel) köögikubudel ning, et katses kasutatavad allatõmbega köögikubud olid katsete toimumise ajal juba vähemalt 10-15 aastat vanad. Katsetes kasutatud allatõmbega köögikubud asusid mõlemad gaasipliidi taga ning tõusid söögivalmistamise ajaks tasapinnast umbes 20 cm kõrgusele. [4, 8] Ka 2018. aastal avaldatud teadusartiklis toodi välja, et allatõmbega köögikubude tööd tuleb rohkem uurida ning tulevikus väljatöötatud standardites tuleks tähelepanu pöörata ka kuhu asukohale kuna mida kaugemale jääb saasteallikas, seda rohkem väljatõmbe efektiivsus väheneb. [9]

Allatõmbega köögikubu kasutamine gaaspliidi kõrval on näidanud, et lämmastikoksiidide püüdmise tõhusus on peaaegu 100%. Seevastu sama uuringu tulemused leidsid, et veeaurude püüdmine on suhteliselt ebaefektiivne, kõrge poti puhul on tõhusus 11-51% ning madalama kõrgusega poti korral 43-86%. [10] 2019. aastal ISES-ISIAQ konverentsil avaldatud artiklis on tõdetud, et allatõmbe köögikubude testimise meetodika on puudulik ning seetõttu on välja toodud võimalik meetod antud tehnoloogia katsetamiseks. Erinevaid katseolukordi imiteerides tuli uurimistulemustest välja, et pliidiplaadiga samas tasapinnas asuva köögikubu kasutamise korral peab õhuvooluhulk ületama vähemalt 425 m³/h, et püüda kinni üle 90% veeaurudest. Kirjeldatud katsemeetod ei ole aga väga põhjalik ning kõigest kaheleheküljeline kirjutis ei anna head ülevaadet antud teemast. [11]

Oslo Metropolitan ülikoolis on 2022. aastal koostatud magistritöö, kus on võrreldud eksperimentaalsete katsete käigus väljaviske ja siseringlusega köögikubude erinevusi. Lõputöös kirjeldatud katsete käigus on kasutatud ka ühte allatõmbega köögikubu mudelit. Tulemustes leiti, et väljatõmbega kubud toimivad paremini kui tsirkuleerivate lahendustega köögikubud. PM_{2.5} väärtused ruumis olid 3-19 korda kõrgemad siseringlusega köögikubude kasutamise korral kui väljaviskega süsteemi puhul. Täheandav, et allatõmbega köögikubude puhul töötas tsirkuleeriv süsteem paremini kui tavalise kuhu kasutamise korral, seda võis põhjustada nii filtrite erinev pindala kui ka erinev aktiivsõe kogus filtrites. Leiti, et olenemata õhuvoolukiirusest eemaldas allatõmbega köögikubu ruumist sama efektiivselt peenosakesi. Väiksemate õhuvoolukiiruste juures oli aktiivsõel rohkem aega peenosakesi filtrisse absorbeerida, samas suuremate töökiiruste juures jõudis õhk mitmeid kordi rohkem filtrist läbi käia ning seeläbi rohkem „puhastuda“. [12]

Tuginedes varasematele uuringutele (tabel 2.1) ning nende vähesusele, on selgelt näha, et vajadus antud tehnoloogiat rohkem uurida on suur. Olemasolev kirjandus ning tehtud katsetused on suures osas tehtud seinale kinnitavate köögikubudega käsikäes ning fookus allatõmbega köögikubudele on jäänud pinnapealseks. Allatõmbega köögikubud on aga oma eripäradega ning vajavad tänapäeva nii tehnika kui ka köögisisustus trende järgides kindlasti rohkem tähelepanu.

Tabel 2.1. Kirjanduse ülevaate kokkuvõtlik tabel peamistest uuringute tulemustest.

Kirjanduse viide	Peamised tulemused
Kuehn et al., 1989 [6]	Pliidi kõrvale või keskele paigaldatud köögikubu on efektiivne kasutades vaid madalaid potte või panne. Allatõmbega köögikubud on vähem energiatõhusad, kuna kasutavad suuremaid õhuvooluhulki ning vajavad seega suuremat ventilaatori võimsust.
Singer et al., 2010 [8]	Katsetes kasutatud allatõmbega köögikubude mõõdetud õhuvooluhulgad olid dokumentatsioonis lubatud õhuvooluhulkadest 52-60% väiksemad. Katsed näitasid, et saasteainete püüdmise efektiivsus väheneb, mida kaugemal köögikubust saasteallikas asub.
Singer et al., 2011 [4]	Avaldatud artikkel kinnitas aasta varem saadud tulemusi.
Clark et al., 2018 [9]	Allatõmbega köögikubule lähemal olevast keedutsoonist on saasteainete eemaldamise tõhusus üle 90% 250 m ³ /h õhuvooluhulga korral, seevastu on kubust kaugemal asuval keedutsoonil isegi 850 m ³ /h õhuvooluhulga juures tõhusus alla 30%. Katsetes kasutati tasapinnast ca 20 cm kõrgusele tõusvat kuhu.
Kim et al., 2018 [10]	Gaasipliidi kõrvale paigaldatud allatõmbega köögikubu eemaldab peaaegu 100% tekkivast lämmastikdioksiidist. Veeaurude eemaldamise tõhusus kõrge poti puhul on 11-51% ning madalama kõrgusega poti kasutamise korral 43-86%.
Jacobs & Borsboom, 2019 [11]	Pliidiplaadiga samas tasapinnas asuva köögikubu kasutamise korral peab õhuvooluhulk ületama vähemalt 425 m ³ /h, et püüda kinni üle 90% veeaurudest.
Alvestad, 2022 [12]	Väljatõmbega kubud toimivad paremini kui tsirkuleerivate lahendustega köögikubud. Allatõmbega köögikubu puhul töötas tsirkuleeriv süsteem paremini kui seinale kinnituva kuhu kasutamise korral.

3. TEOREETILISED ALUSED

3.1 Toiduvalmistamisel eralduvad saasteained

Toiduvalmistamise käigus eralduvad lühikese ajaperioodi jooksul suur kogus erineva suurusega tahkeid peenosakesi ($PM_{0.1}$, $PM_{2.5}$, PM_{10}), vingugaas (CO), süsihappegaas (CO_2), lämmastikoksiidid (NO_x), lenduvad orgaanilised ühendid (VOC) ning muud saasteained, mille kahjulik tervisemõju on paljudes uuringutes tõestatud. Toiduvalmistamisel tekkivate õhusaasteainete tüübid ja kogused võivad varieeruda pliititüübi, toiduvalmistamismeetodite ning kasutatavate koostisosade lõikes. Siinkohal mängib olulist rolli ka kasutatava toiduõli tüüp. On leitud, et hoonete kõrge õhutihedus võib saasteainete sisaldust õhus suurendada veel enam, seega on ülioluline tagada ruumides piisav õhuvahetus ning siseringlusega köögikubude kasutamise korral kasutada kõrge efektiivsusega filtreid. [13]

Õhusaasteks nimetatakse ka õhus levivaid halbu lõhnasid, mis põhjustavad küll ebamugavust, kuid mis ei pruugi olla tervisele ohtlikud. Sellegipoolest viitavad halvad lõhnad puudulikule ventilatsioonile.

Tahked saasteosakesed

Õhus levivad tahked peenosakesed (*particulate matter*, PM) liigitatakse mõõtmetelt eri kategooriatesse:

- PM_{10} (peened osakesed) on osakesed, mis läbivad 10 μm aerodünaamilise diameetriga mõõduselektiivse ava 50 protsendil juhtudest (peened osakesed läbimõõduga alla 10 μm);
- $PM_{2.5}$ (eriti peened osakesed) osakesed, mis läbivad 2,5 μm aerodünaamilise diameetriga mõõduselektiivse ava 50 protsendil juhtudest (peened osakesed läbimõõduga alla 2,5 μm).
- $PM_{0.1}$ (ultrapeened osakesed) osakesed, mis läbivad 0,1 μm aerodünaamilise diameetriga mõõduselektiivse ava 50 protsendil juhtudest (peened osakesed läbimõõduga alla 0,1 μm).

2,5 μm või väiksema läbimõõduga tahkete osakeste sissehingamine on inimeste tervisele eriti ohtlik, kuna need osakesed võivad jõuda kopsude alveoolidesse. Nendest veel väiksemate 0,1 μm suurused osakesed (ultrapeened osakesed $PM_{0.1}$) võivad jõuda

aga ka juba otse vereringesse. Peaaegu kõik suuremad kui 10 µm aerodünaamilise diameetriga osakesed jäävad ülemistesse hingamisteedesse kinni. [14]

Tahkete osakeste PM_{2.5} ja PM₁₀ mõju inimeste tervisele seostatakse kopsuhaiguste, vähi, südameveresoonkonna haiguste, astmahoogude ning enneaegsete surmadega. [15]

Maailma Terviseorganisatsioon WHO (*World Health Organization*) on seadnud nii sise- kui ka välisõhus levivate tahkete saasteosakeste PM₁₀ ja PM_{2.5} kontsentratsioonidele piirnormid. WHO on kehtestanud PM₁₀ kontsentratsioonile piirmäärana 24-tunnise kokkupuute perioodi jooksul 45 (µg/m³) (3-4 päeva aastas) ning PM_{2.5} kontsentratsioonile 15 (µg/m³) (3-4 päeva aastas). [14] Eestis on sisekliima määruse eelnõus need piirmäärad vastavalt PM₁₀-le 50 µg/m³ ning PM_{2.5}-le 25 µg/m³ keskmiselt ööpäevas. [16] Väiksematele PM suurustele piirmäärasid kehtestatud ei ole, kuigi nende ohtlikkus organismile on veel suurem.

Veeaur (H₂O)

Veeaur on samuti üks toiduvalmistamise käigus eralduvatest kõrvalproduktidest, mis võib ruumis tõsta märkimisväärselt suhtelise õhuniiskuse (RH) taset. Ilma toimiva ventilatsioonita võib kõrge õhuniiskus põhjustada hallituse kasvu, kiiremat toidu riknemist, ebamugavust ruumi kasutajates aga ka üleüldist kahju kinnisvarale. Hallitus võib aga omakorda põhjustada elanikel hingamisteede infektsioone kui ka muid terviseprobleeme. Siseruumide suhteline niiskus peaks jääma olenevalt aastaajast vahemikku 30-60%. [15]

Vingugaas (CO) ja süsihappegaas (CO₂)

Maagaasil või propaanil töötavatest gaasipliididest aga ka ahjudest võib toiduvalmistamise ajal eralduda süsihappegaasi. Vingugaas võib tekkida mitte täieliku põlemise korral või rikkis gaasiseadmetest. Mõlemad gaasid on värvitud ja lõhnatud, mis võivad suurtes kontsentratsioonides sissehingamisel põhjustada tõsiseid terviseriske ja äärmuslikel juhtudel isegi surma. [17] Kuigi elektri- ja induktsioonpliidid ei tooda vingugaasi võivad need siiski kaudselt toota süsihappegaasi. CO₂ võib tekkida nii nende pliidiplaatide toiteks kasutatavast elektrist kui ka toiduvalmistamisprotsessist endast. Sellegipoolest on õhku paisatav CO₂ tase üldiselt palju madalam võrreldes gaasipliidiga. [18] WHO märgib, et süsinikdioksiidi kontsentratsioon ei tohiks siseõhus tõusta üle 0,1% (1000 ppm) [14].

Lenduvad orgaanilised ühendid (VOC)

Lenduvad orgaanilised ühendid eralduvad toiduvalmistamise ajal erinevatest allikatest, nagu õlid, rasvad ja toiduaaurud. Pikaajaline kokkupuude lenduvate orgaaniliste ühendite kõrge kontsentratsiooniga võib põhjustada hingamisteede ärritust, peavalu, peapööritust aga mõnel juhul ka pikaajalisi tervisemõjusid, nagu maksa-, neeru- või kesknärvisüsteemi kahjustus. [19]

Lämmastikoksiidid (NO_x)

Lämmastikoksiidid (NO_x), sealhulgas lämmastikoksiid (NO) ja lämmastikdioksiid (NO₂), võivad eralduda toiduvalmistamise ajal, eriti gaasipliitide või -põletite kasutamisel. Need gaasid soodustavad siseõhu saastumist ja neid on seostatud hingamisteede probleemidega, nagu astma ägenemine, bronhiit ja muud hingamisteede infektsioonid. Pikaajaline kokkupuude kõrge NO_x tasemega võib suurendada ka südameveresoonkonna haiguste ja muude süsteemsete tervisemõjude riski. [18]

3.2 Üldnõuded elamute köögiventilatsioonile

Köögiventilatsioon koosneb üldiselt pidevalt töötavast köögi üldventilatsioonist, mis tähendab seda, et köögis on väljatõmme ja õhk liigub kööki siirdeõhuna naabertubadest. Toiduvalmistamisel toimub väljatõmme intensiivsemalt perioodiliselt töötavast kohtaratõmbest.

Nõuded kohtaratõmmetele:

- peavad eemaldama ohtlikud ained nende tekkekohast;
- peavad eemaldama ohtlikud ained nende loomuliku leviku suunas (soojad ja kerged gaasid üles);
- peavad olema maksimaalselt suletud;
- vajadusel kergesti puhastatavad.

Järgnevalt on toodud elamu köögiventilatsioonile käsitletavat nõudeid ja soovitatavad väärtused (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Nõuded elamu köögiventilatsioonile

Viide	Õhuvooluhulkade projekteerimisväärtused	
	Üldventilatsiooni väljatõmme	Kohtäratõmme
Sisekliima määruse eelnõu tööversioon (2021)	8 l/s	25 l/s
EVS-EN 16798-1:2019 Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1	8 l/s (v.a 1-toalises korteris 6 l/s)	25 l/s
<i>ASHRAE Standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings</i> [20]	5 h ⁻¹ (suletud köögis)	50 l/s (kubu kasutamise korral)
<i>Home Ventilation Institute (HVI)</i> [21]	-	Minimaalselt 50 l/s - 76 cm laiuse kubu korral - soovituslikult 120 l/s Köögisaaarel asuval kubul arvestada 1,5x õhuvooluhulgaga

3.3 Allatõmbega köögikubud

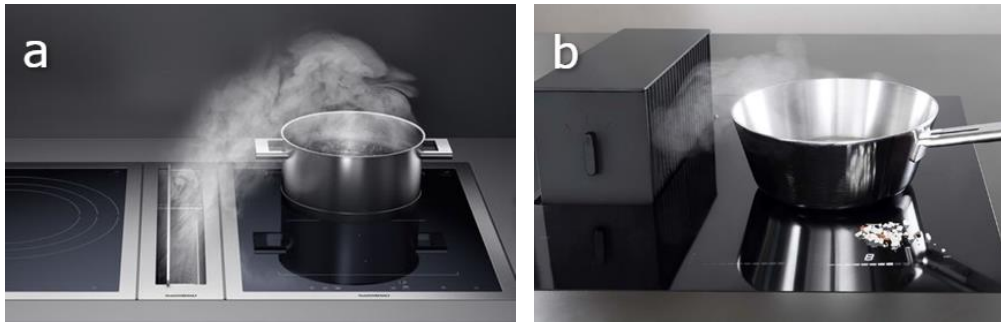
Allatõmbega köögikubu defineeritakse kui toiduvalmistamisel eralduvate õhusaasteainete, soojuse ja niiskuse eemaldajat, mis klassikalise seina või lakke kinnitatava köögikubu asemel on ette nähtud paigaldamiseks küpsetusseadme kõrvale või sellesse integreerituna. Sellisest köögikubu paigutusviisist tingituna toimub allatõmbega köögikubude puhul ruumis tekkivate saasteainete ja niiskuse äratõmme suunaga alla kanalisse. Süsteemitüübist olenevalt saab köögikubud jaotada kaheks: [22]

- väljatõmbekubu;
- sisingluse ehk tsirkulatsiooniga kubu.

Tsirkuleeriv seade eemaldab sisenevast õhust rasva ning erineval tasemel saasteained ja suunab õhu tagasi ruumi. Oluline on ära märkida, et sisingluse kubu ei eemalda niiskust ega soojust, need jäävad ruumi liigsoojuse ja -niiskusena. Väljatõmbekubu seevastu juhhib saastunud õhu ruumist otse väliskeskkonda. [22]

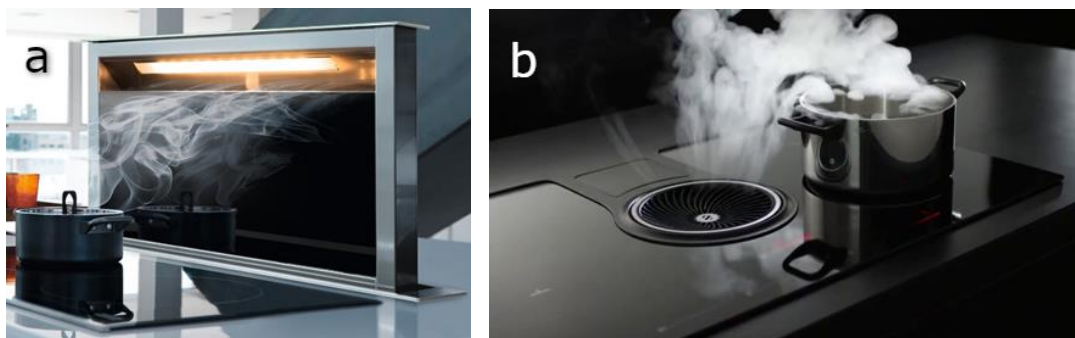
Allatõmbega köögikubusid on viimaste aastate jooksul erinevate tootjate poolt toodetud väga erinevate parameetrite kui ka disanihendumustega. Allatõmbega kubusid on võimalik kategoriseerida kahte gruppi (joonis 3.1):

- kubud, mille pilu asetseb pliidi/tasapinnaga samal tasandil;
- kubud, mis töörežiimis olles tõusevad tasapinnast teatud kõrguse võrra kõrgemale (teleskoobiga allatõmbe köögikubu).



Joonis 3.1 Allatõmbega köögikubud (a- pliidiplaadiga tasa olev allatõmbega köögikubu, b- pliidiplaadist kõrgemale tõusev kuhu) [23, 24]

Turul müüdataval mudelitel on võimalik tähendada kahte erinevat allatõmbega köögikubu paigutusasukohta pliidiplaadi suhtes. Pilud võivad asuda kas pliidiplaadi keskel või taga, avad on kas ristküliku- või ringikujulised. (joonis 3.2) Nagu ka kirjanduse ülevaatest välja tuli on kuhu asukoht keedutsoonide suhtes ülioluline. Saadaval olevate toodete puhul on selgelt näha, et enamus pakutavatest mudelitest tagavad olukorra, kus keedutsoonid asuvad kõik võimalikult lähedal ning võrdsel kaugusel äratõmbe pilust. Ainult pliidiplaadist eraldiseisva köögikubu puhul võib tekkida vastupidine olukord. Seetõttu on sellise lahenduse puhul soovitatav kasutada kahe keedutsooniga pliidiplaati või pikemat kuhu ning pliiti, mille puhul ei teki olukorda, kus osad toiduvalmistamisnõud asuksid toidutegemise ajal äratõmbe avast liiga kaugel.



Joonis 3.2 Allatõmbega köögikubud (a- pliidiplaadist eraldi seisev allatõmbega köögikubu, b- pliidiplaadi keskele integreeritud kuhu) [25, 26]

Allatõmbega köögikubude plussid ja miinused

Allatõmbega köögikubud on populaarsust hakanud kogunud just tänu oma järkevatele eelistele:

- minimalistlik ja kaasaegne disain;
- suurem paindlikkus pliidi asukoha valikul (näiteks pliit köögisaarel);
- täiendav lisaruum ülemistes kappides või võimalus seinad täiesti tühjaks jätta;
- potentsiaalselt parem saasteainete püüdmistõhusus madalate kööginõudega, kuna väljatõmme asub emissioonile lähedal.

Samal ajal tuleb sellise tehnoloogia puhul silmas pidada ka sellega kaasnevaid negatiivseid aspekte:

- sobivad pigem väiksema toiduvalmistamis koormusega köökidesse (elamutesse);
- klassikalise köögikubuga võrreldes on hinnad märksa kallimad (algavad ca 1000€ ning jäävad keskmiselt 2000-3000€ ringi);
- keerukam hooldus;
- tasapinnale kui ka pliidiplaadi all asuvasse kappi jääb vähem vaba ruumi, ka ei mahu sinna enamikel juhtudel praeahi;
- võivad tekitada rohkem müra, kuna õhuvooluhulgad on üldjoones suuremad kui klassikalistel köögikubudel;
- ei sobi hästi kasutamaks koos gaasipliidiga, kuna õhuvoolu kiirused pliidi kohal võivad mõjutada leeki.

Allatõmbega köögikubu tööpõhimõte

Allatõmbega köögikubude toimivuse osas on erinevaid arvamusi, mis enamasti tulenevad sellest, et kubu ei saa eemaldada saasteaineid nende loomuliku leviku suunas. Allatõmbega köögikubud ei tööta konvektiivse õhuvoolu (*thermal plume*) loogika alusel, vastupidiselt peab seade tekitama piisavalt suure õhuvoolu kiiruse pliidi kohal, mis ületaks toiduvalmistamisel tekkiva sooja õhu konvektsiooni. Pliidi kohale paigaldatavate kubudega võrreldes on allatõmbega köögikubu puhul õhu liikumissuund horisontaalselt kubu äratõmbeava suunas. Allatõmbega kubude väljatõmbe efektiivne pind on väiksem võrreldes pliidi kohale paigaldatavate kubudega, mis tähendab seda, et võrreldava püüdmistõhususe saavutamiseks peab väljatõmbe õhuvoolu kiirus olema suurem. Selle saavutamiseks on õhuvooluhulgad suuremad, mis tingib ka suuremate ja kallimate ventilaatorite kasutamise. Suurtest õhuvoolu kiirustest tingituna jahutab kiiresti liikuv õhk küpsetatavat toitu ning kütteelemente üleüldiselt, aeglustades sellega küpsetusprotsessi. [27] Kuna allatõmbega kubude puhul on õhuvooluhulgad suured, siis tuleb kompensatsiooniohu tagamine projekteerimisfaasis hoolikalt läbi mõelda.

3.4 Saasteainete eemaldamise tõhususe määramine

Köögikubude töö efektiivsus varieerub sõltuvalt õhuvooluhulgast, kubu geomeetriast/disainist ja saasteallika kaugusest pliidiplaadi suhtes – kas kasutuses on kubule lähemal olev keedutsoon või kaugem. [28]

Köögikubude tulemuslikkuse hindamisel on mitmeid olulisi jõudlusnäitajaid, nagu õhuvooluhulk, müratase ja energiatarve. Kõige olulisem jõudlusnäitaja on saasteainete eemaldamise tõhusus (*capture efficiency* - CE), mida defineeritakse kui seadmega eemaldatud saasteaine koguse ja toiduvalmistamisel eraldunud saasteaine koguhulga suhet protsentides. Saasteainete eemaldamise tõhusust peetakse üheks kõige olulisemaks köögikubude efektiivsuse indikaatoriks. [28] 100% CE tähendab, et kõik toiduvalmistamise käigus eralduvatest saasteainetest eemaldatakse kuhu kaudu ruumist; 0% CE korral ei eemaldata saasteaineid otse võimaldades neil kõigil seguneda siseõhuga. Pelgalt suur köögikubu õhuvoolu kiirus või nõuetekohane müratase ei tähenda automaatselt, et kubul oleks kõrge CE. [29] Eksperimentaalsetele katseandmetele tuginedes saab arvutada saasteainete püüdmise efektiivsuse. Kogutõhusus on lihtsustatult määratletud köögikubu kaudu eemaldatud saasteainete mass jagatud saasteallika poolt emiteeritud saasteainete massiga (valem 3.1). [28]

$$CE = \frac{M_{eemaldatud}}{M_{emiteeritud}} = \frac{M_{emiteeritud} - M_{ruumi\ segunenud}}{M_{emiteeritud}} \quad (3.1)$$

Kuigi CE kvantifitseerimiseks pole standardset meetodit köögikubudele, on tõhusust uuritud õhuvoolu mudelite abil kui ka kontrollitud katsete kaudu. [30] Õhuvoolude otsesed mõõtmised võivad aidata mõõta köögikubu tõhusust kuid sellised mõõtmised on äärmiselt raske teostada ning kaasavad endas keerulisi arvutusi. Praktikas on kõige kasutatavam meetod eksperimentaalsete katsete läbiviimine kasutades märkegaasi. Mitmed sääraseid katsed on kasutanud selleks süsihappegaasi. [28]

Üldiselt mõjutavad aga köögikubu tõhusust veel mitmed aspektid nagu kokkamise meetodid, inimeste liikumine, avatud aknad/uksed jms. Köögisaarel asetseva kohtventilatsiooni puhul on kõrvaliste õhuliikumiste mõju kuhu tööle veelgi suurem. Seetõttu on köögikubude testimisel oluline imiteerida taolisi õhuliikumise häiringuid katseruumis. Nordtest Meetod NT VVS088 pakub välja meetodi inimese liikumisest põhjustatud häiriva õhuvoolu jäljendamiseks. [28]

Reaalsetes olukordades mõjutab kuhu tööd ka kanalisüsteemi aerodünaamiline takistus, mida omakorda mõjutavad ventilatsioonikanalite -läbimõõt, -pikkus, -materjal ning põlvede arv. Paigaldatava köögikubu puhul tuleb kindlasti järgida tootja poolset paigaldusjuhendit ning soovitusi. Olulist rolli mängib ka paigalduskvaliteet.

3.5 Köögikubude müra

Köögikubude kasutamisel tekkiv akustiline müra on üks olulisematest omadustest, mis määrab seadme kasutatavuse. Liigne müra on üks levinumaid kaebusi kubude kasutajate poolt. Suurematel õhuvoolu kiirustel on pliidi kohal suurem õhuvahetus, et paremini saasteaineid eemaldada, kuid see tähendab omakorda ka suuremat müra. Ideaalsetes tingimustes peaks kuba ise kontrollima õhuvooluhulkasid, et tagada sobilik saasteainete äratõmme. Kasutajad võivad müra vältimiseks vähendada kuba kiiruseid, suurendades sellega negatiivset mõju nii endi tervisele kui ka hoonele üldiselt. [31]

Köögikubude puhul saab eristada kolme sõltumatut müraallikat:

- ventilaatori enda vibratsioon ning müra ventilaatori pöörlevatest komponentidest;
- õhuvoolust tingitud müra äratõmbe pilu juures ja ventilaatori sees;
- müra väljaviske torus. [31]

Euroopa Liidu Masinadirektiiv (*European Machinery Directive*) sätestab, et kõik masinatootjad peavad müra deklareerima kas helivõimsuse ja/või helirõhu tasemena. Köögikubude akustilist müra hinnatakse laboris helirõhu standardiseeritud mõõtmiste abil. Tekkiv müra on tüüpiliselt lairiba statsionaarne müra (*broad band stationary noise*). [31] Üks suure müra võimalikest põhjustest on ka köögikubu kehv disain. Lisaks õige toote valikule on oluline paigaldada toode vastavalt paigaldusjuhendile. Liikuvad osad võivad tekitada täiendatavalt müra. Kasutusel olevat kuba tuleb õigeaegselt hooldada, filtreid puhastada ja vahetada. [27]

„Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“ määruse kohaselt on elamu köögis hoonete tehnokommunikatsioonidele lubatud müra normtase $L_{pA,max} = 40$ dB [32]. Kuba kasutamine on aga toiduvalmistamisel vältimatu ning selle käitamine ei ole ette nähtud konstantselt ning pikaajaliselt. Seetõttu ei saa nende müratasemetele rangeid piiranguid seada, kuivõrd saavad erinevad asutused anda soovituslikke piirmäärasid. Suuremad organisatsioonid neid piirmäärasid seadnud ei ole, samuti ei ole antud soovituslikke suuruseid. Kasutajatel, kes ei ole aga rahul köögikubu tööst tingitud müraga, on võimalus soovi korral kasutada lahendusi, kus näiteks ventilaator asub kasutuspiirkonnast kaugemal.

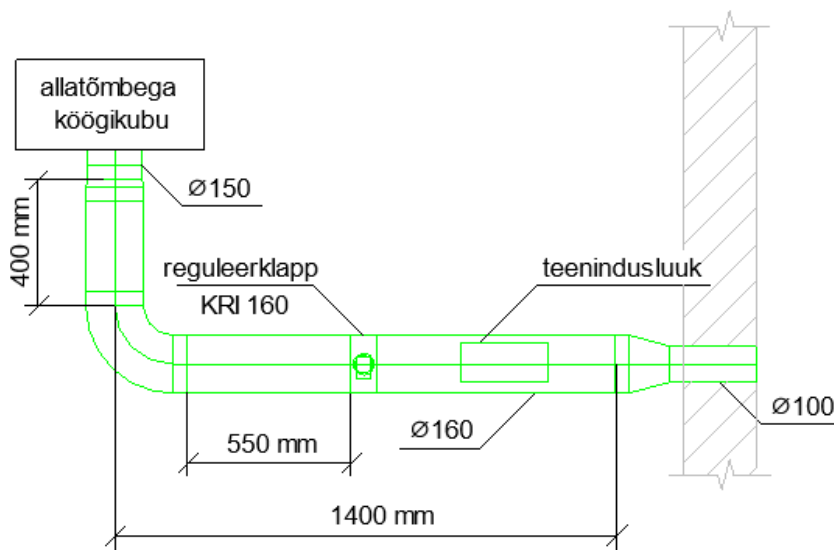
4. METOODIKA

Käesolevas peatükis esitatakse ülevaade magistritöö koostamisel kasutatud meetodikatest, kirjeldatakse ära uurimisobjekt ning kasutatavad mõõteseadmed. Lisaks kirjeldatakse ära katseruum ning tuuakse ära meetodika selle õhuvahetuskordsuse leidmiseks. Kõik sooritatud katsed on ära kirjeldatud viisil, mis võimaldavad neid vajadusel korrata. Antud lõputöö raames kasutati nelja erinevat meetodikat, mis aitasid hinnata allatõmbega köögikubu toimivust. Kõik katsed viidi läbi järjestikusel perioodil 2024. aasta aprillikuus.

4.1 Katsestend

Katsete sooritamiseks ehitati katsestend (joonis 4.1), mis koosnes järgnevatest osadest:

- induksioonpliidiplaat koos integreeritud allatõmbe köögikubuga (täpsem informatsioon ptk 4.1.1);
- ventilatsioonitorudest;
- IRIS tüüpi reguleerklapist (koos rõhuvahe mõõteotsikutega);
- teenindusluugist.



Joonis 4.1 Katsestendi eest vaade



Joonis 4.2 Foto katsestendist

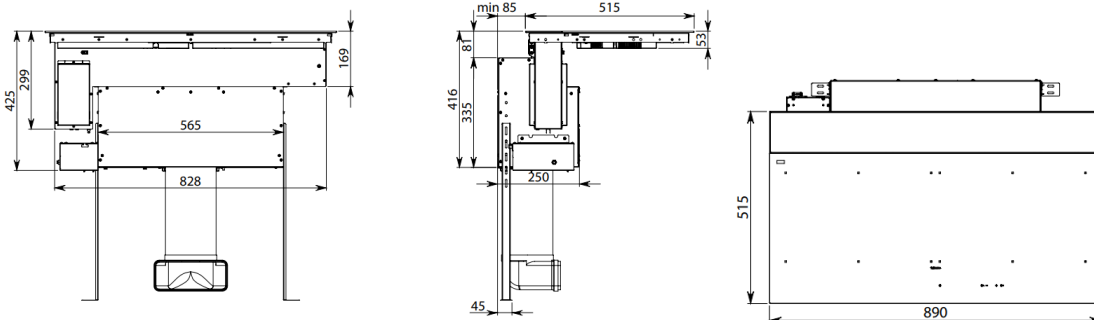
Katsestend (joonis 4.2) asus katsete sooritamise ajal 1999. aastal ehitatud üksikelamu köögis, kus puudus mehaaniline ehk sundventilisatsioon. Ehitatud katsestendi kasutati kõigi katsete läbiviimiseks. Antud töös on allatõmbega köögikubu kasutatud väljaviske konfiguratsioonis.

4.1.1 Katsetatav allatõmbega köögikubu

Käesolevas lõputöös on kasutatud katsete läbiviimiseks tootja Falmec (mudel Brera) induktsioonpliidiplaati koos integreeritud allatõmbe köögikubuga (joonis 4.3). Antud köögikubu saab kasutada nii väljatõmbe kui ka siseringluse konfiguratsioonis. Pliidiplaat on ette nähtud paigaldamiseks köögitasapinda sarnaselt teiste integreeritavate pliidiplaatidega. Täpsemad katsevahendi mõõtmed on toodud joonisel 4.4. Antud seadmel ei ole deklareeritud saasteainete püüdmistõhusust ehk CE'd.



Joonis 4.3 Falmec Brera allatõmbega köögikubu [33]



Joonis 4.4 Falmecc Brera allatõmbega köögikubu mõõtmed [33]

Katseseadme deklareeritud õhuvooluhulgad

Pliidiplaati integreeritud allatõmbega köögikubul on 10 mootori kiirustaset, täpsemad tootja poolt deklareeritud andmed on leitavad tabelist 4.1.

Tabel 4.1 Tootjapoolne mootori tehniliste andmete leht.

Mootori kiirus	1	5	9	P
Maht (m ³ /h)	230	420	600	740
Maksimaalne rõhk (Pa)	150	565	650	755
Mootori võimsus (W)	11	50	120	180

Katseseadme deklareeritud müratasemed

Tootja on seadme neljale mootori kiirusele deklareerinud mürataseme, mis on ära toodud tabelis 4.2.

Tabel 4.2 Tootjapoolne mootori tehniliste andmete leht.

Mootori kiirus	1	5	9	P
Müratase dB(A)	44	54	62	67

Teleskoobi lisamine allatõmbega köögikubule

Uurimisküsimustele vastuste leidmiseks, ehitati olemasolevale allatõmbega köögikubule teleskoop (joonis 4.5), et imiteerida töötasapinna seest tõusvaid köögikubusid. Valmistatud teleskoopi sai vastavalt vajadusele katsestendile paigaldada või sellelt eemaldada. Teleskoobi kõrgus on 30 cm, mis on sarnane turul pakutavate toodete mõõtudele. Laius on võrdväärne katsetatava kubu enda äratõmbe pilu laiusega. Teleskoobi pilu juurde on lisatud 45 kraadne suunaja, mis on samuti isikupärane olemasolevatele toodetele.





Joonis 4.5 Foto allatõmbega köögikubule lisatud teleskoobist

4.1.2 Kubu õhuhulkade kontrollmõõdistused

Õhuvooluhulgad sõltuvad konkreetse süsteemi takistusest, seetõttu sai ehitatud katsestendi puhul enne katsete sooritamist mõõdetud õhuvooluhulgad Testo dP mõõteseadmega (tabel 4.3) reguleerklapi rõhulangu alusel (valem 4.1). Paralleelselt mõõdeti ka õhuvoolu kiirused (tabel 4.3) ventilatsioonitorusse tehtud augu kaudu. Mõõdetud kiirused aitasid võrrelda tulemusi arvutatud õhuvooluhulkadega (valem 4.2). Mõõtmised teostati kõigile kümnele köögikubu kiirusele.

Tabel 4.3 Mõõteseadmete tehnilised andmed [34]

Mõõdetavad parameetrid	Diferentsiaalrõhk	Õhuvoolu kiirus
Mõõteseadme nimetus	Testo 440 dP (anemomeeter)	Testo vane probe
Mõõtepiirkond	-150 kuni +150 hPa	0,6 kuni 50 m/s
Mõõtetäpsus	Kuni 100 Pa ±0,05 hPa	±0.2 m/s + 1% mõõteväärtusest – väärtuste 0,6 kuni 40 m/s puhul
Illustreeriv pilt		

Õhuvooluhulk määratakse mõõdetud rõhulangu ja reguleerklapi asendi põhjal:

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

kus

q – õhuvooluhulk, l/s

Δp_m – mõõdetud rõhkude vahe, Pa

k – tegur reguleerklapi asendist

Õhuvooluhulka kanalis saab leida õhuvoolu kiiruse abil:

$$q = A * v \quad (4.2)$$

kus

A – toru ristpindala, m²

v – voolukiirus kanalis, m/s

4.2 Katseruumi õhuvahetuskordsus

Allatõmbega köögikubu õhuvooluhulgad on suured, seega tuleb selle tehnoloogia kasutamisel tagada vajalik kompensatsiooniõhk. Kompensatsioonõhu tagamise kontrolliks leitakse ruumi õhuvahetuskordsus. Kõik katsed tehti ühes kindlas uksega suletud ruumis, kus puudub mehaaniline ventilatsioon. Seega sõltub õhuvahetus erinevatest faktoritest nagu õhurõhk, küte, tuule suund ja tugevus jms. Allatõmbega köögikubu sai tööks vajaliku õhu läbi olemasoleva köögikubu, šahti ühendatud õhuava, puupliidi avatuste aga samuti ka naaberruumidest. Aknad olid katsete ajal suletud.

Õhuvahetuskordsus

Õhuvahetuskordsuse leidmiseks kasutatakse tahkete peenosakeste kontsentratsiooni vähenemise meetodit. Selline meetodika võimaldab leida ruumiõhu tegeliku vahetumise efektiivsust sõltumatult värskeõhu sissepuhke allikatest ja nende toimimise moodustest. Antud meetod põhineb jäävusseadusel, et ruumi siseneva õhu massivooluhulk on võrdne väljuva massivooluhulgaga. Eeldusel, et sisenev õhk sisaldab oluliselt vähem saasteainet (antud juhul tahkete peenosakeste kontsentratsioon on madalam) kui ruumist väljuv õhk, väheneb saasteaine kontsentratsioon ruumis eksponentsiaalselt.

Õhuvahetuskordsus kuhu eri töörežiimide korral

Lisaks ruumi õhuvahetuskordsuse leidmisele leitakse õhuvahetuskordsus allatõmbega köögikubu eri töörežiimide korral. Selleks kasutatakse valemit 4.3. Saadud arväärtused esitatakse kokkuvõtlikult graafikul.

$$n = \frac{L}{V} \quad (4.3)$$

kus

n – õhuvahetuskordus, h^{-1}

L – õhuvooluhulk, m^3/h

V – ventileeritava ruumi maht, m^3

4.3 Kvalitatiivne hinnang allatõmbega köögikubu toimivusele

Kvalitatiivse hinnangu eesmärk on uurida allatõmbega köögikubu tööd võimalikult terviklikult. Andmete kogumiseks kasutatakse struktureeritud ehk süstemaatilist vaatlus meetodit, mis aitab uuritava objekti kohta koguda andmeid vahetult, eesmärgistatud vaatlemise teel. Struktureeritud vaatluse käigus kogutakse andmeid kindlalt määratud reeglite ja eelnevalt paika pandud protseduuri kohaselt. Nähtu jäädvustamiseks kasutatakse kaamerat, mis võimaldab analüüsides erinevaid tööolukordi omavahel võrrelda. Kogu filmitud materjal monteeritakse kokkuvõtlikeks videoklippideks, mis on leitavad töö lisast (lisa 1). Allatõmbega köögikubu toimivuse iseloomustamiseks kasutatakse erinevaid abivahendeid ning võtteid. Erinevate gaaside kasutamine aitab visualiseerida aurude äratõmbe tõhusust.

4.3.1 Kasutatud katsevahendid

Katsetes kasutati järgnevaid abivahendeid:

- kaamera, katsete jäädvustamiseks;
- suitsupliiats (joonis 4.6);
- vesi;
- kolm erineva kõrgusega toiduvalmistamisnõud (joonis 4.7).



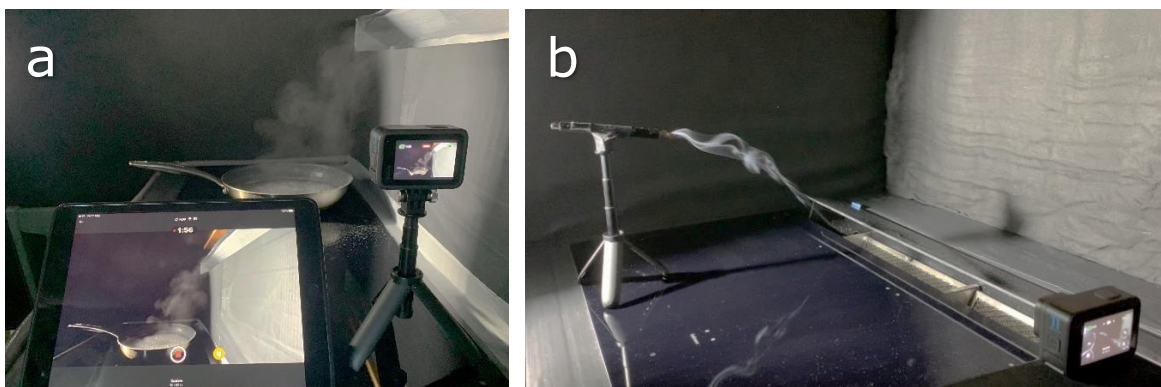
Joonis 4.6 Suitsupliiats Björnax AB Sweden [35]



Joonis 4.7 Kolm erineva kõrgusega toiduvalmistamisnõud – 5 cm kõrgune pann, 13 cm kõrgune pott ning 22 cm kõrgune pott

4.3.2 Katsete läbiviimise kirjeldus

Katsete läbiviimiseks ehitati katsestendile ümber must taust, et paremini visualiseerida gaaside liikumistrajekteore. Allatõmbega köögikubu töö visualiseerimiseks kasutati kahte meetodikat (joonis 4.8). Esimesel juhul keedeti kõigis kolmes toiduvalmistamisnõus vett, et veeauru liikumise kaudu saada teadmist allatõmbega köögikubu toimivusest. Teisel juhul kasutati pliidi kohal olevate õhuvoolude visualiseerimiseks suitsupliiatsit. Pliiats paigaldati erinevatele kõrgustele statiivi abil, et näha kuidas mõjutab allatõmbega köögikubu õhuvoolusid saasteainete tekkimise piirkonnas.



Joonis 4.8 Allatõmbega köögikubu poolt tekitatud õhuvoolude visualiseerimine pliidi kohal (a- veeauru liikumistrajektoore visualiseerimine, b- suitsu liikumistrajektoore visualiseerimine)

Katse käik:

1. Toiduvalmistamisnõu või suitsupliiatsi asetamine määratud asukohta pliidiplaadil.
2. Kaamera filmima seadistamine.
3. Erinevate õhuvooluhulkade ning kõrgustega tööolukordade läbi katsetamine.

Töös hinnatakse erinevate toiduvalmistamisnõude mõju veeauru liikumisele erinevatel köögikubu õhuvooluhulkadel. Suitsupliiatsiga katsetatakse läbi kolm erinevat kõrgust – 10 cm, 20 cm ja 30 cm. Mõlema meetodika puhul tehakse katsed läbi nii allatõmbega köögikubu originaal kui ka lisatud teleskoobi konfiguratsioonis.

4.4 Saasteainete püüdmistõhususe katseline määramine

Allatõmbega köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusust hinnatakse juba varasemalt teoreetilises osas ära kirjeldatud saasteainete eemaldamise kogutõhususe (CE) abil. Katsetes kasutatakse märkegaasi süsihappegaasi (CO₂), mille ülesanne on simuleerida toiduvalmistamisel tekkivaid saasteaineid. Süsihappegaasi on võimalik hõlpsalt ja piisava täpsusega mõõta, see on kasutatavate kontsentratsioonide juures keemiliselt püsiv, mittemürgine ning ei tekita ohtu mõnel muul moel. Vastavalt valemile 4.4 arvutatakse CE kubu poolt eemaldatud CO₂ massivoolu suhe pliidil asetsevasse toiduvalmistamisnõusse emiteeritud CO₂ kogusesse.

$$CE = \frac{Q_{CO_2 \text{ eemaldatud}}}{Q_{CO_2 \text{ emiteeritud}}} = \frac{M_{\text{emiteeritud}} - M_{\text{ruumi segunenud}}}{M_{\text{emiteeritud}}} \quad (4.4)$$

kus CE – saasteainete püüdmistõhusus, %

$Q_{CO_2 \text{ eemaldatud}} = Q_{VT} [CO_2 (VT) - CO_2 (RÕ)], \text{ g/min}$

Q_{VT} – eemaldatava märkegaasi mass ajaühikus, g/min

$CO_2 (VT)$ – süsihappegaasi kontsentratsioon väljatõmbekanalil, ppm

$CO_2 (RÕ)$ – süsihappegaasi kontsentratsioon ruumiõhus, ppm

$Q_{CO_2 \text{ emiteeritud}}$ – potti emiteeritud süsihappegaasi mass ajaühikus, g/min

CO₂ mõõtmiste käigus hinnatakse välja tõmmatavaid kontsentratsioone torustikus kui ka ruumi eri punktides. Märkegaasi kontsentratsioone mõõdetakse katse alguses, lõpus ning määratud intervallide tagant kogu katse vältel. Antud töös on mõõte intervalliks

määratud viis sekundit. Süsihappegaas suunatakse kummist vooliku abil otse toiduvalmistamisnõu põhjas olevasse vette, et lasta gaasil piisavalt seguneda ning seeläbi aidata paremini jäljendada toiduvalmistamist. Kuna CO₂ tihedus on õhu tihedusest umbes 1,5 korda suurem, keedetakse katsete ajal potis vett [11]. Kuum aur aitab süsihappegaasil konvektsiooni abil üles tõusta.

CO₂ kulu arvestamine



Süsihappegaasi koguste määramiseks kaalutakse katsete alguses ja lõpus CO₂ ballooni. Süsihappegaasi doseeritakse veega täidetud potti läbi ventiili, mille külge on ühendatud kummist toru. Ventiil aitab kõikide katsete jooksul gaasi manustada konstantse vooluhulgaga.

4.4.1 Kasutatud mõõteseadmed ja vahendid

Katsetes kasutati järgnevaid mõõteseadmeid ja abivahendeid:

- HOBO Onset CO₂ logerid (tabel 4.4);
- CO₂ balloon;
- ventiil CO₂ balloonile;
- kaal (tabel 4.4);
- kolm erineva kõrgusega toiduvalmistamisnõud (joonis 4.7).

Tabel 4.4 Mõõteseadmete tehnilised andmed [36, 37]

Mõõdetavad parameetrid	CO ₂ kontsentratsioon, õhu temperatuur, suhteline niiskus	Kaal
Mõõteseadme nimetus	HOBO Carbon Dioxide/Temp/RH Data Logger MX1102A	KERN IoT-Line Bench scale FKB 65K0.2
Mõõtepiirkond	0 kuni 5000 ppm; 0° kuni 50°C; 0 kuni 95%	Kuni 65 kg
Mõõtetäpsus	±50 ppm ±5% (25°C temperatuuril)	± 0,001 kg
Illustreeriv pilt		

4.4.2 Katsete läbiviimise kirjeldus

Katse käik:

1. CO₂ logerite seadistamine, ruumis laiali jaotamine ning mõõdistustega alustamine.
2. Toiduvalmistamisnõu ettevalmistamine - nõu varustamine 750 ml veega.
3. Katse alguse fikseerimine – katse nimetus, CO₂ ballooni kaal ning kellaeg.
4. Köögikubu ning induktsioonpliidi käivitamine määratud seadistuses. Operaatori eemaldumine katsestendist.
5. Kahe minuti möödudes (olles veendunud, et vesi keeb), avada CO₂ ballooni ventiil. Operaatori eemaldumine katsestendist.
6. Nelja minuti möödudes sulgeda CO₂ ballooni ventiil ning lülitada välja nii köögikubu kui ka induktsioonpliit.
7. CO₂ ballooni kaalu fikseerimine.
8. Ruumi tuulutamine ning valmistumine järgmiseks katseks.

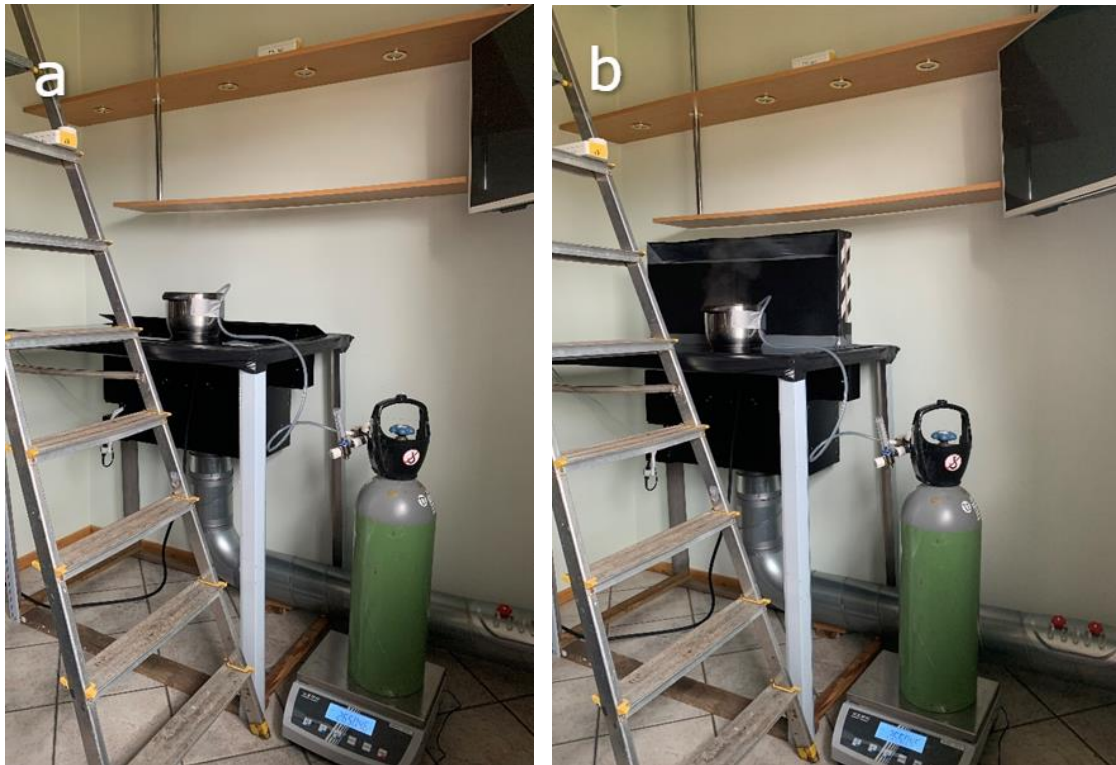
Erinevad katseolukorrad

Katsed teostati neljal erineval õhuvooluhulgal:

1. Kiirus 1 – 61 l/s
2. Kiirus 3 – 83 l/s
3. Kiirus 5 – 103 l/s
4. Kiirus 9 – 142 l/s

Nimetatud vooluhulkadel mõõdeti CO₂ kontsentratsioone kasutades kõiki kolme erinevat toiduvalmistamisnõud. Lisaks viidi katsed läbi samadel töötingimustel koos lisatava teleskoobiga. Katse viidi läbi ka ilma köögikubu kasutamata, et saada analüüsiks väärtuslikku materjali. Üks katse teostati viisil, kus kindlal ajahetkel segati vett hoogsasti 30 sekundi jooksul. See võimaldab hinnata segamise mõju allatõmbega köögikubu saasteainete püüdmistõhususele.

Järgneval joonisel 4.9 on toodud pilt kahest katseolukorrast.



Joonis 4.9 Saasteainete püüdmistõhususe mõõtmised (a- 13 cm kõrguse poti katsetamine köögikubu originaal konfiguratsioonis, b- 13 cm kõrguse poti testimine koos lisatud teleskoobiga)

4.5 Tahkete peenosakeste kontsentratsiooni mõõtmine ruumiõhus toiduvalmistamisel

Tahkete peenosakeste mõõtmine aitab hinnata toiduvalmistamise mõju siseõhu kvaliteedile. Toiduvalmistamiseks kasutakse liha praadimist, kuna mitmed uuringud on leidnud, et just liha praadimisel võib tahkete osakeste eraldumine olla kordi suurem kui mõne muu toiduvalmistamisviisi ja produkti puhul [13, 38]. Kehtestatud piirmäärad peenosakeste kontsentratsioonile on esitatud 24-tunni keskmistena. Seetõttu ei saa saadud tulemusi automaatselt piirmääradega võrrelda.


4.5.1 Kasutatud mõõteseadmed ja vahendid

Katsetes kasutati järgnevaid mõõteseadmeid ja abivahendeid:

- peenosakeste sisalduse mõõtja (tabel 4.5);

- kahte madalama kõrgusega toiduvalmistamisnõud (joonis 4.7);
- seahakkliha;
- rapsiõli.

Tabel 4.5 Mõõteseadme tehnilised andmed [39]

Mõõdetavad parameetrid	Peenosakeste sisaldus
Mõõteseadme nimetus	TSI DustTrak™ DRX Aerosol Monitor 8533
Mõõtepiirkond	0,001 – 150 mg/m ³ 0,1 – 15 µm
Mõõtetäpsus	±0,1% näidust või 0,001 mg/m ³ , olenevalt sellest kumb on suurem
Illustreeriv pilt	

4.5.2 Katsete läbiviimise kirjeldus

Katse käik:

1. Mõõteseadme paigaldamine köögilauale (1,5 meetri kaugusele pliidist) ning selle mõõdistama seadistamine.
2. Ruumi taust kontsentratsiooni mõõtmine 15 minutit.
3. Panni asetamine pliidiplaadile koos 25 ml taimeõliga. Pliidi ja köögikubu käivitamine.
4. 3 minuti möödudes, asetada pannile üks 100 g seahakkliha kotlet.
5. Kotletti praadimine mõlemalt küljelt 5 minutit.
6. Küpsetamise lõppedes eemaldada pann pliidilt, asetada ahju jahtuma, lülitada välja nii pliit kui ka kuhu ning sulgeda reguleerklapp.
7. Mõõteseadme jäetakse ruumiõhu peenosakeste kontsentratsioone mõõtma kokku 2,5 tunniks.
8. Iga katse lõpus puhastada katsevahendid eelmise katse jääkidest.

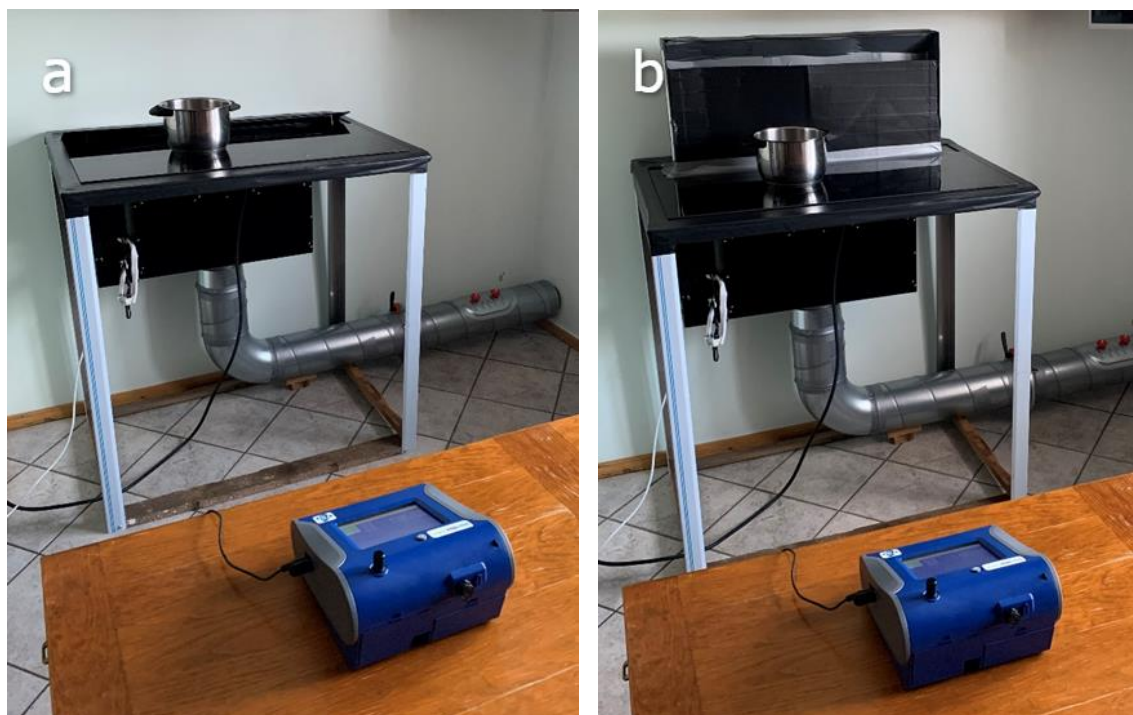
Erinevad katseolukorrad

Katsed teostati kahel erineval õhuvooluhulgal:

1. Kiirus 1 – 61 l/s
2. Kiirus 9 – 142 l/s

Nimetatud vooluhulkadel mõõdeti tahkete peenosakeste kontsentratsioone kasutades kahte madalama kõrgusega toiduvalmistamisnõud. Lisaks viidi katsed läbi samadel töötingimused koos lisatava teleskoobiga. 22 cm kõrgust potti antud katsetes ei kasutatud, kuna üldjuhul väga kõrgeid potte praadimiseks ei kasutata. Kaks katset viidi läbi ilma köögikubu kasutamata. Mõlemal juhul järgiti katse käiku, kuid ühe katse puhul seadistati pliit kuumemale kuumusele viisil, mis põhjustas liha kõrbemist.

Järgneval joonisel 4.10 on toodud pilt kahest katseolukorrast.



Joonis 4.10 Peenosakeste kontsentratsiooni mõõtmine toiduvalmistamisel (a- 13 cm kõrguse potiga liha praadimine köögikubu originaal konfiguratsioonis, b- 13 cm kõrguse potiga liha praadimine koos lisatud teleskoobiga)

4.6 Mõõtmised


Mõõtmised tehakse kasutades erinevaid kõõgikubude kiirustasemeid, mis võimaldab saadud tulemusi võrrelda tootja poolt deklareeritud müratasemetega. Mõõtmised tehakse 1 m sammuga eri suundades kõõgikubust. Mõõtmistulemuste fikseerimisel kasutatakse dB(A) filtrit. Taustmüra või mõõteseadmete tekitatud müra peab olema vähemalt 10 dB madalam kui mõõdetav müra, sellisel juhul ei ole vaja mõõtmistulemusi korrigeerida.

Tootja poolt deklareeritud müratasemed on mõõdetud standardi I.E.C. 60704-2-13 kohaselt. See standard annab juhised ja meetodika seadmete tekitatud müra mõõtmiseks ja väljendamiseks detsibellides (dB) suhtes ühele pikovatile (1 pW) akustilisele võimsusele. Standardi kohaselt viiakse testimine läbi kindlaksmääratud mõõtmiste ja materjalidega kinnises korpuses. Meetodikate erinevuse tõttu ei saa töös mõõdetud andmeid üks ühele tootja poolt deklareeritud müratasemetega võrrelda. Sellegipoolest pakuvad töös mõõdetud tulemused informatiivset teadmist.

4.6.1 Kasutatud mõõtesead

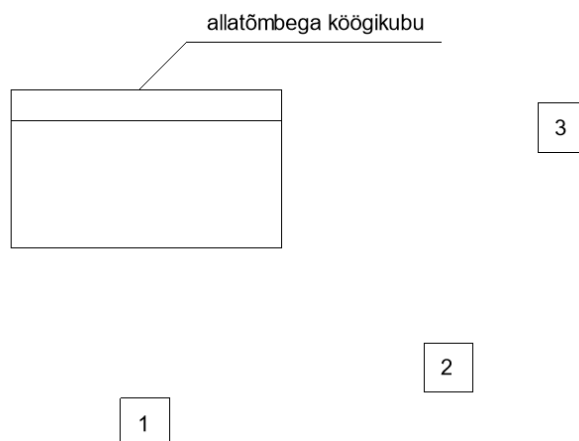
Antud katsetes kasutati TENMARS TM-102 müramõõtmist (tabel 4.6).

Tabel 4.6 Mõõteseadme tehnilised andmed [40]

Mõõdetavad parameetrid	Müratase
Mõõteseadme nimetus	TENMARS TM-102 Sound Level Meter
Mõõtepiirkond	30 dB kuni 130 dB, 31.5 Hz kuni 8 KHz
Mõõtetäpsus	±1.5 dB
Illustreeriv pilt	

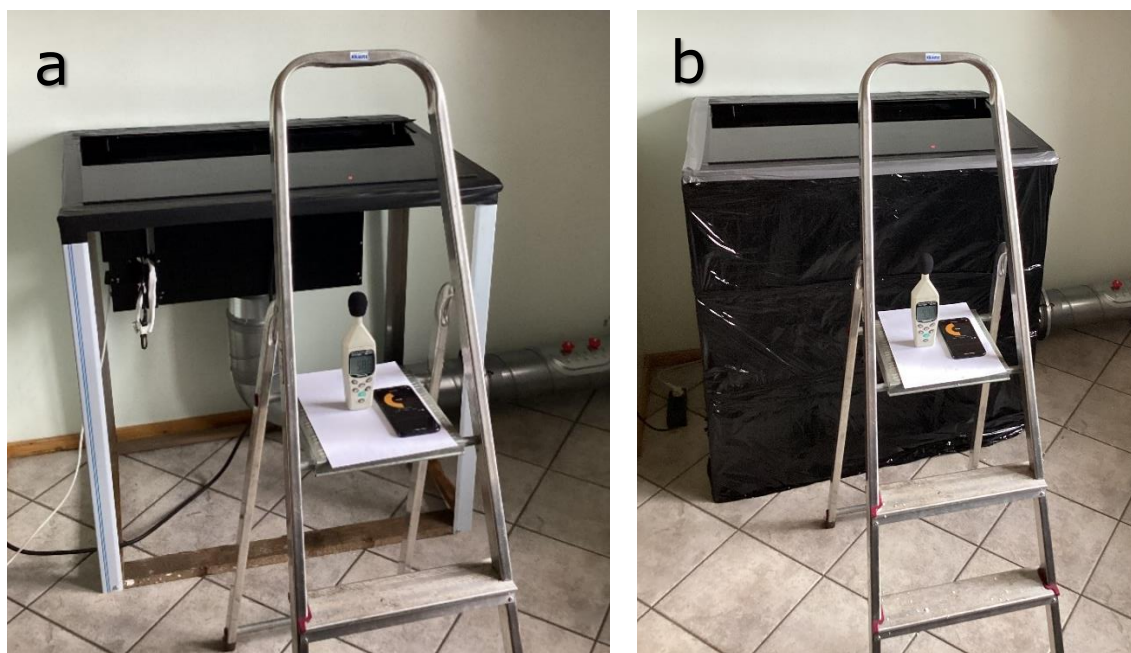
4.6.2 Katsete läbiviimise kirjeldus

Müra mõõdeti köögikubu suhtes kolmest positsioonist joonisel 4.11 toodud skeemi alusel. Mõõteseade asus 1 meetri kaugusel köögikubu pilust. Mõõtmised teostati kubu kiirustele 1 (61 l/s); 5 (103 l/s) ja 9 (142 l/s), mis võimaldavad saadud tulemusi kõrvutada tootja andmetega.



Joonis 4.11 Müramõõtja kolm positsiooni köögikubu suhtes

Kõik katsed tehti läbi nii avatud katsestendi kui ka suletud stendi külgedega (joonis 4.12), et imiteerida reaalse köögi olukorda, kus ventilaator asub köögimööbli sees. Iga katse mürataset mõõdeti üks minut. Müra lõppväärtus antud ventilaatori tööpunktiis on minuti jooksul mõõdetud andmete keskvärtus.



Joonis 4.12 Müra mõõtmised (a- avatud külgedega katsestend, b- suletud külgedega katsestend)

5. TULEMUSED JA ANALÜÜS

Antud peatükis esitatakse kõigi nelja meetoodika kasutamisel saadud tulemused, nende analüüs ning tehtavad järeldused. Enne katsetulemuste esitamist näidatakse ära allatõmbega köögikubu mõõdetud õhuvooluhulgad ning katseruumi õhuvahetuskordsus. Kolmandas alapeatükis hinnatakse allatõmbega köögikubu tööd vaadeldes kubu toimivust erinevates tööolukordades, sellele järgnevad kolm alapeatükki sisaldavad endas mõõtevahenditega mõõdetud tulemusi, mis annavad teadmiseid saasteainete püüdmistõhususest, peenosakeste kontsentratsioonidest ruumiõhus toiduvalmistamisel ning allatõmbega köögikubu poolt tekitatavast mürast.

5.1 Kubu õhuhulkade kontrollmõõdistused

Takistused torustikus ja selle komponentides mängivad suurt rolli õhuvooluhulkade suurustele. Seetõttu tuli enne katsetega alustamist leida õhuvooluhulgad antud katsestendi konfiguratsioonis olevale allatõmbega köögikubule. Saadud tulemused on esitatud tabelis 5.1. Mõõtmise käigus selgus, et kiirus P ehk kümnes kiirus ei muutnud õhuvooluhulki absoluutselt, seega on see kiirus jäetud tehtud katsetes kõrvale ning arvestatud sellega, et katsealusel seadmel on üheksa erinevat kiirust. Tabeli viimases reas on välja toodud erinevus tootja deklareeritud ning mõõdetud õhuvooluhulkade vahel.

Tabel 5.1 Allatõmbe köögikubuga mõõdetud õhuvooluhulgad ja kiirused äratõmbekanalisis

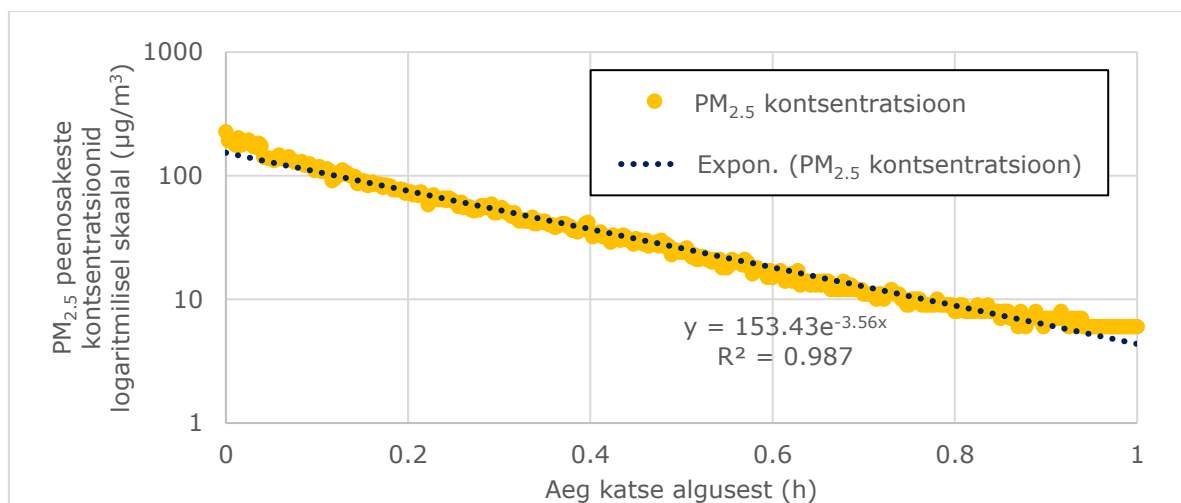
Mootori kiirus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kiirus kanalis (m/s)	3	3,7	4,3	4,8	5,3	5,8	6,2	6,9	7,2
Mõõdetud õhuvooluhulk (l/s)	60,8	72,3	83,4	94,4	103,3	113,3	119,8	133,6	142,2
Mõõdetud õhuvooluhulk (m ³ /h)	218,9	260,3	300,2	339,8	371,9	407,9	431,3	481,0	511,9
Tootja poolt deklareeritud õhuvooluhulk (m ³ /h)	230	-	-	-	420	-	-	-	600
Erinevus	5,1 %	-	-	-	12,9 %	-	-	-	17,2 %

5.2 Katseruumi õhuvahetuskordsus

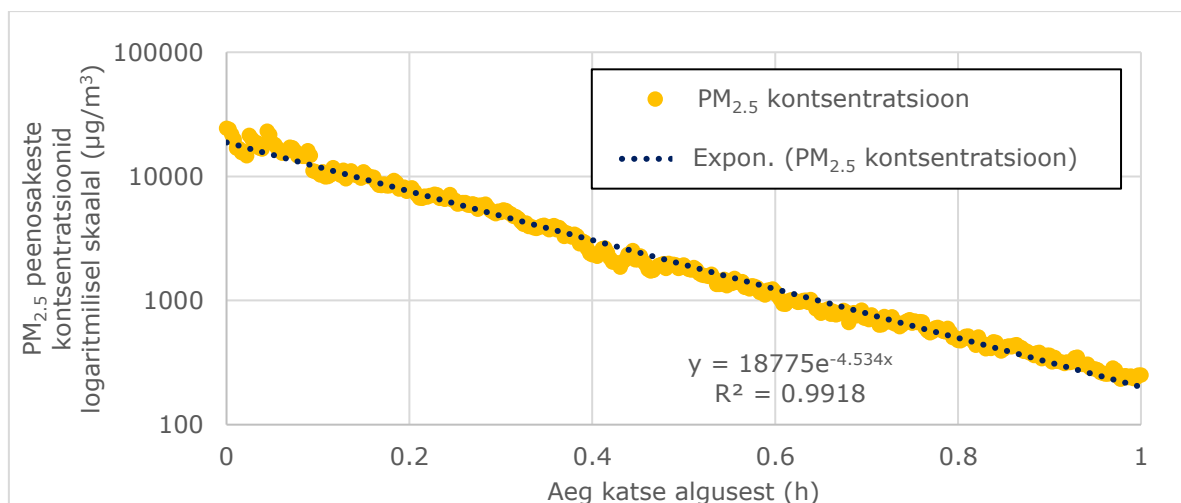
Ruumis, kus katsestend asus ei vähenenud õhuvooluhulgad ka pikaajalisel kasutamisel, mis tähendab, et allatõmbega köögikubul oli võimalik vajalik õhk ruumist saada. Selle illustreerimiseks leiti ruumi õhuvahetuskordsus peatükis 4.2 kirjeldatud meetodika alusel. Lisaks on leitud õhuvahetuskordsused ruumis erinevatel kubu õhuvooluhulkadel.

Ruumi loomulik õhuvahetuskordsus

Andmete töötlemisel sai kahe katse põhjal loodud eksponentsiaalne tahkete peenosakeste kontsentratsiooni langus logaritmilisel skaalal. Saadud graafikutelt (joonis 5.1 ja 5.2) leiti, et ruumi õhuvahetuskordsus jääb vahemikku $n=3,56...4,53 \text{ h}^{-1}$.



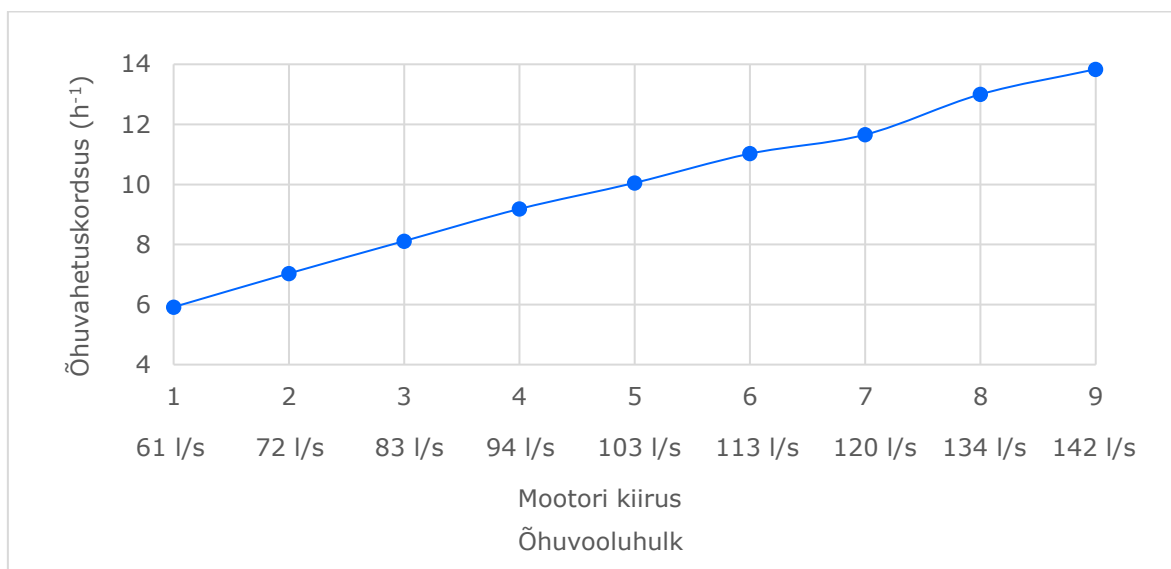
Joonis 5.1 Eksponentsiaalne tahkete peenosakeste kontsentratsiooni langus logaritmilisel skaalal (Katse 1)



Joonis 5.2 Eksponentsiaalne tahkete peenosakeste kontsentratsiooni langus logaritmilisel skaalal (Katse 2)

Ruumi õhuvahetuskordsus kubu eri töörežiimide korral.

Õhuvooluhulkade suurenemisest tingituna tõuseb köögikubu kiiruse intensiivistumisest ruumis ka õhuvahetuskordsus. Katseruumi maht oli umbes 37 m³ ning teades õhuvooluhulki sai leida õhuvahetuskordsuse erinevatel kiirustel. Tulemused on esitatud joonisel 5.3. Graafikult on näha, et konkreetse seadme kasutamisel maksimaalsel kiirusel vahetub ruumi õhk ühe tunni jooksul peaaegu 14 korda.



Joonis 5.3 Õhuvahetuskordsus konkreetsetes katseruumis köögikubu eri töörežiimide korral

5.3 Kvalitatiivne hinnang allatõmbega köögikubu väljatõmbele

Käesolevas alapeatükis on toodud struktureeritud vaatluse teel saadud tulemuste kokkuvõtte ja analüüs. Peatükis esitletud joonistel on toodud erinevate tööolukordade võrdlused erinevatel õhuvooluhulkadel. Allatõmbega köögikubu äratõmbe visualiseerimiseks on kasutatud nii veeauru kui ka suitsu. Fotode paremaks analüüsiks on joonistel punase punktiirjoonega ära märgitud äratõmbe ava asukoht. Digitaalses lõputöö failis on võimalik tutvuda ka katsevideotega, mis on leitavad klikkides jooniste allkirjades olevatel linkidel, samuti on videote veebileheküljed leitavad töö lisast (lisa 1).

Äratõmbe visualiseerimine veeauru abil allatõmbega köögikubu originaal konfiguratsioonis

Järgneval kolmel joonisel on visualiseeritud vee keetmisel tekkiva veeauru äratõmme kõigi kolme erineva kõrgusega toiduvalmistamisnõuga. Fotodelt on võimalik näha, kuidas kõige väiksemal kuhu kiirusel tekib veeaurust „pilveke” toiduvalmistamisnõu kohale. Õhuvooluhulkade suurenedes hakkab aur üha suuremas hulgas liikuma äratõmbe ava suunas.

Panni kasutamisel (joonis 5.4) on visuaalsel vaatlusel tekkiv erinevus kolmel erineval kiirusel kõige väiksem. Äratõmbe ava asub toiduvalmistamisnõule lähedal ning valdav osa veeaurust liigub otse kanalisse. Ainult õhuvooluhulgal 61 l/s saab tähendada asjaolu, et allatõmbega köögikubu poolt tekitatav õhuvoolukiirus ei ole piisav, et püüda suuremat osa pannil tekkivast veeaurust kinni. Aur paiskub panni kohalt kõrgemale ning hakkab ruumiõhuga intensiivsemalt segunema. Keskmise toiduvalmistamisnõu ($h=13$ cm) katsel (joonis 5.5) joonistub erinevate köögikubu kiiruste omavaheline erinevus veel paremini välja. Õhuvooluhulga 61 l/s korral on näha, kuidas väga väike osa aurust liigub otse äratõmbe pilu poole. Õhuvooluhulga suurenemisel eemaldatava auru osakaal vaikselt suureneb. Maksimaalsel kiirusel on näha, kuidas veeaur omandab selgemad piirid ning ei paisku enam nii suures koguses pliidi kohale laiali. Äratõmme on võrreldes väiksemate õhuvooluhulkadega märksa tõhusam. 22 cm kõrguse poti katsetamisel (joonis 5.6) on näha, kuidas madalal kiirusel enamik veeaurust tõuseb pliidi kohalt kõrgemale ilma äratõmbesse jõudmist. Kiiruse tõstmisel hakkab veeaur vaikselt immitsema üle poti ääre, kuid selgelt on näha, et suurem osa aurust pääseb siiski ruumiõhuga segunema. Õhuvooluhulgal 142 l/s liigub umbes üks neljandik veeaurust allatõmbega köögikubusse. Katsetulemustest on selgelt näha, et mida kõrgem on toiduvalmistamisnõu seda vähem veeaurust jõuab visuaalselt äratõmbe kanalisse.



Joonis 5.4 Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine kasutades 5 cm kõrgust panni (a- 61 l/s; b- 103 l/s; c- 142 l/s) [\[Video link\]](#)



Joonis 5.5 Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine kasutades 13 cm kõrgust potti (a- 61 l/s; b- 103 l/s; c- 142 l/s) [\[Video link\]](#)



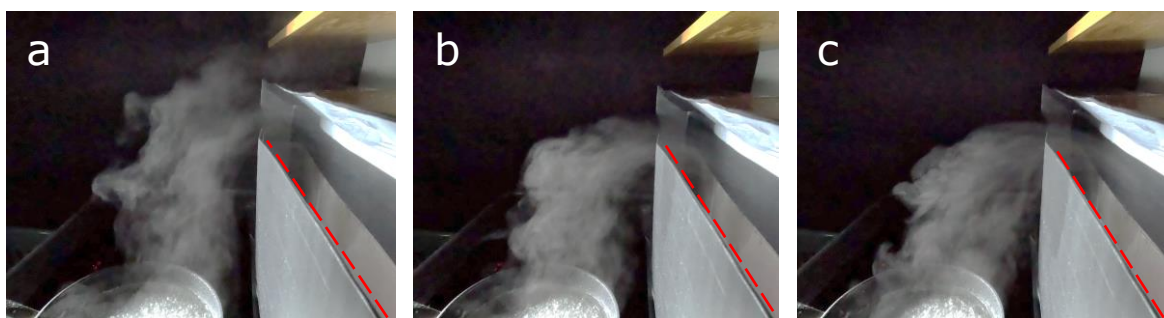
Joonis 5.6 Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine kasutades 22 cm kõrgust potti (a- 61 l/s; b- 103 l/s; c- 142 l/s) [\[Video link\]](#)

Äratõmbe visualiseerimine veeauru abil lisatud teleskoobi konfiguratsioonis

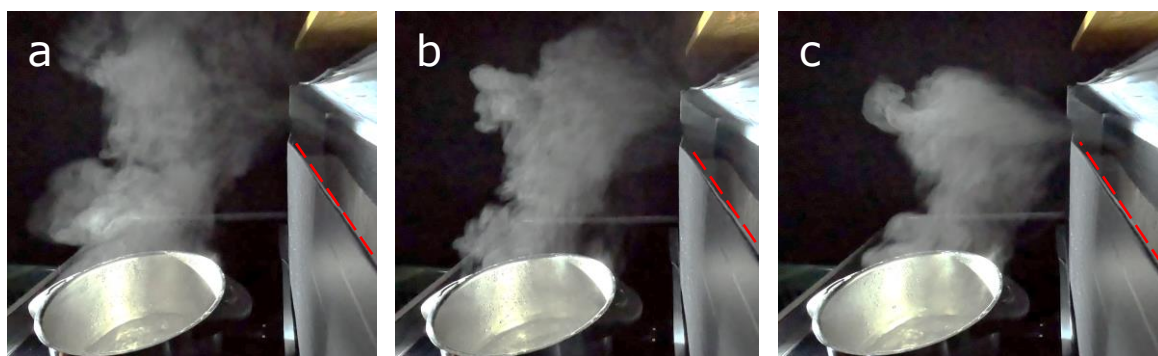
Sarnaselt eelnevale kolmele joonisele on järgmisel kolmel joonisel visualiseeritud vee keetmisel tekkiva veeauru äratõmme, ainukese erinevusega, et allatõmbega köögikubule on lisatud teleskoop. Kõigi kolme toiduvalmistamisnõu puhul näeme, et õhuvooluhulkade suurenedes liigub aur üha intensiivsemalt äratõmbe ava suunas.

Panniga tehtud katses (joonis 5.7) on näha, et õhuvooluhulga 103 l/s korral liigub enamik nähtavast veeaurust otse äratõmbesse. Väiksemal kiirusel tõuseb osa aurust üle teleskoobi kõrguse. 13 cm kõrguse poti kasutamisel (joonis 5.8) näeme sarnast efekti nagu pannigagi. Vooluhulgal 61 l/s on selgelt näha, et väga suur osa veeaurust tõuseb otse üles. Kiiruse kasvades äratõmbe kanalis hakkab veeaur keedutsoonide kohal üha selgemaid piire võtma ning üha suuremates kogustes poti kohalt eemalduma. Kõige kõrgema poti katsetamisel (joonis 5.9) on näha, et veeauru kogus poti kohal on üsna suur tänu nõu suurele diameetrile. Kui õhuvooluhulgal 61 l/s on auru liikumine poti kohal küllaltki kaootiline siis allatõmbega köögikubu poolt tekitatava õhukiiruse suurenemisel

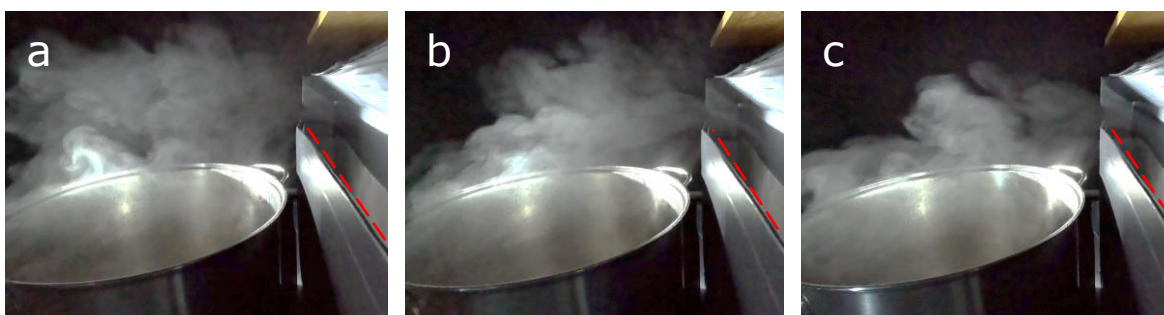
pliidi kohal hakkab auru liikumistrajektor paremini välja kujunema. Õhuvooluhulga 142 l/s korral on veeauru äratõmme pliidi kohalt väga hea.



Joonis 5.7 Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine lisatud teleskoobi konfiguratsioonis kasutades 5 cm kõrgust panni (a- 61 l/s; b- 103 l/s; c- 142 l/s) [\[Video link\]](#)



Joonis 5.8 Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine lisatud teleskoobi konfiguratsioonis kasutades 13 cm kõrgust potti (a- 61 l/s; b- 103 l/s; c- 142 l/s) [\[Video link\]](#)



Joonis 5.9 Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine lisatud teleskoobi konfiguratsioonis kasutades 22 cm kõrgust potti (a- 61 l/s; b- 103 l/s; c- 142 l/s) [\[Video link\]](#)

Võrreldes pliidiplaadiga samas tasapinnas asuvat allatõmbega köögikubu ava 30 cm kõrgemale tõstetud avaga saab selgelt tõdeda, et kõrgemale toodud ava parandab veeauru äratõmme märkimisväärselt. Kui panniga vee keetmisel ei tule erinevus kahe variandi vahel eriti välja siis kõrgemate toiduvalmistamisnõude kasutamisel on selgelt näha, et teleskoobi lisamine allatõmbega köögikubule suurendab äratõmbe tõhusust.













Allatõmbega köögikubu äratõmbe visualiseerimine suitsupliatsi abil

Teise katsemetoodika kohaselt kasutati õhuvoolude visualiseerimiseks suitsupliatsi abil tekitatud suitsu. Suitsupliats asetati keedutsooni kõige kaugemasse serva kõrgustele 10 cm; 20 cm ja 30 cm. Kõik katsetulemused nii originaal kui ka lisatud teleskoobiga allatõmbega köögikubu konfiguratsioonis on koondatud kokkuvõtlikult kahte tabelisse (tabel 5.2 ja 5.3).












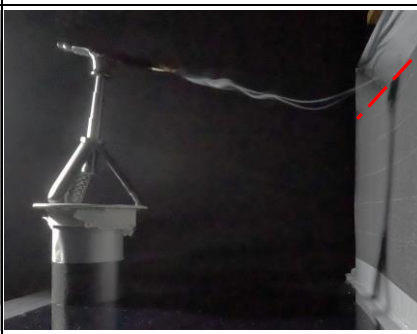
Tabelis 5.2 on toodud katsetulemused olukorras, kus äratõmbe pilu asub pliidiplaadiga samas tasapinnas. Tulemustest joonistub välja, et märkegaasi emiteerimisel 10 cm kõrguselt liigub gaas laminaarselt äratõmbe ava suunas. 20 cm kõrguselt suitsu manustamisel joonistub sirgjooneline gaasi liikumine välja alles alates õhuvooluhulgast 103 l/s, samas kui 30 cm kõrgusel asetseva suitsupliatsi katsel ei teki kordagi sellist olukorda. Kõige kõrgema suitsupliatsi asetuse korral ei jõua suits õhuvooluhulgal 61 l/s üldse visuaalselt otse äratõmbesse. Kiiruse suurenemisel kanalis hakkab suits ülesse tõusmise asemel äratõmbe ava poole liikuma. Sellegipoolest on näha, et suitsujuga on küllaltki keeriseline.

Samal põhimõttel on tabelis 5.3 on esitatud tulemused lisatud teleskoobi konfiguratsioonis. Võrreldes fotosid eelmise tabeli tulemustega on kõrgemal asetseva suitsupliatsi korral suitsu liikumine äratõmbesse paranenud. Varasemalt keeriseline suitsujuga on omandanud sirgjoonelisema teekonna. Üleüldiselt on kõikide tööolukordade puhul selge gaasi trajektoor väljatõmbe pilu suunas tuvastatav.

Tabel 5.2 Suitsupliiatsiga õhuvoolude visualiseerimine erinevatel õhuvooluhulkadel originaal allatõmbega köögikubu konfiguratsioonis **[Video link]**

Suitsupliiatsi kõrgus	Kiirus 1 61 l/s	Kiirus 3 83 l/s	Kiirus 5 103 l/s	Kiirus 9 142 l/s
10 cm				
20 cm				
30 cm				

Tabel 5.3 Suitsupliiatsiga õhuvoolude visualiseerimine erinevatel õhuvooluhulkadel lisatud teleskoobi allatõmbega köögikubu konfiguratsioonis **[Video link]**

Suitsupliiatsi kõrgus	Kiirus 1 61 l/s	Kiirus 3 83 l/s	Kiirus 5 103 l/s	Kiirus 9 143 l/s
10 cm				
20 cm				
30 cm				

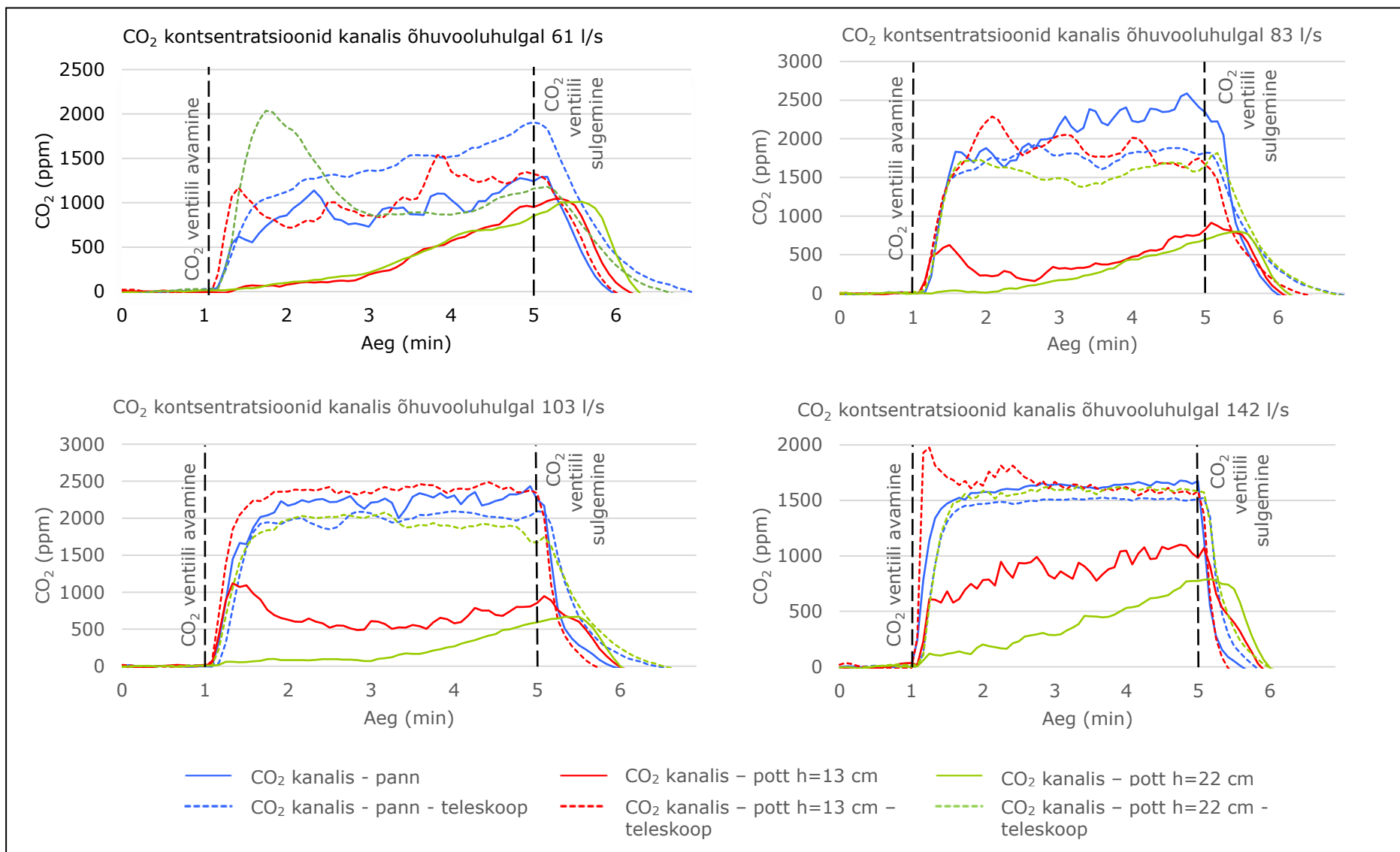
5.4 Saasteainete püüdmistõhusus

Käesolevas alapeatükis on arvatud mõõdetud katseandmete põhjal erinevatele tööolukordadele saasteainete püüdmistõhusus. Graafiliselt on ära toodud süsihappegaasi kontsentratsioonid väljaviske kanalis. Kõik katsed viidi läbi järgides peatükis 4.4 kirjeldatud metoodikat. Katsed erinevate toiduvalmistamisnõudega viidi läbi õhuvooluhulkadel 61; 83; 103 ja 142 l/s. Kõik katsed sooritati allatõmbega köögikubu originaal kui ka lisatud teleskoobi konfiguratsioonis. Lisaks tehti üks katse vahepealse vee segamisega, et imiteerida toiduvalmistamise käigus sagedast tegevust ning hinnata selle mõju tulemustele.

CO₂ kontsentratsioonid äratõmbe kanalis

Katsete käigus mõõdeti CO₂ kontsentratsioone nii kanalis kui ka ruumi erinevates punktides. Neljale õhuvooluhulgale on tehtud graafik (joonis 5.10), mis näitab äratõmbekanalisis süsihappegaasi taset. Tulemusi esitatavatel graafikutel on väljatõmbekanalisis mõõdetud kontsentratsioonidest maha arvestatud CO₂ taust kontsentratsioon. Üks minut peale katse algust keeratakse lahti märkegaasi sisaldava ballooni ventiil, nelja minuti möödudes ballooni ventiil suletakse koos köögikubu väljalülitamisega.

Jooniselt 5.10 on selgelt näha, et võrreldes panni kasutamisega tõmbab originaal konfiguratsioonis allatõmbega köögikubu kõrgemate pottide kasutamisega pliidi kohalt kordades vähem süsihappegaasi. Isegi kõige suurema õhuvooluhulga korral (142 l/s) on erinevus selgelt näha. Teleskoobi lisamine katsestendile tõstab allatõmbega köögikubu toimivust märgatavalt. Ainult 5 cm kõrguse panni kasutamisel on väljatõmmatavad märkegaasi kogused kubu originaal konfiguratsioonis suuremad võrreldes sama katseolukorda lisatud teleskoobiga. Õhuvooluhulkade suurenemisel on näha, kuidas CO₂ kontsentratsioonid kanalis muutuvad järjest stabiilsemaks. Vee keetmine ning märkegaasi manustamise meetod tekitab toiduvalmistamisnõudes küllaltki turbulentsse olukorra, mis võib põhjustada süsihappegaasi kontsentratsioonides suuremaid kõikumisi, eriti väiksematel õhuvooluhulkadel.



Joonis 5.10 CO₂ kontsentratsioonid allatõmbega köögikubu väljatõmbekanal

Allatõmbega köögikubu saasteainete püüdmistõhusus

Ballooni kaalumisel saadud emiteeritud CO₂ kogus arvutati ümber massivooluhulgaks (g/min). Väljatõmmatava CO₂ kontsentratsioon teisendati samuti massivooluhulgaks (g/min) teades CO₂ molaarmassi (44,01 g/mol) ning õhuvooluhulka kanalis. Saadud arvvaartuste omavaheline suhe moodustabki CE ehk püüdmistõhususe. Arvutatud püüdmistõhusused erinevatele tööolukordadele on esitatud tabelis 5.3.

Tabel 5.3 Püüdmistõhusused erinevates tööolukordades

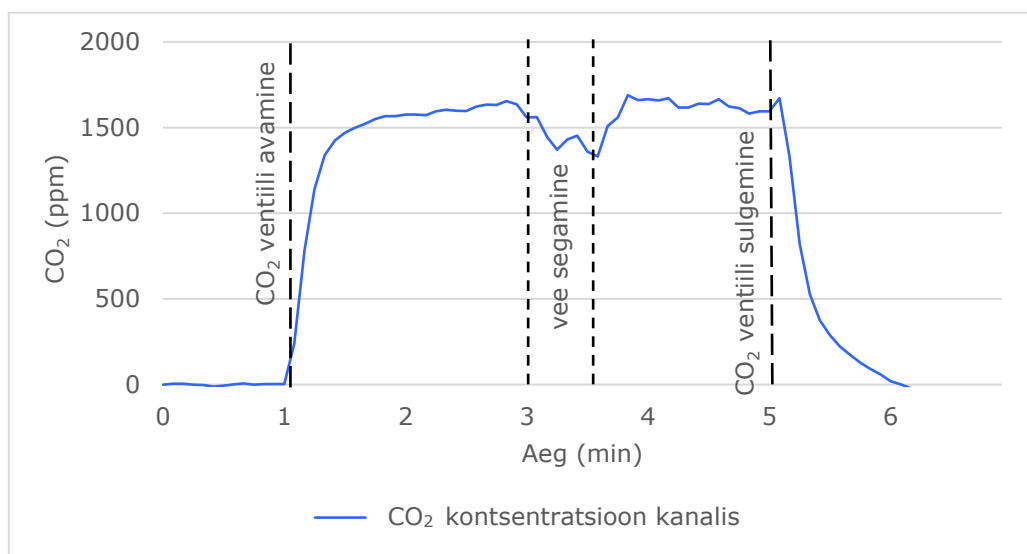
	Õhuvooluhulk 142 l/s	Õhuvooluhulk 103 l/s	Õhuvooluhulk 83 l/s	Õhuvooluhulk 61 l/s
Pann - originaal konfiguratsioon	97,0%	95,8%	77,6%	22,4%
Pann - lisatud teleskoop	92,3%	85,4%	62,3%	37,8%
Pott h=13 cm - originaal konfiguratsioon	53,3%	25,7%	22,2%	9,8%
Pott h=13cm - lisatud teleskoop	99,8%	96,6%	69,3%	25,4%
Pott h=22cm - originaal konfiguratsioon	26,7%	10,4%	10,0%	7,6%
Pott h=22cm - lisatud teleskoop	96,9%	87,4%	52,1%	22,9%

Allatõmbega köögikubu eemaldas maksimaalsel õhuvooluhulgal märkegaasi kõige paremini panni kasutamisel originaal konfiguratsioonis ning mõlema kõrgusega poti kasutamisel lisatud teleskoobi korral. Lisaks on tulemused head ka õhuvooluhulgal 103 l/s samades tööolukordades. Madalaima toiduvalmistamisnõu puhul on suurematel õhuvooluhulkadel tulemused tasapinnalise äratõmbe pilu korral paremad, ainult väiksemal õhuvooluhulgal (61 l/s) on näha, et teleskoobi lisamine annab paremad tulemused. Originaal konfiguratsioonis on 13 cm kõrguse poti kasutamisel saasteainete püüdmistõhusus alla 54% ning veel kõrgema poti korral sama näitaja alla 27%. Näeme, et toiduvalmistamisnõudest madalamal asuv äratõmme ei saa hästi hakkama saasteainete püüdmisega. Õhuvooluhulkade vähenemisel, vähenevad saadud tulemused veel rohkem. Antud tulemuste põhjal ei saa rääkida allatõmbega köögikubu toimivusest. Teleskoobi lisades katsestendile paranevad tulemused märkimisväärselt. Alates õhuvooluhulgast 103 l/s on pottide kasutamisel tulemused väga head. Kõige intensiivsemal kiirusel (142 l/s) eemaldatakse üle 96% emiteeritud süsihappegaasist.

Mõju allatõmbega köögikubu tööle vahepealse vee segamisega

Õhuvooluhulgal 142 l/s viidi läbi üks katse koos vahepealse vee segamisega, et näha kuidas mõjutab selline toiduvalmistamise juures tavapärase tegevus saasteainete püüdmistõhusust. Vett segati hoogsalt pannil 30 sekundit alates kolmandast minutist. CO₂ kontsentratsioonid kanalis on toodud joonisel 5.11, kus on ka selgelt näha

märkegaasi kontsentratsiooni langust vee segamise hetkel. See illustreerib omakorda, et reaalses olukordades mõjutavad kubude saasteainete püüdmistõhusust faktorid nagu segamine.

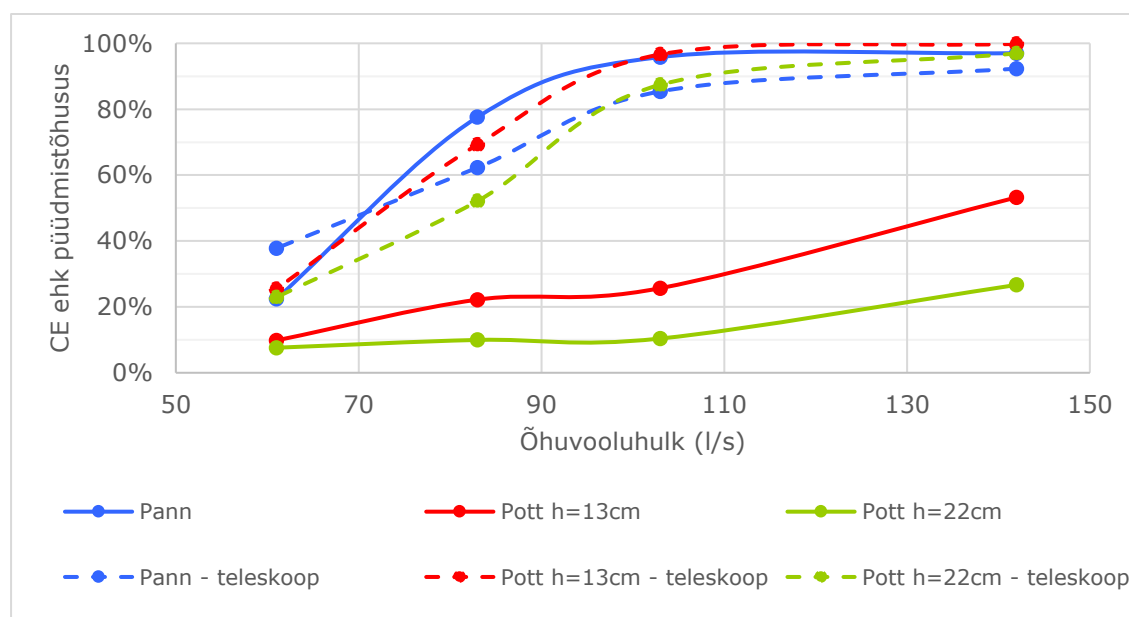


Joonis 5.11 CO₂ kontsentratsioonid kanalisis õhuvooluhulgal 142 l/s segamiskatsel

Segamise ajal on allatõmbega köögikubu püüdmistõhusus 88,4%, mis on 8,6% võrra väiksem kui ilma segamiseta olukorras.

Saasteainete eemaldamise tõhususe järeldused

Saasteainete püüdmistõhususte koondgraafik on toodud joonisel 5.12.



Joonis 5.12 Allatõmbega köögikubu saasteainete eemaldamise tõhusus

Saadud katsetulemuste põhjal saab teha järgmised järeldused:

- Tasapinnalise allatõmbega köögikubu pilu korral on saasteainete püüdmistõhusus üle 90% ainult 5 cm panni kasutamise korral alates õhuvooluhulgast 92 l/s (331 m³/h).
- Lisatud teleskoobiga on allatõmbega köögikubu saasteainete püüdmistõhusus üle 90% panni kasutamisel alates õhuvooluhulgast 123 l/s (443 m³/h), 13 cm kõrguse poti korral alates 95 l/s (342 m³/h) ning 22 cm kõrguse poti korral alates 107 l/s (385 m³/h).
- 13 cm kõrguse poti kasutamise korral on allatõmbega köögikubu originaal konfiguratsioonis õhuvooluhulgal 142 l/s (511 m³/h) CE 53% ning 22 cm kõrguse poti korral CE 27%, mis näitab, et kubu võime saasteaineid eemaldada on küllaltki ebatõhus.
- Allatõmbega köögikubu kasutamine koos teleskoobiga parandab tulemusi maksimaalsel õhuvooluhulgal 13 cm kõrguse poti kasutamisel 1,9 korda võrreldes teleskoobita olukorraga. Õhuvooluhulkadel 83 kuni 142 l/s on vahe kahe konfiguratsiooni vahel veel suurem.
- 22 cm poti kasutamise korral on tulemused lisatud teleskoobiga 3,6 korda paremad. Õhuvooluhulkadel 97 kuni 142 l/s on vahe kahe konfiguratsiooni vahel veel suurem.
- Vee segamine toiduvalmistamise ajal mõjutab püüdmistõhusust segamise hetkel peaaegu 9% võrra.

5.5 Allatõmbega köögikubu mõju toiduvalmistamisel emiteeruvate tahkete peenosakeste kontsentratsioonile

Käesolevas alapeatükis on esitatud allatõmbe köögikubuga teostatud tahkete peenosakeste mõõtmiskatsete tulemused ning nende põhjal tehtud järeldused. Tahkete peenosakeste kontsentratsiooni toiduvalmistamisel mõõdeti praadides liha 5 cm kõrguse panni ja 13 cm kõrguse potiga. Mõlema toiduvalmistamisnõuga viidi katsed läbi nii allatõmbega köögikubu originaal kui ka lisatud teleskoobi konfiguratsioonis. Köögikubu kasutades viidi katsed läbi kahel õhuvooluhulgal 61 l/s (kiirus 1) ja 142 l/s (kiirus 9). Andmete analüüsimiseks teotati katsed ka ilma allatõmbega köögikubu kasutamata, lastes tahketel peenosakestel ruumiõhuga seguneda.

Kõik katsed viidi läbi järgides peatükis 4.5 kirjeldatud meetodikat. Mõõteseade mõõtis tahkete peenosakeste kontsentratsioone PM_{1} , $PM_{2.5}$ ja PM_{10} 10 sekundilise mõõteintervalliga. Peenosakeste kontsentratsioonid on esitatud $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ühikutes. Alljärgnevates tahkete peenosakeste kontsentratsioonide tulemuste tabelites on ära toodud katse perioodil mõõdetud minimaalne, maksimaalne, keskmine, mediaan ning 5 ja 95 protsentiili väärtused. Alapeatüki lõpus on kõik katsetulemused koondatud ühele koondgraafikule (joonis 5.16).

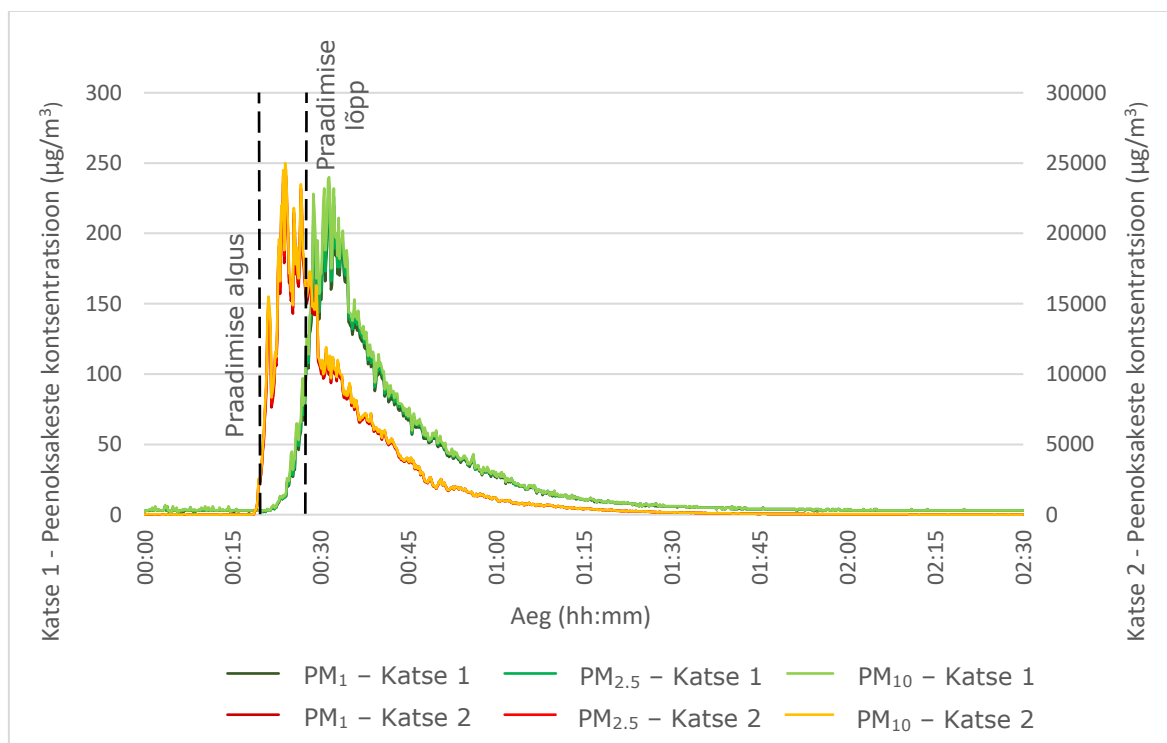
Toiduvalmistamine kubu kasutamata

Allatõmbega köögikubu kasutamata olukorra kirjeldamiseks viidi läbi kaks 2,5 tunnise mõõteperioodiga katset. Esimesel juhul järgiti katse protseduuri, teisel juhul järgiti katse käiku ainukese erinevusega, et praadimist viidi läbi kõrgemal kuumusel. Kõrgema kuumuse kasutamine tõi kaasa mõningast toidu kõrvetamist. Töös teostatud katseid saab võrrelda esimese kubuta katse tulemustega, kõrgemal kuumusel tehtud katse näitab informatiivselt kui kõrgeks tahkete peenosakeste kontsentratsioonid võivad valeda toiduvalmistamisvõtete kasutamisel ilma kubu kasutamata tõusta. Katse 1 (katse protseduuri järgides) korral saavutas tahkete peenosakeste kontsentratsioon ruumis haripunkti 16 minuti möödudes peale praadimisega alustamist. Katse 2 (katse kõrgemal kuumusel) teostades jõudis kontsentratsioonide haripunkt kätte juba 9 minuti möödudes peale praadimisega alustamist. Tabelist 5.4 on näha kui drastiliselt peenosakeste sisaldus ruumiõhus erineb. Esimese katse puhul on 90% katse perioodist $PM_{2.5}$ kontsentratsioon õhus 3 kuni $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$, teise katse korral on sama näitaja 10 kuni $12900 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 5.4 Tahkete peenosakeste sisalduse kokkuvõtte kubuta praadimiskatsetel.

Tööolukord	Peen- osakeste suurus	Minimaalne	Maksimaalne	Keskmine	Mediaan	5 %	95%
Katse 1 – katse protseduuri järgides	PM_{1} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2	222	25,3	5	3	133
	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2	229	26,1	5	3	137
	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2	240	27,0	5	3	142
Katse 2 – kõrgemal kuumusel tehtud katse	PM_{1} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7	23900	2053,9	131	10	12500
	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7	24400	2098,4	132	10	12900
	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8	25000	2125,6	132	10	13300

Järgneval joonisel 5.13 on graafiliselt esitatud tahkete peenosakeste sisaldus ruumiõhus praadimiskatsel kubu kasutamata.



Joonis 5.13 Tahkete peenosakeste PM₁, PM_{2.5} ja PM₁₀ sisaldus ruumiõhus praadimisel kubu kasutamata

Tulemustest on näha, et PM₁₀, PM_{2.5} ja PM₁ väärtused on katsetes võrreldavas suurusjärgus. Seetõttu on järgnevatel joonistel parema loetavuse mõttes käsitletud ainult PM_{2.5} sisaldust, kuna PM_{2.5} on Rahvusvahelise Tervishoiuorganisatsiooni (WHO) järgi prioriteetne siseõhu saasteaine. Kuigi PM₁ ei ole piirmäärasid seatud nagu seda on tehtud PM_{2.5} kontsentratsioonidele, on tulemustes ära toodud ka mõõdetud PM₁ kontsentratsioonid kuna nende sisaldus õhus on inimorganismile veel ohtlikum. Seatud piirmäärad on antud pikema ajaperioodi keskmiste kontsentratsioonide kujul, seega ei saa tulemusi üks ühele võrrelda lühiajaliste toiduvalmistamise tegevustega. Sellegipoolest on järgnevatel peenosakeste kontsentratsioone illustreerivatel joonistel informatiivsetel põhjustel ära toodud PM_{2.5} 24-tunni piirmäär. Tegelik peenosakestega kokkupuude ööpäeva jooksul on iga inimese puhul väga individuaalne, suuresti mõjutavad seda faktorid nagu töö- ja elukeskkond, toiduvalmistamisharjumused, eluviis (suitsetamine) jms. Töös tehtud katsete abil saab võrrelda erinevate tööolukordade omavahelisi erinevuseid ja seda kas ning kui palju mõjutab kubu kasutamine ruumiõhus peenosakeste kontsentratsioone.

Toiduvalmistamine kubu õhuvooluhulgal 61 l/s

Allatõmbega köögikubu esimese kiiruse (õhuvooluhulk 61 l/s) tulemuste saamiseks viidi läbi neli 2,5 tunnise mõõteperioodiga katset. Katsed viidi läbi järgnevatel tööolukordades:

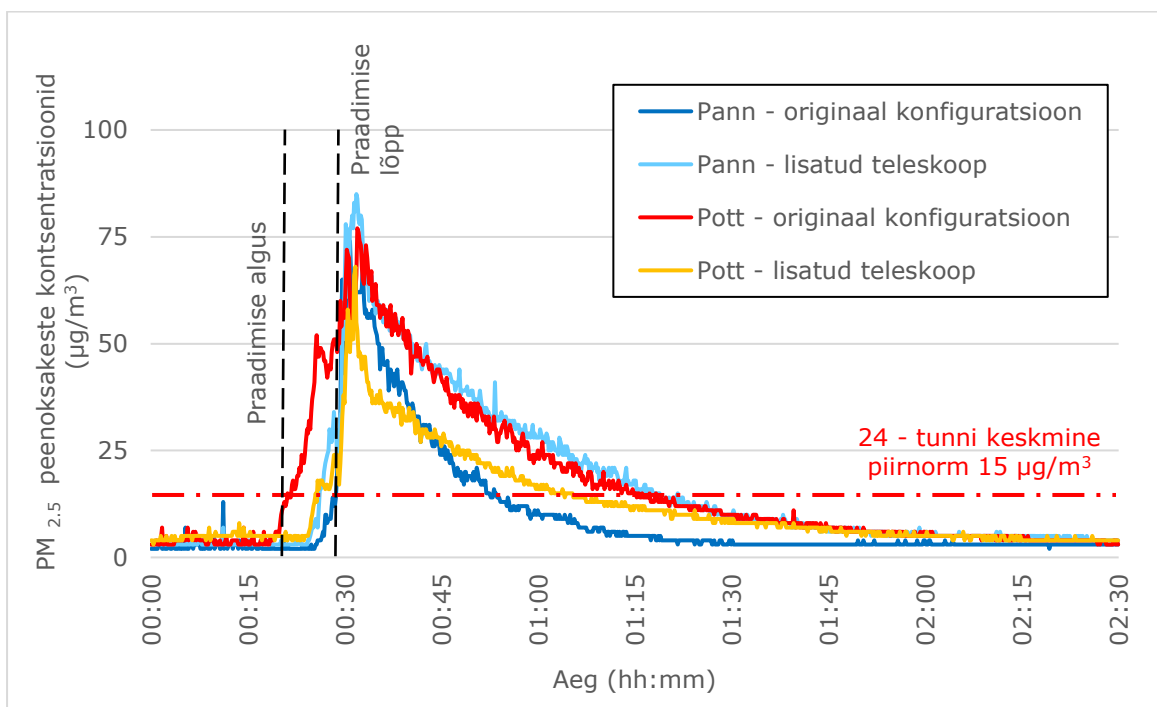
- toiduvalmistamine 5 cm kõrgusel pannil kubu originaal konfiguratsioonis;
- toiduvalmistamine 5 cm kõrgusel pannil lisatud teleskoobiga konfiguratsioonis;
- toiduvalmistamine 13 cm kõrguses potis kubu originaal konfiguratsioonis;
- toiduvalmistamine 13 cm kõrguses potis lisatud teleskoobiga konfiguratsioonis.

Kõigi nelja katse puhul jõudis tahkete peenosakeste sisaldus haripunkti peale praadimisega lõpetamist küllaltki samal ajahetkel. Tulemustest selgub, et kõige vähem peenosakesi jõuab ruumiõhuga seguneda panni kasutamisel kubu originaal konfiguratsioonis. Väljatõmbe ava kaugenemisel (teleskoobi lisamisel) saasteainete tekke asukohast samad parameetrid suurenevad umbes 1,7 korda. 13 cm kõrguse potis liha praadimisel on tulemused vastupidised kuid loogika on sama, lähemal asuv väljatõmbe pilu suudab paremini eemaldada tahked peenosakesed enne ruumiõhuga segunemist. Teleskoobi lisamine annab umbes 1,4 korda väiksemad peenosakeste kontsentratsioonid õhus võrreldes originaal konfiguratsioonis saadud tulemustega. Täpsemad tulemused on toodud erinevate tööolukordade kohta järgnevas tabelis 5.5.

Tabel 5.5 Tahkete peenosakeste sisalduse kokkuvõtte õhuvooluhulgal 61 l/s praadimiskatsel.

Tööolukord	Peen- osakeste suurus	Minimaalne	Maksimaalne	Keskmine	Mediaan	5 %	95%
Pann - originaal konfiguratsioon	PM ₁ (µg/m ³)	2	72	9,2	3	2	42
	PM _{2.5} (µg/m ³)	2	74	9,4	3	2	43
	PM ₁₀ (µg/m ³)	2	75	9,6	3	2	45
Pann - lisatud teleskoop	PM ₁ (µg/m ³)	3	83	16,1	8	3	53
	PM _{2.5} (µg/m ³)	3	85	16,4	8	3	55
	PM ₁₀ (µg/m ³)	3	92	16,9	8	3	58
Pott - originaal konfiguratsioon	PM ₁ (µg/m ³)	3	74	16,4	9	3	53
	PM _{2.5} (µg/m ³)	3	77	17,0	9	3	56
	PM ₁₀ (µg/m ³)	3	79	17,3	9	4	57
Pott – lisatud teleskoop	PM ₁ (µg/m ³)	3	67	11,8	7	4	34
	PM _{2.5} (µg/m ³)	3	68	11,9	7	4	35
	PM ₁₀ (µg/m ³)	4	68	12,0	7	4	35

Järgneval joonisel 5.14 on graafiliselt esitatud tahkete peenosakeste sisaldus ruumiõhus allatõmbega köögikubu esimesel kiirusel.



Joonis 5.14 Tahkete peenosakeste PM_{2.5} sisaldus praadimisel ruumiõhus kuhu õhuvooluhulgal 61 l/s

Toiduvalmistamine kuhu õhuvooluhulgal 142 l/s

Allatõmbega köögikubu üheksanda kiiruse (õhuvooluhulk 142 l/s) olukorra kirjeldamiseks viidi läbi neli 2,5 tunnise mõõteperioodiga katset. Katsed viidi läbi järgnevates tööolukordades:

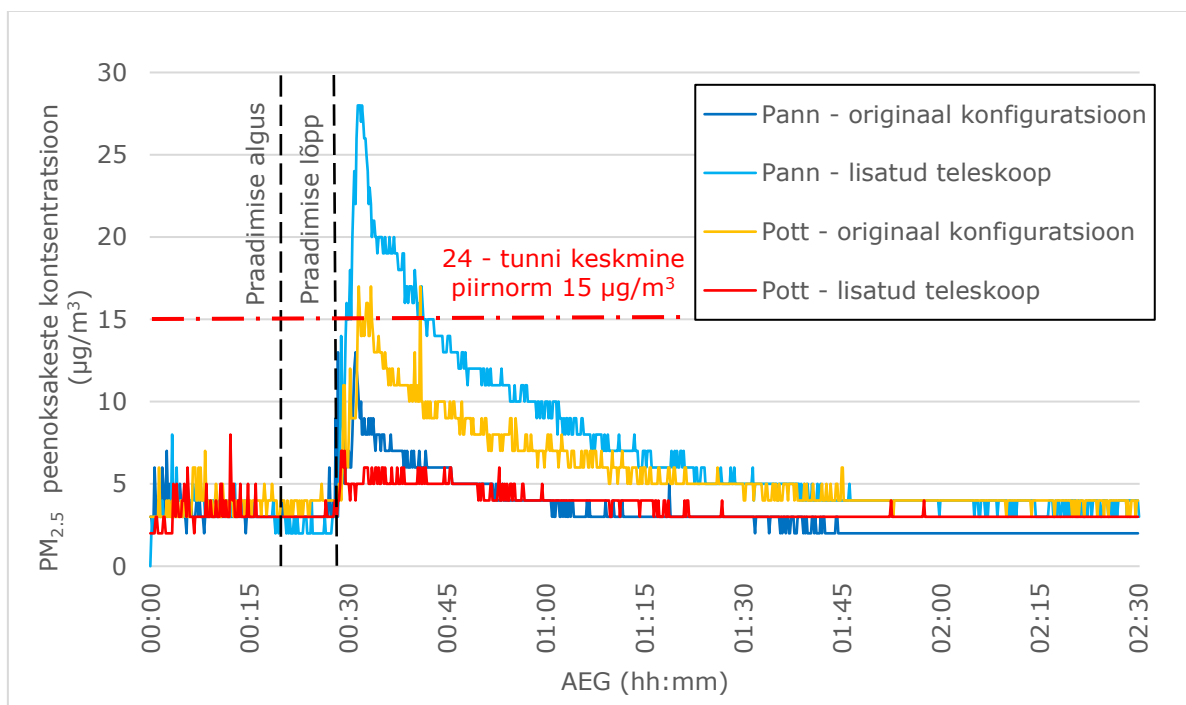
- toiduvalmistamine 5 cm kõrgusel pannil kuhu originaal konfiguratsioonis;
- toiduvalmistamine 5 cm kõrgusel pannil lisatud teleskoobiga konfiguratsioonis;
- toiduvalmistamine 13 cm kõrguses potis kuhu originaal konfiguratsioonis;
- toiduvalmistamine 13 cm kõrguses potis lisatud teleskoobiga konfiguratsioonis.

Kõige intensiivsema äratõmbe kiiruse kasutamisel on näha samasugust mustrit nagu kõige madalamal allatõmbega köögikubu kiirusel. Toiduvalmistamisel pannil on peenosakeste kontsentratsioon ruumiõhus teleskoobi kasutamisel umbes 2 korda suurem võrreldes originaal asendiga. Pliidiplaadiga tasa olev äratõmbe pilu suudab efektiivsemalt eemaldada praadimisel tekkivad peenosakesed. Potis liha praadimisel jõuab väljatõmbesse lisatud teleskoobiga umbes 1,6 korda rohkem peenosakesi kui kuhu originaal konfiguratsioonis. Lisatud teleskoobi äratõmbe ava asub saasteainete allika suhtes soodsamas asukohas. Täpsemad tulemused on toodud erinevate tööolukordade kohta tabelis 5.6.

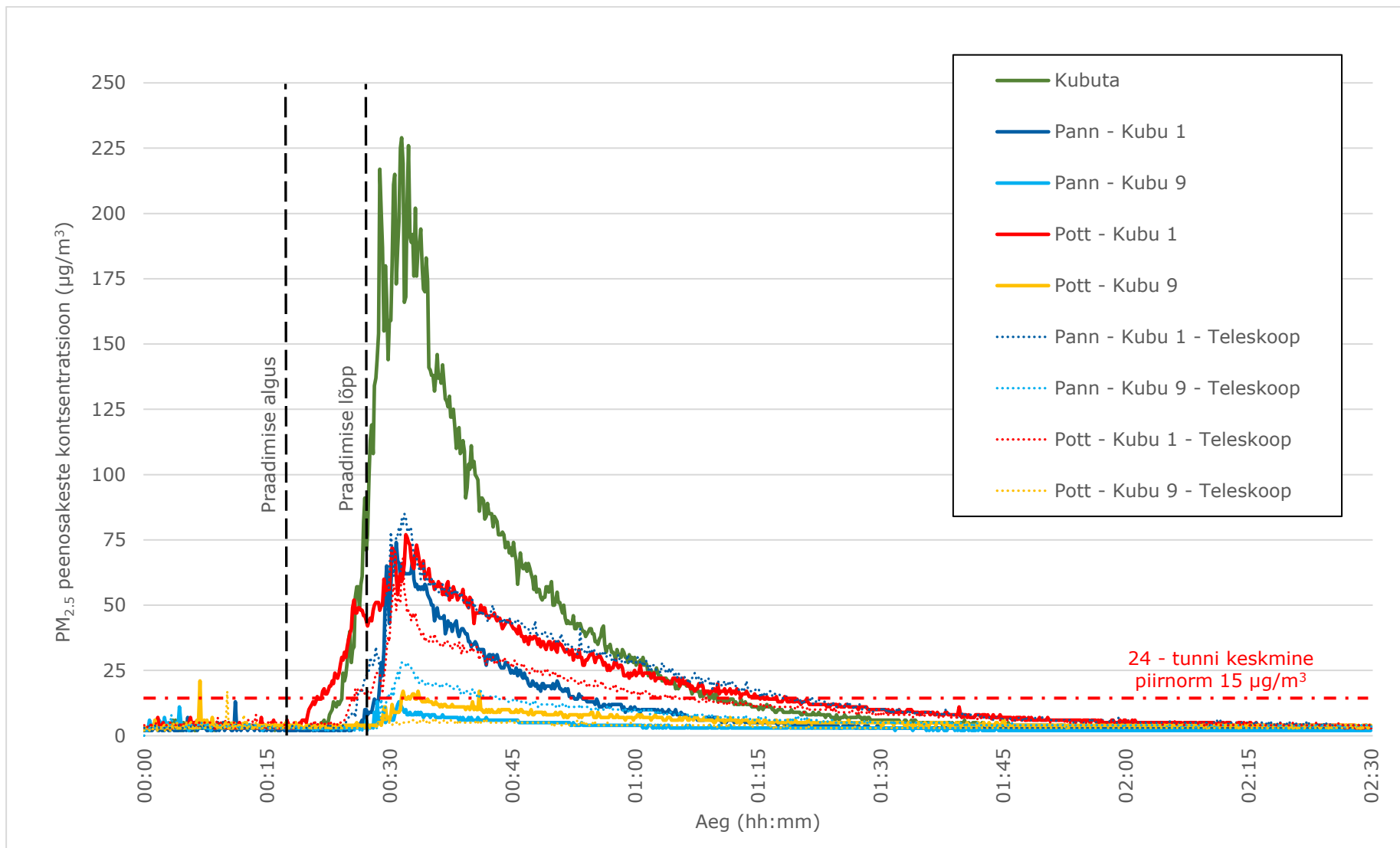
Tabel 5.6 Tahkete peenosakeste sisalduse kokkuvõte õhuvooluhulgal 142 l/s praadimiskatsel.

Töölukord	Peenosakeste suurus	Minimaalne	Maksimaalne	Keskmine	Mediaan	5 %	95%
Pann - originaal konfiguratsioon	PM ₁ (µg/m ³)	2	13	3,3	3	2	7
	PM _{2.5} (µg/m ³)	2	13	3,3	3	2	7
	PM ₁₀ (µg/m ³)	2	15	3,4	3	2	7
Pann - lisatud teleskoop	PM ₁ (µg/m ³)	2	28	6,6	4	3	18
	PM _{2.5} (µg/m ³)	2	28	6,7	4	3	18
	PM ₁₀ (µg/m ³)	2	30	6,8	4	3	19
Pott - originaal konfiguratsioon	PM ₁ (µg/m ³)	3	17	5,4	4	3	11
	PM _{2.5} (µg/m ³)	3	17	5,5	4	3	11
	PM ₁₀ (µg/m ³)	3	18	5,6	5	3	11
Pott - lisatud teleskoop	PM ₁ (µg/m ³)	2	8	3,5	3	3	5
	PM _{2.5} (µg/m ³)	2	8	3,5	3	3	5
	PM ₁₀ (µg/m ³)	2	9	3,6	3	3	5

Järgneval joonisel 5.15 on graafiliselt esitatud tahkete peenosakeste sisaldus ruumiõhus allatõmbega köögikubu maksimaalsel kiirusel.



Joonis 5.15 Tahkete peenosakeste PM_{2.5} sisaldus praadimisel ruumiõhus kuhu õhuvooluhulgal 142 l/s



Joonis 5.16 Tahkete peenosakeste PM_{2.5} sisaldus ruumiõhus praadimiskatsetel

Tahkete peenosakeste kontsentratsiooni mõõtmise järeldused

Maksimaalsel õhuvooluhulgal 142 l/s liha praadimine tõstis umbes 2,9 korda vähem tahkete peenosakeste kontsentratsiooni ruumiõhus kui õhuvooluhulgal 61 l/s toiduvalmistamine. Sellegipoolest isegi kõige väiksemal seadel suutis allatõmbega köögikubu eemaldada praadimisel tekkivatest tahketest peenosakestest peaaegu poole rohkem saasteaineid võrreldes kubu kasutamata jätmisega. Täpsed andmed antud võrdluste tegemiseks on toodud tabelis 5.7.

Tabel 5.7 Kubuta katse ja kahe erineva õhuvooluhulga tööolukordade keskmised PM_{2.5} kontsentratsioonid ruumiõhus

	Kubuta katse	Õhuvooluhulk 61 l/s	Õhuvooluhulk 142 l/s
Katsete keskmine PM _{2.5} kontsentratsioon (µg/m ³)	26,1	13,7	4,8

Saadud katsetulemuste põhjal saab teha järgmised järeldused:

- Allatõmbega köögikubu kasutamine vähendab ruumiõhus tahkete peenosakeste kontsentratsioone 1,9 korda kasutades köögikubu õhuvooluhulgal 61 l/s (220 m³/h) ning 5,4 korda õhuvooluhulgal 142 l/s (511 m³/h) võrreldes kubu kasutamata jätmisega.
- Toiduvalmistamisel äratõmbe vooluhulgal 142 l/s (511 m³/h) seguneb ruumiõhku keskmiselt 2,9 korda vähem tahkeid peenosakesi kui kubu õhuvooluhulgal 61 l/s (220 m³/h).
- Väljatõmbe pilu lähemal asetus peenosakeste tekkekoha suhtes tagab väiksemad tahkete peenosakeste kontsentratsioonid õhus ehk parema ruumiõhu kvaliteedi. Panniga praadimisel on kontsentratsioonid ruumiõhus väiksemad allatõmbe köögikubuga, mille pilu asetseb tasapinnas. Potiga toiduvalmistamisel on tulemused paremad lisatud teleskoobi konfiguratsioonis.
- Valede toiduvalmistamisviiside kasutamisel ning produkti kõrvetamisel tõuseb peenosakeste kontsentratsioon ruumiõhus väga kõrgele tasemele.

5.6 Allatõmbega köögikubu müratase

Allatõmbega köögikubu poolt tekitatavat müra mõõdeti kahel juhul – avatud ning suletud külgedega katsestendiga, mis aitas imiteerida köögimööblit, mis tavatingimustes köögitehnika ümber paikneb. Mõlemal variandil mõõdeti müra kolmest positsioonist kolmel erineval õhuvooluhulgal vastavalt peatükis 4.6 kirjeldatud meetodikale. Tulemused on toodud järgnevas tabelis 5.8.

Tabel 5.8 Allatõmbe köögikubuga mõõdetud müra erinevates positsioonides avatud ja suletud katsestendi külgedega

Katsestendi variant	Õhuvooluhulk (l/s)	Müra (dbA) Positsioon 1	Müra (dbA) Positsioon 2	Müra (dbA) Positsioon 3
Avatud küljed	61 (kiirus 1)	38,7	40	43,4
	103 (kiirus 5)	52	53,4	55,7
	142 (kiirus 9)	58,7	59,4	62,7
Suletud küljed	61 (kiirus 1)	37,5	37,8	42,1
	103 (kiirus 5)	50,1	50,4	55,5
	142 (kiirus 9)	57,1	57,3	61,5

Tulemustest selgub, et suletud külgedega katsestendi kasutamise korral on seadmest ühe meetri kaugusel tulemused umbes 1-2 dbA väiksemad võrreldes avatud katsestendiga mõõdetud tulemustega. Tootja poolt on antud toote müratasemeteks kiirusele 1 vastavalt 44 dbA, kiirusele 5 vastavalt 54 dbA ning kiirusele 9 vastavalt 62 dbA. Kuigi tulemusi üks ühele deklareerituga kõrvutada ei saa, on sellegipoolest näha, et tulemused on samas või väiksemas suurusjärgus. Deklareeritud müratasemed on tavakasutajale õigete paigaldusviiside korral hõlpsasti ruumis saavutatavad. Autori subjektiivsel arvamusel ei olnud müratase allatõmbega köögikubu kasutamisel ebameeldiv või pliidiplaadi kohale paigaldatud kubudest märgatavalt erinev. Mõõdetud ja deklareeritud müratasemed ei ole köögikubude maastikul kindlasti ebanormaalselt kõrged. Üks peamiseid müraallikaid, ventilaator, asub ruumis nagu ka enamikel pliidi kohal paiknevatel kubudel, seega ei ole erinevus kahe erineva kubu tüübi puhul üleüldiselt märgatav. Suuremad erinevused võivad esineda juba konkreetsete toodete võrdlemisel teineteisega.

6. JÄRELDUSED

Käesolevas peatükis on väljatoodud mõned suunised, millega tuleks arvestada allatõmbega köögikubu lahenduse kasuks otsustamise korral. Kokkuvõtlikult on toodud kogu käesoleva magistritöö raames tehtud järeldused, pikemalt on tehtud lõputöö eesmärkidest, tulemustest ning nende kontekstist juttu lõputöö kokkuvõttes. Detailsemad järeldused kasutatud meetodikate kohta on toodud tulemuste peatükis.

Allatõmbega köögikubu planeerimisel elamu kööki tuleb arvestada suurte õhuvooluhulkadega, mis on vajalikud seadme korrektseks toimimiseks. Ülioluline on tagada ruumis kompensatsiooniõhk, et vältida liigset alarõhu tekkimist ja tagada piisavad õhuvooluhulgad kanalid kuhu korrektseks tööks. Olukorras, kus kompensatsiooniõhu tagamine ei ole võimalik, on võimalik kasutada olenevalt mudelist allatõmbega köögikubusid ka siseriingluse seades. Kuigi antud lõputöös allatõmbega köögikubu tsirkuleerivas konfiguratsioonis ei katsetatud, toimivad kirjandusest leitava informatsiooni põhjal väljatõmbekubud paremini kui tsirkuleerivate lahendustega köögikubud. Väljatõmbekubu projekteerimisel tuleb arvestada ka sellega, et ventilatsioonikanal saaks õigesti dimensioneeritud ja planeeritud võimalikult väikese takistusega. Paljud tootjad on kanali minimaalseks diameetriks välja toonud 150 mm. Oluline on tähelepanu pöörata ka süsteemi takistusele, näiteks vale välisresti valik võib mõjutada väga drastiliselt õhuvooluhulki. Samuti võib suur takistus põhjustada täiendavalt müra.

Järgnevalt on toodud magistritöö raames saadud katseandmete põhjal järeldused:

- Teleskoobi konfiguratsioonis allatõmbega köögikubu on võimeline mõjutama õhuvoolu kiiruseid saasteainete tekkimise piirkonnas rohkem võrreldes tasapinnas asuva äratõmbe piluga. Seda välja arvatud juhul kui saasteained tekivad madala (5 cm kõrguse) panni kõrgusel. Panni kasutamise korral on õhuvoolu kiirused anuma kohal suuremad äratõmbe piluga, mis asub pliidiplaadiga samas tasapinnas.
- 5 cm kõrguse panni kasutamisel saab allatõmbega köögikubu hästi hakkama tekkivate saasteainete eemaldamisega.
- Pottide kasutamisel on saasteainete äratõmme ebatõhus, teleskoobi lisamine parandab tulemusi maksimaalsel õhuvooluhulgal 13 cm kõrguse poti kasutamisel peaaegu kaks korda võrreldes teleskoobita olukorraga. 22 cm kõrguse poti korral on sama kordaja 3,6.

- Vee segamine toiduvalmistamise ajal mõjutab püüdmistõhusust segamise hetkel peaaegu 9% võrra.
- Väljatõmbe pilu lähemal asetus peenosakeste tekkekoha suhtes tagab väiksemad tahkete peenosakeste kontsentratsioonid õhus ehk parema ruumiõhu kvaliteedi.
- Müratase allatõmbega köögikubu kasutamisel ei ole pliidiplaadi kohale paigaldatud kubudest märgatavalt erinev.

Kokkuvõtlikult saab öelda, et antud tehnoloogia puhul toimiks kõige paremini teleskoobiga allatõmbe köögikubu, mille teleskoobi kõrgus on reguleeritav.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli eksperimentaalselt uurida allatõmbega köögikubu toimivust erinevates tööolukordades. Eesmärgi täitmiseks hinnati lõputöös kvalitatiivselt suitsukatsete abil allatõmbega köögikubu äratõmme, eksperimentaalselt toiduvalmistamisel tekkivate saasteainete eemaldamise tõhusust ning toiduvalmistamise mõju õhukvaliteedile tahkete peenosakeste mõõtmise teel. Lisaks mõõdeti informatiivsetel eesmärgil allatõmbega köögikubu mürataset.

Katsete läbiviimiseks ehitati katsestend, kuhu oli ühendatud väljatõmbe konfiguratsioonis allatõmbega köögikubu. Seade ise oli integreeritud pliidiplaati viisil, et äratõmbe pilu asetseb pliidiplaadiga samas tasapinnas. Katsete käigus mõõdeti samu näitajaid erinevates olukordades. Andmete töötamise käigus on võrreldud oma vahel nii erinevate kõrgustega toiduvalmistamisnõude mõju kui ka teleskoobi lisamise mõju allatõmbega köögikubu toimivusele. Lisatav teleskoop, mille abil toodi äratõmbe pilu 30 cm kõrgusele pliidiplaadist, aitas vastused leida küsimustele – kas ja kuidas teleskoobi lisamine tasapinnalisele allatõmbega köögikubule mõjutab selle toimivust.

Allatõmbega köögikubu mõjutab õhuvoolusid saasteainete tekkimise piirkonnas küllaltki suures vahemikus. Olukorras, kus toiduvalmistamisnõu ülemine äär on äratõmbe pilust märgatavalt kõrgemal, ei ole õhuvoolu kiirus pliidi kohal piisavalt suur, et ületada toiduvalmistamisel tekkiva sooja õhu konvektsiooni. Toiduvalmistamisel tekkivad aurud tõusevad anuma kohalt aina kõrgemale ja hakkavad ruumiõhuga intensiivsemalt segunema. Madala panni kasutamise korral on saasteainete äratõmme hea, konvektiivne õhuvool murtakse ning suur osa saasteainetest jõuab äratõmbe kanalisse. Äratõmbe ava kõrgemale tõstmine teleskoobi lisamise abil parandab allatõmbega köögikubu toimivust märgatavalt. Kvalitatiivse hinnangu katsetulemustest joonistub välja tõsiasi, et kõrgemate toiduvalmistamisnõude korral jõuab üha suurem hulk nähtavast aurust teleskoobis asuvasse äratõmbe kanalisse, mis varasemalt ilma teleskoobita sinna ei jõudnud. Teleskoobi konfiguratsioonis on allatõmbega köögikubu võimalik tekitama suuremaid õhuvoolu kiiruseid saasteainete tekkimise piirkonnas.

Saasteainete püüdmistõhususe leidmiseks erinevatele tööolukordadele viidi läbi katsed, mille käigus simuleeriti toiduvalmistamisel tekkivaid saasteaineid märkegaasi abil. Püüdmistõhususe moodustas kuhu poolt eemaldatud süsihappegaasi massivoolu suhe pliidil asetsevasse toiduvalmistamisnõusse emiteeritud CO₂ kogusesse. Tasapinnalise allatõmbega köögikubu pilu korral saavutatakse väga hea (>90%) saasteainete püüdmistõhusus olukorras, kus kasutatakse 5 cm kõrgust panni alates õhuvooluhulgast

92 l/s (331 m³/h). 13 cm kui ka 22 cm kõrguse poti korral ei saavutata ühegi võimaliku õhuvooluhulga juures nii head tulemust. Teleskoobi lisamine allatõmbega köögikubule parandab püüdmistõhusust 13 cm kõrguse poti kasutamisel maksimaalsel kiirusel ligi 2 korda, mille korral on püüdmistõhusus ligilähedane ideaalsele tulemusele. Peaaegu kogu emiteeritav saasteainete kogus eemaldatakse pliidi kohalt. 22 cm kõrguse poti kasutamisel on sama kordaja 3,6, mis näitab väga suurt vahet kahe konfiguratsiooniga saadud tulemuste vahel. Ainult madala panni kasutamise korral saab tähendada, et õhuvooluhulkade suurenemisel teleskoobiga mõõdetud püüdmistõhusus on väiksem võrreldes kuhu originaal konfiguratsioonis leitud tulemustega. Toiduvalmistamisel sagedane tegevus - segamine, vähendab segamise hetkel püüdmistõhusust peaaegu 9% võrra.

Ruumiõhku segunevate tahkete peenosakeste kontsentratsioone mõõdeti liha praadimisel erinevates katseolukordades. Mõõtmistulemused kinnitasid püüdmistõhususe arvutamisel leitud tendentse. Väljatõmbe pilu lähemal asetus peenosakeste tekkekoha suhtes tagab väiksemad tahkete peenosakeste kontsentratsioonid õhus ehk parema ruumiõhu kvaliteedi. Panniga praadimisel on kontsentratsioonid ruumiõhus väiksemad allatõmbe köögikubuga, mille pilu asetseb tasapinnas. Potiga toiduvalmistamisel on tulemused paremad lisatud teleskoobi konfiguratsioonis. Allatõmbega köögikubu kasutamisel õhuvooluhulgal 142 l/s (511 m³/h) on kontsentratsioonid ruumis keskmiselt 5,4 korda väiksemad võrreldes kuhu kasutamata jätmisega.

Informatiivsel eesmärgil mõõdetud müratasemed ega ka tootjate poolt deklareeritud müratasemed ei ole köögikubude maastikul kindlasti ebanormaalselt kõrged. Autori subjektiivsel arvamusel ei olnud müratase allatõmbega köögikubu kasutamisel ebameeldiv või pliidiplaadi kohale paigaldatud kubudest märgatavalt erinev. Kuigi üks ühele mõõdetud tulemusi deklareerituga kõrvutada ei saa, näeme, et mõõdetud tulemused on samas või väiksemas suurusjärgus.

Magistritöö raames tehtud katsete põhjal saab jõuda järelduseni, et allatõmbega köögikubu toimivus on kõige parem olukorras, kus äratõmbe ava asub toiduvalmistamisnõuga samal kõrgusel või sellest pisut kõrgemal. Liigne kõrgus ei ole samuti hea kuna olukorras, kus 5 cm kõrgune pann asus 30 cm kõrguse teleskoobi ees, oli kõrgemale tõstetud äratõmbe ava mõju tulemustele juba negatiivne.

Kõiki katsetulemusi arvesse võttes saab kokkuvõtlikult öelda, et antud tehnoloogia puhul toimiks kõige paremini teleskoobiga allatõmbe köögikubu, mille teleskoobi kõrgus on reguleeritav.

SUMMARY

The objective of this thesis was to experimentally study the performance of a downdraft kitchen hood in different operating conditions. To fulfill the objective, the thesis qualitatively evaluated the extraction of the downdraft kitchen hood using smoke tests, experimentally assessed the efficiency of removing pollutants generated during cooking, and measured the impact of cooking on air quality by measuring fine particles using the downdraft kitchen hood. Additionally, the noise level of the downdraft kitchen hood was measured.

The results of the study revealed that the efficiency of removing pollutants depends significantly on the airflow rate of the downdraft kitchen hood. The capture efficiency (CE) values ranged from 7.6% to 99.8%, depending on the operating conditions. The highest CE values were achieved at the maximum airflow rate of 142 l/s, especially when using a pot with a height of 13 cm or 22 cm in combination with the telescopic extension. In the original configuration, the CE values for pots were significantly lower, indicating that the location of the extraction slot relative to the cooking zones is crucial for efficient pollutant removal.

The measurement of fine particles in the room air during cooking showed that the use of a downdraft kitchen hood significantly reduces the concentration of fine particles compared to not using a hood. At the lowest airflow rate (61 l/s), the concentration of PM_{2.5} particles was reduced by 1.9 times, and at the highest airflow rate (142 l/s), by 5.4 times. It was also found that the closer the extraction slot is to the source of the pollutants, the lower the concentration of fine particles in the room air.

The noise level measurements of the downdraft kitchen hood showed that the noise level increases with increasing airflow rate. However, even at the highest airflow rate, the measured noise level did not exceed the limit values specified in the standard. Having the sides of the device covered decreases the noise level approximately by 1-2 dbA.

In conclusion, this thesis provides valuable insights into the performance of downdraft kitchen hoods in realistic conditions. The results highlight the importance of proper hood selection, installation, and usage for effective pollutant removal and maintaining good indoor air quality. The findings of this study can be used to improve the design and installation guidelines of downdraft kitchen hoods and to inform consumers about their proper use.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Abdullahi, K. L., Delgado-Saborit, J. M., & Harrison, R. M. (2013). Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. *Atmospheric Environment*, 71, 260–294. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.061>
- [2] Vardoulakis, S., Giagloglou, E., Steinle, S., Davis, A., Sleenwenhoek, A., Galea, K., ... Crawford, J. (2020). Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238972>
- [3] Jones, N. C., Thornton, C. A., Mark, D., & Harrison, R. M. (2000). Indoor/outdoor relationships of particulate matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations. *Atmospheric Environment*, 34(16), 2603–2612. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00489-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00489-6)
- [4] Singer, B. C., Delp, W. W., Price, P. N., & Apte, M. G. (2012). Performance of installed cooking exhaust devices. *Indoor Air*, 22(3), 224–234. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00756.x>
- [5] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus (2011). *Majapidamises kasutatavad õhupuustusseadmed ja muud toiduvalmistusaurude äratõmbevahendid. Toimivuse mõõtemetodid* (EVS-EN 61591:2002/A2:2011). <https://www.evs.ee/en/evs-en-61591-2002-a2-2011>
- [6] Kuehn, T., Ramsey, J. W., Han, H., Perkovich, M., & Yuossef, S. (1989). A study of kitchen range exhaust systems. *Ashrae Transactions*, Vol 95, Part 1, 1989. <https://www.aivc.org/resource/study-kitchen-range-exhaust-systems>
- [7] Parrott, K., Emmel, J., & Beamish, J. (2003). Use of Kitchen Ventilation: Impact on Indoor Air Quality. *The Forum Journal*. Vol 8, No. 1. <https://www.theforumjournal.org/2003/01/04/use-of-kitchen-ventilation-impact-on-indoor-air-quality/>

- [8] Singer, B., Delp, W., & Apte, M. (2011). Experimental Evaluation of Installed Cooking Exhaust Fan Performance. *Lawrence Berkeley National Laboratory: Energy Technologies*. <https://doi.org/10.2172/1004216>
- [9] Clark, J. D., Walker, I. S., & Rojas, G. (2018). Measured pollutant removal performance of range-integrated downdraft exhaust kitchen ventilation device. *Lawrence Berkeley National Laboratory: Energy Technologies*. <https://escholarship.org/uc/item/48w328z1>
- [10] Kim, Y.-S., Walker, I. S., & Delp, W. W. (2018). Development of a standard capture efficiency test method for residential kitchen ventilation. *Science and Technology for the Built Environment*, 24(2), 176–187. <https://doi.org/10.1080/23744731.2017.1416171>
- [11] Jacobs, P., & Borsboom, W. (2019). Test method for measuring pollutant removal of induction cooktop with integrated downdraft. *ISES-ISIAQ Conference*. Kaunas, Lithuania. <https://www.semanticscholar.org/paper/Test-method-for-measuring-pollutant-removal-of-with-Jacobs-Borsboom/39a1fe8414e97114d89f244b7e0df87ad2101a54>
- [12] Alvestad, I. (2022). *Experimental study comparing recirculating and extracting range hoods in terms of exposure in open kitchen-living rooms* [Magistritöö, Oslo Metropolitan University]. OsloMet - storbyuniversitetet. <https://hdl.handle.net/11250/3023323>
- [13] Kang, K., Kim, H., Kim, D. D., Lee, Y. G., & Kim, T. (2019). Characteristics of cooking-generated PM10 and PM2.5 in residential buildings with different cooking and ventilation types. *Science of The Total Environment*, 668, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.316>
- [14] Abel, E., Voll, H., & Tark, T. (2014). *Hoonete energiatarve ja sisekliima*. EKVÜ.
- [15] Oh, H.-J., Jeong, N.-N., Sohn, J.-R., & Kim, J. (2019). Personal exposure to indoor aerosols as actual concern: Perceived indoor and outdoor air quality, and health performances. *Building and Environment*, 165, 106403. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106403>

- [16] Eelnõude infosüsteem (2021). *Hoone sisekliimale esitatavad nõuded*. <https://eelnoud.valitsus.ee/main/mount/docList/e6cb71b2-e7f3-49cc-bc1e-dd8a80b0b6c9?activity=1#WWPxbJvH>
- [17] Kumar, P., Hama, S., Abbass, R. A., Nogueira, T., Brand, V. S., Wu, H.-W., ... Shiva Nagendra, S. M. (2022). CO2 exposure, ventilation, thermal comfort and health risks in low-income home kitchens of twelve global cities. *Journal of Building Engineering*, 61, 105254. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105254>
- [18] Kashtan, Y. S., Nicholson, M., Finnegan, C., Ouyang, Z., Lebel, E. D., Michanowicz, D. R., ... Jackson, R. B. (2023). Gas and Propane Combustion from Stoves Emits Benzene and Increases Indoor Air Pollution. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9653–9663. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09289>
- [19] Davies, H. L., O'Leary, C., Dillon, T., Shaw, D. R., Shaw, M., Mehra, A., ... Carslaw, N. (2023). A measurement and modelling investigation of the indoor air chemistry following cooking activities. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 25(9), 1532–1548. <https://doi.org/10.1039/D3EM00167A>
- [20] American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers (2022). Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings. (ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2022). <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- [21] Home Ventilating Institute. *How Much Ventilation Do I Need?* <https://www.hvi.org/resources/publications/home-ventilation-guide-articles/how-much-ventilation-do-i-need/>
- [22] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus (2023). *Toiduvalmistusaurude äratõmbevahendid. Toimivuse mõõtemetodid* (EVS-EN IEC 61591:2023). <https://www.evs.ee/et/evs-en-iec-61591-2023>
- [23] *Joonis 3.1 Allatõmbega köögikubud (a- pliidiplaadiga tasa olev allatõmbega köögikubu)* [Foto]. From Küchen Staude (May 15, 2024). <https://www.kuechenstaude.de/magazin/trends/kochfeldabzuege-vergleich-2021-miele-bora-berbel/>

- [24] Joonis 3.1 Allatõmbega köögikubud (b- pliidiplaadist kõrgemale tõusev kubu) [Foto]. From My Area Design (May 15, 2024). <https://www.myareadesign.it/en/appliances/hoods-of-design/worktop-hoods/novy-induction-hob-with-extractor-hood-one-pro.2.1.263.gp.47081.uw>
- [25] Joonis 3.2 Allatõmbega köögikubud (a- pliidiplaadist eraldi seisev allatõmbega köögikubu) [Foto]. From Franke (May 15, 2024). <https://www.franke.com/ee/et/home-solutions/tooted/ohupuhastid/product-detail-page.html/110.0365.588.html>
- [26] Joonis 3.2 Allatõmbega köögikubud (b- pliidiplaadi keskele integreeritud kubu) [Foto] From Elica (May 15, 2024). <https://pood.e-sisustus.ee/shop/koogitehnika/pliidiplaadid/induktsioon-pliidiplaadid/elica-83cm-induktsioonpliidiplaat-koos-ohupuhastiga-nikolatesla-hp-blf83/>
- [27] Wolbrink, D. W., & Sarnosky, J. R. (1992). Residential Kitchen Ventilation - A guide for the Specifying Engineer. *ASHRAE Transactions: Symposia* AN-92- 16-1, 1187-1 198. https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_5658.pdf
- [28] Han, O., Li, A., & Kosonen, R. (2019). Hood performance and capture efficiency of kitchens: A review. *Building and Environment*, 161, 106221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106221>
- [29] Cao, C., Xie, W., Xia, Y., & Gao, J. (2022). Direct capture efficiency of range hoods in the confined kitchen space. *Building Simulation*, 15(10), 1799–1813. <https://doi.org/10.1007/s12273-022-0898-8>
- [30] Delp, W. W., & Singer, B. C. (2012). Performance Assessment of U.S. Residential Cooking Exhaust Hoods. *Environmental Science & Technology*, 46(11), 6167–6173. <https://doi.org/10.1021/es3001079>
- [31] Maggiorana, P., Rossi, G., Morettini, N., Marinelli, F., & Morgante, U. (2003). Measurement and Modelling Techniques to Approach the Problem of Noise Reduction of Domestic Range Hood, 89. https://www.researchgate.net/publication/264841077_Measurement_and_Modelli

ng_Techniques_to_Approach_the_Problem_of_Noise_Reduction_of_Domestic_Range_Hood

- [32] Mõõtmise meetodid elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja müra taseme mõõtmise meetodid (2020). RT I, 29.12.2020, 47
<https://www.riigiteataja.ee/akt/163756?leiaKehtiv>
- [33] *Joonis 4.3 Falmece Brera allatõmbega köögikubu* [Foto]. From Falmece (15 May, 2024). <https://www.falmece.com//et-ee/tooted/brera-292/>
- [34] Testo 440 dP air velocity and IAQ measuring instrument including differential pressure sensor. (2024). Testo. <https://www.testo.com/en-UK/testo-440-dp/p/0560-4402>
- [35] *Joonis 4.6 Suitsupliats Björnax AB Sweden* [Foto] From BJÖRNAX (24 April, 2024). <https://bjornax.se/en/smoke-cartridges/smoke-pen/smoke-pen-kit-3-80000.html>
- [36] MX1102A | Onset's HOBO and InTemp Data Loggers. (2024). <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx1102a>
- [37] IoT-Line Bench scale TFKB 65K-4-B - KERN & SOHN: Waagen, Mikroskope & Messinstrumente. (2024). <https://www.kern-sohn.com/shop/en/products/industrial-scales/TFKB-65K-4-B/>
- [38] Li, Y.-C., Shu, M., Ho, S. S. H., Wang, C., Cao, J.-J., Wang, G.-H., ... Zhao, X.-Q. (2015). Characteristics of PM_{2.5} emitted from different cooking activities in China. *Atmospheric Research*, 166, 83–91.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.06.010>
- [39] DustTrak™ DRX Aerosol Monitor 8533. (2024). TSI.com. <https://tsi.com/Products/Aerosol-and-Dust-Monitors/Aerosol-and-Dust-Monitors/DustTrak™-DRX-Aerosol-Monitor-8533>
- [40] TM-102/TM-103 (Datalogging). (2024). <https://www.tenmars.com/m/2001-1682-704379,c19586-1.php?Lang=en>

LISAD

Lisa 1 Allatõmbega köögikubu vaatluse videote lingid

L1.1 Video - Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine kasutades 5 cm kõrgust panni

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/1VkxB06b2W_Rt9YjJYYlvmWR6WJ42naOS/view?usp=drive_link

L1.2 Video - Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine kasutades 13 cm kõrgust potti

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/10BbZKZOr4ktUv84CynNtnIjAnaveYVei/view?usp=drive_link

L1.3 Video - Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine kasutades 22 cm kõrgust potti

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/16IpM3O6dhzX5xhDcS2hfOTT1dGOAYLYT/view?usp=drive_link

L1.4 Video - Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine lisatud teleskoobi konfiguratsioonis kasutades 5 cm kõrgust panni

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/1SbPAZsRGbpNvaAOIVrGUnFDsX4Pz6hP4/view?usp=drive_link

L1.5 Video - Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine lisatud teleskoobi konfiguratsioonis kasutades 13 cm kõrgust potti

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/1zFJN-bARtrk5a8vdBWCn0wtqJ5ULqDXX/view?usp=drive_link

L1.6 Video - Allatõmbega köögikubu veeauru äratõmbe visualiseerimine lisatud teleskoobi konfiguratsioonis kasutades 22 cm kõrgust potti

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/1pgFT0C4JVZ8-x7gQTq-1oArk7jNISbGk/view?usp=drive_link

L1.7 Video - Suitsupliatsiga õhuvoolude visualiseerimine erinevatel õhuvooluhulkadel nii pliidiplaadiga samas tasapinnas asuva äratõmbe pilu kui ka teleskoobi abil kõrgemale tõstetud äratõmbe konfiguratsioonis

Veebilehekülg:

https://drive.google.com/file/d/1Wt3Yw2Ruh7QJ5P1gMujcUceyS1XNkHjn/view?usp=drive_link