



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Ehituse ja arhitektuuri instituut

**SEINAPEALSETE HEITÕHU  
VÄLJAVISKESEADMETE EKSPERIMENTAALNE  
TESTIMINE**

**EXPERIMENTAL TESTING OF WALL-MOUNTED  
VENTILATION EXHAUST DEVICES**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Rauno Variku  
/nimi/

Üliõpilaskood 182398EAKI

Juhendaja: Ülar Palmiste, doktorant  
/nimi, amet/

Tallinn 2024

*(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.

"21." Mai. 2024.a

Autor: allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"21." Mai. 2024.a

Juhendaja: allkirjastatud digitaalselt

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina, Rauno Variku (*autori nimi*) (sünnikuupäev 25.01.1999),

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Seinapealsete heitõhu väljaviskeseadmete eksperimentaalne testimine

(*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.

---

allkirjastatud digitaalselt (allkiri)

"21." Mai. 2024.a

---

<sup>1</sup> 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 loomingu 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.

# Ehituse ja arhitektuuri instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Rauno Variku, 182398EAKI (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAKI02/19 - Hoonete sisekliima ja veetehnika (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** doktorant Ülar Palmiste, (+372 58133340) (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Seinapealsete heitõhu väljaviskeseadmete eksperimentaalne testimine

(inglise keeles) Experimental testing of wall-mounted exhaust ventilation devices

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Võrrelda katseliselt erinevat tüüpi seinapealsete heitõhuelementide toimivust objektil
2. Võrrelda projekteeritud ja paigaldatud seinapealse heitõhuelemendi vastavust juhendmaterjalides nõutavale ja reaalsele olukorrale

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade ja taustainfo kogumine	15.02.2024
2.	Mõõtmiste kavandamine	29.02.2024
3.	Mõõtmiste teostamine	05.04.2024
4.	Tulemuste analüüs	22.04.2024
5.	Lõputöö vormistamine	15.05.2024

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "21." Mai. 2024.a

**Üliõpilane:** Rauno Variku

.....  
/allkiri/

"21." Mai. 2024.a

**Juhendaja:** Ülar Palmiste

.....  
/allkiri/

"21." Mai. 2024.a

**Programmijuht:** Martin Thalfeldt

.....  
/allkiri/

"21." Mai. 2024.a

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	10
1.1 Õhu liikumine ümber hoone .....	10
1.2 Ventilatsiooni heitõhu omadused .....	11
1.3 Seinapealsed heitõhuelemendid.....	12
1.4 Seinapealsete heitõhuelementide projekteerimine.....	13
1.4.1 EVS 906:2018 JA CEN/TR 16798-4:2017 .....	14
1.4.2 RKAS JA CEN/TR 14788:2006 .....	16
1.4.3 ASHRAE.....	16
1.5 Seinapealseid heitõhuelemente käsitlevad lõputööd .....	17
1.6 Seinapealsete heitõhuelementide kohta avaldatud teadusartiklid.....	18
2. METOODIKA .....	20
2.1 Uurimisobjektid .....	21
2.2 Ventilatsiooniprojektide analüüsi meetodid .....	24
2.3 Seinapealsete heitõhuelementide välikatsed.....	25
2.3.1 Katsetavate seinapealsete heitõhuelementide ülevaade .....	25
2.3.2 Uuritavad olukorrad .....	28
2.3.3 Kasutatud seadmed ja abivahendid .....	30
2.3.4 Katsete läbiviimise protseduur .....	32
2.4 Katsetulemuste analüüsi meetodid .....	35
3. TULEMUSED JA ANALÜÜS .....	36
3.1 Ventilatsiooniprojektide analüüs .....	36
3.2 Objektidel kasutatud heitõhuelementide toimimine paigaldatud tingimustes.....	37
3.2.1 Objekt 1.....	37
3.2.2 Objekt 2.....	39
3.2.3 Objekt 3.....	40
3.2.4 Objektidel kasutatud heitõhuelementide toimimise analüüs.....	42
3.3 Väljaviskeseadmete aerodünaamiliste näitajate analüüs .....	43
3.3.1 Heitõhuelement RV.....	43
3.3.2 Heitõhuelement RVD.....	45

3.3.3 Heitõhuelement YGC.....	47
3.3.4 Heitõhuelementide omavaheline võrdlev analüüs .....	48
3.4 Heitõhuelemendi ja õhuvõtu omavaheline arvutuslik kaugus .....	52
3.4.1 EVS 906:2018.....	52
3.4.2 CEN/TR 16798-4:2017 .....	53
3.4.3 ASHRAE 62.1 ja ASHRAE 62.2.....	54
3.4.4 Juhendmaterjalide võrdlus .....	54
4. JÄRELDUSED.....	59
KOKKUVÕTE .....	60
SUMMARY .....	62
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	64
LISAD .....	67

## Lühendite ja tähiste loetelu

ASHRAE - Põhja-Ameerika kütte-, jahutus- ja ventilatsiooniinseneride ühendus  
(*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*)

$A_{\text{eff}}$  – resti efektiivne pindala

B - heitgaaside õhuhulk

C – saasteaine massikontsentratsioon retseptoris

$C_e$  – saasteaine massikontsentratsioon heitõhus

CFD - Vedeliku dünaamika (*Computational Fluid DynamicsArvutuslik*)

D – ventilatsioonitoru diameeter

DF - lahjendutegur

$\varnothing d$  – heitõhukanali läbimõõt

EVS – Eesti Vabariigi standard

EHA – väljaviskeõhu klass (*Exhaust air*)

$\Delta h$  - õhuvõtu – ja väljaviskeresti kõrguste vahe

l - õhuvõtu - ja väljaviskeresti tsentrite vahekaugus

L – õhuvooluhulk

$\Delta P$  - rõhukadu

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool

Q - heitõhuhulk

RKAS – Riigi Kinnisvara AS

U - õhukiirus heitõhu kanalis

v – õhukiirus

$V_{\text{face}}$  – resti otspinna kiirus

VV – ventilatsioonisüsteemi väljavise

ÕV – ventilatsioonisüsteemi õhuvõtt

$\pi$  – Archimedese konstant

$\rho$  - tihedus

## SISSEJUHATUS

Ventilatsiooni heitõhk sisaldab endas erinevaid saasteaineid ja lõhnu, mida eemaldatakse siseruumidest. Heitõhu kvaliteet sõltub suuresti sellest, millised protsessid hoones sees toimuvad. Vastavalt sellele tuleb leida ka lahendus heitõhu välja juhtimisele hoonest.

Heitõhu katusele juhtimine on tavapärane lahendus, aga järjest rohkem eelistatakse seinapealseid heitõhuelemente, sest heitõhu kanalite pikkus on lühem ning seega ka aerodünaamiline takistus on väiksem. Väiksema aerodünaamilise takistuse korral töötab ventilaator väiksematel pööretel, mis vähendab energiatarvet. Heitõhu katuseelementide puhul tuleb torustik isoleerida ja rajada katuseläbiviik, mis on kordades kulukam ja keerulisem lahendus. Erialastes käsiraamatutes on vähe uuringuid erinevat tüüpi seinapealsete heitõhuelementide toimivuse kohta, mis kirjeldaksid heitõhus sisalduvate saasteainete hajumise efektiivsust hoone vahetus läheduses.

Hoonete ventilatsiooni projekteerimisel on oluline tähelepanu pöörata ventilatsiooniseadme heitõhuelementide paiknemisele. Seinapealsete heitõhuelementide toimivust mõjutavad oluliselt nii nende konstruktsioon, paigalduskõrgus, heitõhu väljaviskekiirus kui ka hoonet ümbritsev keskkond (tuul, läheduses olevad objektid), millega olemasolevad projekteerimisjuhised valdavalt ei arvesta. Heitõhuelemendi vale asukoha valikul võivad heitõhus sisalduvad saasteained ja lõhnad sattuda tagasi sisekeskkonda. See võib halvendada sisekliimat ja mõjuda halvasti või ebameeldivalt ka inimestele. Ventilatsiooni projekteerijad lähtuvad väljaviske elementide paigutamisel ventilatsiooni standardites esitatud nõuetest. Juhendmaterjalides on tehtud üldistus kõigi seinapealsete heitõhuelementide kohta, aga erinevad elemendid toimivad nii aerodünaamiliselt kui ka erinevate õhuvooluhulkade puhul erinevalt. See võib tekitada olukorra, kus juhendmaterjalide järgi on väljaviskeava nõuetekohaselt lahendatud, aga tegelikkus objektil on midagi muud. Väljaviske element ei pruugi konkreetses olukorras nõuetekohaselt toimida ja kui saastunud õhk satub uuesti siseruumidesse, võib see tekitada hilisemaid pretensioone. Sellised probleemid ei pruugi isegi ehitusekspertiisis välja tulla, sest ka ekspertiisi teostamisel lähtutakse kehtivatest juhendmaterjalidest. Pretensioonid esitatakse ehitajale ja kui jõutakse järeldusele, et tehtud lahendus ei sobi sellesse olukorda, siis tuleb see ümber teha. Lihtsamal juhul piirdub see elemendi tüübi vahetusega, aga halvemal juhul tuleb vahetada heiteava asukohta. See on aga valmis ehitise puhul suur kulu ehitajale.



Normdokumentides välja toodud nõuded on liiga üldised ja nende aluseks olevad katsed on tehtud kontrollitud keskkonnas. Kontrollitud keskkonna all pean silmas tuuletunnelis tehtud korstnast emiteeruvate saasteainete hajumise uuringuid. Välja on toodud minimaalsed vahekaugused ja vahekauguste arvutusmeetodid erinevate olukordade kohta, aga need ei võta arvesse objektil olevat tegelikku olukorda. Iga rest on erineva takistuse, disani ja aerodünaamilise toimivusega. Ebatäpsusi lisab veel meteoroloogilised tingimused ja hoone arhitektuur.

Selleks, et näha erinevate heitõhuelemtide toimivust reaalses, mitte kontrollitud, olukordades tuleks neid katsetada objektidel ja hinnata ka siis nende toimivust erinevate õhuvooluhulkadega.

Käesoleva magistritöö eesmärk on hinnata erinevate seinapealsete heitõhuelelementide toimivust reaalses tingimustes ning võrrelda tulemusi olemasolevate juhendmaterjalidega. Selleks võrreldakse omavahel erinevate ventilatsioonimaterjalide tootjate seinapealseid heitõhuelelemente ja nende toimivust erinevate õhuvooluhulkade puhul. Katsete käigus mõõdetakse ka resti aerodünaamilist toimivust ja võrreldakse neid tootja poolt esitatud andmetega.

Uurimisküsimused:

- Kuidas mõjutab heitõhuelementi konstruktsioon (tüüp, kuju, väljaviske suund) heitõhujoa levikut ja hajumist erinevate õhuvooluhulkade korral?
- Milline on erinevate heitõhuelementide paigalduskõrguse mõju heitõhu hajumisele hoone fassaadi läheduses?
- Kuidas mõjutab hoone ümbritsev keskkond (tuul, läheduses olevad objektid) heitõhujoa levikut ja hajumist?
- Kuidas erinevad omavahel erinevate projekteerimise juhendmaterjalide alusel arvutatud vahekaugused seinapealsete heitõhu väljavisete ja õhuvõtuavade vahel?

Magistritöö on üles ehitatud järgnevalt: kirjanduse ülevaates on välja toodud teoreetilised alused õhu liikumise kohta hoone ümber ja heitõhu omadustest. Tuuakse välja heitõhuelementide peamised eesmärgid ja mõned näited erinevate tootjate toodetest. Käsitletakse Eestis kasutusel olevaid juhendmaterjale ja standardeid, mida kasutatakse heitõhuelementide projekteerimisel. Tehakse ülevaade Eestis ja välismaal tehtud uuringutest sarnastel teemadel. Teine peatükk keskendub töös kasutatud metoodikale ja kolmas peatükk käsitleb katsete mõõtetulemusi, objektide projekte ja nende heitõhuelementide valikul aluseks olevate juhendmaterjalide analüüsi.

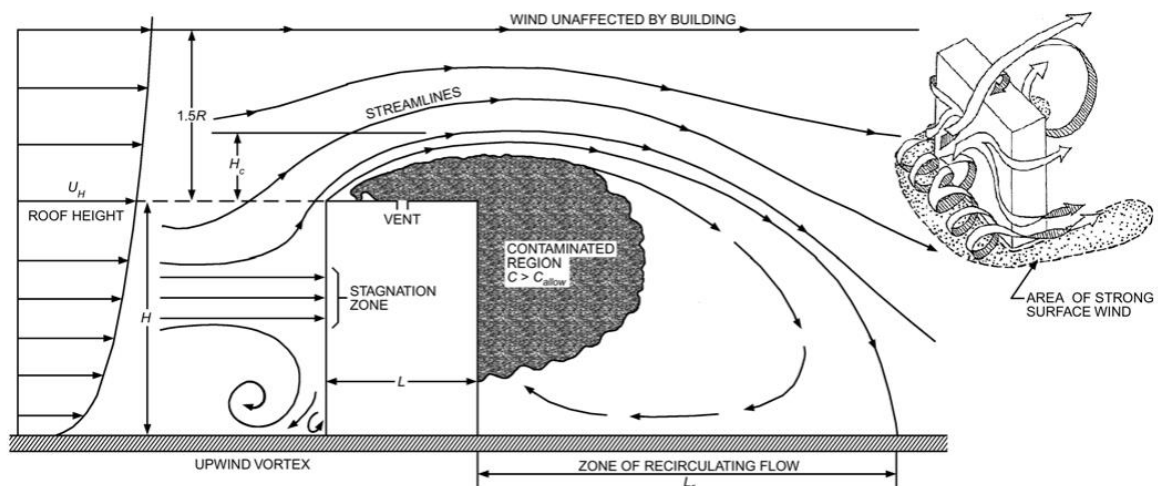
# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Õhu liikumine ümber hoone

Hoone ümber tekib tuule tõttu ebahühtlane õhuvool, mille liikumist mõjutavad peamiselt hoone geomeetria, orientatsioon, kasutatud ehitusmaterjalid ja ümbritseva keskkonna reljeef. Tuul tekitab hoone välispinnale erinevaid pinnarõhkusid, mis avaldavad mõju õhuvõtu – ja väljaviskeelementide toimivusele ja ka sisekeskkonnale.

Õhuvoolude liikumise kohta ümber hoone on tehtud uuringuid ja jõutud järeldusele, et õhuvoolude liikumine varieerub vastavalt hoone kujule. Lihtsamate, ristkülikukujuliste, hoonete ja keerukamate hoonete ümber käituvad õhuvoolud erinevalt. Keerukama ehitusega hoonete puhul, näiteks U - või L - kujulised, võivad tekkida liiga keerulised õhuvoolud, mida üldistamise teel projekteerimiseks ei rakendata. [1] Õhuvoolude erinevatest liikumistest saab järeldada, et kas saasteainete punktide toimivus on erinev hoone eri punktides.

Eraldiseisva ristkülikukujulise põhiplaani hoone õhuvoolusid iseloomustab joonis 1.1.



Joonis 1.1 Õhuvoolude liikumine ümber ristkülikukujulise hoone.  $U_h$  - tuule kiirus,  $H$  - hoone kõrgus,  $H_c$  - retsirkulatsiooni hajumise pikkus,  $R$  - skaleerimise pikkus,  $L$  - hoone pikkus,  $L_r$  - ringlusõhu tsoon,  $C$  - saasteaine massikontsentratsioon retseptoris [2]

Jooniselt 1.1 on näha, et kui tuul pörkub hoone välisseinaga, siis tekib eraldi kolm õhu liikumise suunda. Hoone 2/3 kõrguse peal asub õhujoo seiskumise tsoon (ing.k stagnation zone), kus õhk liigub edasi horisontaalselt hoone külgedele. Teine õhuvoolu liikumise suund on vertikaalselt alla, mis tekitab õhukeeriseid maapinna lähedal ja kolmas õhuvool liikub vertikaalselt üles üle katuse. Lisaks tekib veel hoone taha õhu retsirkulatsiooni tsoon, kus õhu keskmine kiirus on madal, aga turbulents on suur. Kui hoonel on piisav pikkus  $L$ , mis on tuule suuna poole, siis tekib kaks õhuvoolude liikumise

suunda nii hoone enda küljes kui ka tema järelvoolus (külgedele), nagu on näha jooniselt 1.1 parempoolsel kujutisel. [1]

Hoonet ümbritsev keskkond (hekid, naaberhooned, aiad jms) mõjutab ka heitõhu joa levikut. Jooniselt 1.1 on näha, et tuul muudab suunda hoonega kokku põrkudes. Sellest lähtuvalt võib tekkida olukord, kus tullesuund katusel on üks, aga fassaadil hoopis teine. Sellised olukorrad võivad tekitada ka tuulekoridoride teket. Samamoodi nagu hoone mõjutavad ka teised kõrged rajatised hoone ümber tuule suunda, mis omakorda avaldab mõju ka heitõhu joa levikule. [1]

Õhu liikumist hoone ümber mõjutab ka hoone fassaadi materjal ja päikesekiirgus. Päikesepaistelise päevaga võib päikesekiirgus selle soojaks kütta ja nii võib tekkida konvektiivne õhuliikumine suunaga üles. Kui tegemist on näiteks kortermajaga, kus õhuvõtt ja väljavise teineteise kohal, siis võib saastunud väljaviskeõhk sattuda õhuvõttu. [3]

## 1.2 Ventilatsiooni heitõhu omadused

Ventilatsiooni heitõhu kvaliteet sõltub hoones sees toimuvatest protsessidest ja tegevustest. Heitõhk on otseselt seotud hoone väljatõmbeõhuga ja see jaotatakse nelja kategooriasse. Heitõhuelelemendi asukoha projekteerimisel võetakse arvesse standardis EVS 16798-3:2017 välja toodud heitõhu klassifikatsiooni. Heitõhu klassifikatsioonid ja ruumide kirjeldused on välja toodud tabelis 1.1. [4]

Tabel 1.1 Heitõhuklasside kalssifitseerimine [4] [5]

Heitõhukategooria	Õhu kirjeldus	Ruumi tüüp
<b>EHA 1</b>	Saasteainete kontsentratsioon on madal. Peamiselt ehitusmaterjalidest, konstruktsioonidest ja inimeste ainevahetusest.	Kontori-, elu-, klassi-, lao-, meelalahutusruumid avalikes, äri-, tootmis- ja teistes hoonetes, kus ei ole muid saasteallikaid
<b>EHA 2</b>	Keskmine saasteainete kontsentratsioon. Peamiselt ehitusmaterjalidest, konstruktsioonidest ja inimeste ainevahetusest, aga õhk sisaldab saastet rohkem kui EHA 1. Võib sisaldada ka nõrga intensiivsusega lõhnasid.	Söögitoad, kohviruumid, restoranid, hotellitoad, riietusruumid, leiliruumid, spordisaalid
<b>EHA 3</b>	Kõrge saasteainete kontsentratsioon, mis tekib protsessidest, mis eraldavad niiskust ja kemikaale. Võib sisaldada intensiivseid lõhnasid.	WC.d, pesuruumid, printeri ruumid, elamute ja ilma rasva eralduseta köögid, garaažid, parklad

Tabel 1.1 jätk

<p><b>EHA 4</b></p>	<p>Väga kõrge saasteainete kontsentratsioon. Mürgised ja ohtlikud gaasid ja aurud. Tervistkahjustavad lõhnad.</p>	<p>Professionaalsed äratõmbekapid,kuumköövide kohtäratõmbed, värvikambrid, garaažid, mustapesu ruumid, prügiruumid, suitsuruumid.</p>
---------------------	---	---

Väljaviskeõhk võib endas sisalda olulisel määral ka potentsiaalselt kahjuliku mõjuga saasteaineid. Seega on alati väga oluline uurida, mis protsessid toimivad hoones sees, et määrata heitõhu kvaliteet. Vastavalt heitõhu klassifikatsioonile tuleb valida ka sobiv heitõhuelement ja sellele ka õige asukoht, et saastunud õhku ei juhitaks uuesti siseruumidesse ja väliskeskkonnas inimeste viibimise aladele.

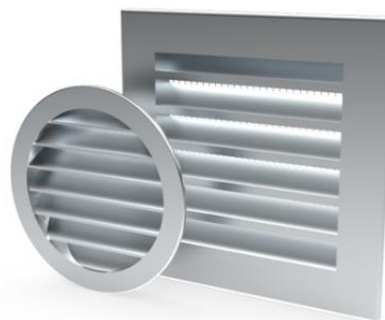
### 1.3 Seinapealsed heitõhuelemendid

Heitõhuelemente on tänapäeval nii seinapealseid kui ka katusele paigaldatavaid. Seinapealsed heitõhuelemente kasutatakse palju hoonete renoveerimise puhul, sest see on lihtsam ja odavam lahendus. Selleks ei pea pikki magistraale katusele vedama ja eraldi läbiviike ehitama. Seinapealsed elemendid erinevad üksteisest peamiselt ehituse, väljavisketuruga ja efektiivse pindala poolest [6] .

Väga levinud on seinapealsetest heitõhuelementidest väljaviskerestid, mis on varustatud kaitsevõrguga ja heitõhu suunajatega. Need on kujutatud joonisel 1.1 ja 1.2.

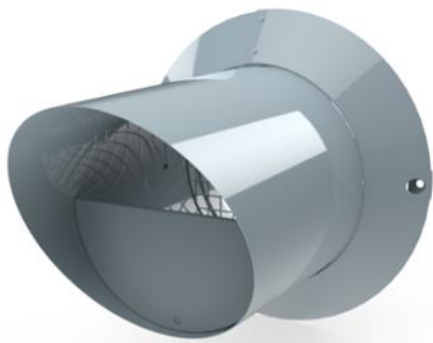


Joonis 1.2 Välisrest RV [7]



Joonis 1.3 Välisrest RVA [8]

Kasutusel on veel pika väljavisketuruga väljaviskeelement, mis juhib saasteained välisseinast joana eemale, et need näiteks akende või õhuvõtuelementide kaudu uuesti sisekeskkonda ei satuks. Need on kujutatud joonisel 1.4 ja 1.5.

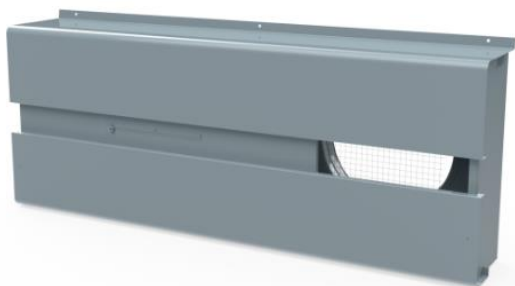


Joonis 1.4 Väljavisketoru NPC [9]



Joonis 1.5 Väljavisketoru AVU [10]

Tänapäeval on levinud veel ka kombineeritud õhuvõtu ja väljaviske element joonisel 1.6 ja 1.7. Seda saab kasutada olukordades, kus heitõhu ja õhuvõtu nõutud vahekaugust ei ole võimalik tagada. Õhuvõtt toimub sellistel elementidel kas küljelt või alt ja heitõhk suunatakse välja otse. Standardites ei ole sellise heitõhueleменти kasutamist käsitletud.



Joonis 1.6 Kombineeritud heitõhu – ja õhuvõtuelement RVD [11]



Joonis 1.7 Kombineeritud heitõhu - ja õhuvõtuelement CVVX [12]

## 1.4 Seinapealsete heitõhueleментide projekteerimine

Heitõhuavade projekteerimisel lähtutakse Eestis EVS standarditest ja RKAS (Riigi Kinnisvara AS) nõuetest. Heitõhueleментide asukoht peab olema õigesti projekteeritud ja paigaldatud, sest vastasel juhul võib saastunud heitõhk sattuda uuesti siseruumidesse. Kui väljaviskeava asukoht on valitud valesti, siis võib ruumi sattuda ebameeldivaid lõhnu ja gaase, mis mõjutavad nii hoone siseõhu kvaliteeti kui ka inimeste tervist. [2]

Välisresti valikul peab arvestama ka resti materjali ja pinnatöötusega, et see peaks vastu väliskeskkonna tingimustele [13]. Arvesse peab võtma ka resti sobivust hoone arhitektuuriga ja kõrgust maapinnast.

Õhuvõtu- ja heitõhuelemendi vaheline kaugus sõltub sellest, et kas need on paigaldatud katusele või välisseinale, mis on õhuvooluhulk ja millisele klassile vastab heitõhu kvaliteet [14][15]. Heitõhuklassid on välja toodud tabelis 1.1

#### **1.4.1 EVS 906:2018 JA CEN/TR 16798-4:2017**

Standardis EVS 906:2018 ja CEN/TR 16798-4:2017 on välja toodud fassaadipealse paigaldusega heitõhu- ja õhuvõtuelementide vahelise kauguse arvutamise valemid. EVS 906:2018 järgi valem olukorrale, kus välisseinal paiknev õhuvõtuava on allpool või samal kõrgusel välisseinal paikneva heitõhuelemendiga [14]:

Õhukategooria vastab EHA 1 ja EHA 2 klassile [14]:

$$l + \Delta h > 0,613 * \sqrt{q_v} , \quad (1.1)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool l/s

Sama olukord, aga õhk vastab EHA 3 klassile [14]:

$$l + \Delta h > 1,250 * \sqrt{B} , \quad (1.2)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$B$  – heitgaasid, l/s

Sama olukord, aga õhk vastab EHA 4 klassile [14]:

$$l + 2,95\Delta h > 3,030 * \sqrt{B} , \quad (1.3)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$B$  – heitgaasid, l/s

Välisseinal paiknev õhuvõtuava on allpool või samal kõrgusel välisseinal paikneva heitõhuelemendiga standardi CEN/TR 16798-4:2017 järgi [15]:

Õhukategooria vastab EHA 1 ja EHA 2 klassile [15]:

$$2l + \Delta h > 0,308 * \sqrt{q_v} , \quad (1.4)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool l/s

Sama olukord, aga õhk vastab EHA 3 klassile [15]:

$$l > 0,2 * \sqrt{B} , \quad (1.5)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$B$  – heitgaasid, l/s

Välisseinal paiknev õhuvõtuava on ülevalpool välisseinal paiknevast heitõhuelemendist standardi CEN/TR 16798-4:2017 järgi [15]:

Õhukategooria vastab EHA 1 ja EHA 2 klassile [15]:

$$3,07 l - \Delta h > 0,613 * \sqrt{q_v} , \quad (1.6)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool l/s

Sama olukord, aga õhk vastab EHA 3 klassile [15]:

$$1,54 l - \Delta h > 0,308 * \sqrt{B} , \quad (1.7)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$B$  – heitgaasid, l/s

CEN/TR 16798-4:2017 järgi ei ole lubatud EHA 4 kategooria õhku kummaski olukorras fassaadilt välja juhtida.

Kui heitõhk vastab kategooriale EHA 1 ja EHA 2, siis tohib seda läbi hoone fassaadil asuva heitõhuava väliskeskkonda juhtida siis, kui on täidetud järgmised tingimused [14]:

- Heitava asub külgnevast hoonest vähemalt 8 m kaugusel
- Heitava on samal seinal asuvast õhuvõtuavast vähemalt 2 m kaugusel ja võimalusel peaks õhuvõtuava paiknema heiteavast allpool
- õhu kiirus peab heiteavas olema pidevalt vähemalt 2m/s

Lisaks eeltoodule on standardis CEN/TR 16798-4:2017 [15] EHA 1 ja EHA 2 puhul välja toodud:

- heitõhu vooluhulk ei ole suurem kui 0,5 m<sup>3</sup>/s
- õhukiirus heitõhu avas on vähemalt 0,5 m/s

### 1.4.2 RKAS JA CEN/TR 14788:2006

Eluhoonete projekteerimist käsitlevas standardis CEN/TR 14788:2006 on välja toodud, et heiteavade projekteerimisel tuleb tähelepanu pöörata sellele, et heitõhk ei satuks olulises koguses siseruumidesse ega ka kõrval asuvasse hoonetesse. Selleks tuleks ette näha meetodid, mis aitaksid takistada heitõhu sissepääsu siseruumidesse läbi väliselt paigaldatud siirdeõhu seadmete, õhuvõtuavade ja akende [16].

RKAS nõuetes on välja toodud see, et välisresti materjal ja pinnatöötlus sobiks väliskeskkonda, rest oleks ilmastikukindel ja et resti eemaldamine oleks võimalik ainult tööriistu kasutades [13]. See info ei ole aga piisav, et paigutada heitõhuava õigesse asukohta.

### 1.4.3 ASHRAE

ASHRAE juhendmaterjal on välja toodud õhuvõtu ja heitõhu vaheline kaugus sõltuvalt saasteaine kontsentratsioonist. Hoone heitõhuelelemendist väljub segu hoone õhust ja saastunud gaasidest kontsentratsioonil  $C_e$  (saasteaine mass õhumahu kohta) atmosfääri. Heitõhk seguneb atmosfääriõhuga, mille tagajärjel tekib saasteainete kontsentratsioon  $C$ . See võib aga saastada õhuvõtu õhku, kui kontsentratsioon on suurem kui lubatud väärtus  $C_{allow}$ . Lahjendustegur  $D$  saasteallika ja retseptori massikontsentratsioonide vahel on määratletud kui [2]:

$$D = C_e / C , \quad (1.8)$$

Kus  $C_e$  – saasteaine massikontsentratsioon heitõhus,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$C$  – saasteaine massikontsentratsioon vaadeldavas ruumipunktis,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ASHRAE standardites võetakse arvutustes arvesse lahjendustegurit. Lahjendustegur on tegur, mis iseloomustab lahjenduse kordsust. Näiteks kui lahjendusteguri nõue on  $DF=10$ , siis sellisel juhul peab saasteaine kontsentratsioon õhuvõtus olema 10 korda väiksem võrreldes heitõhu kontsentratsiooniga. Teaduskirjanduses soovitatud minimaalsed lahjendustegurite väärtused heitõhukategooriate kaupa on toodud välja tabelis 1.2 [17]:

Tabel 1.2 Minimaalsed lahjendusteguri väärtused heitõhukategooriate järgi [17]

Heitõhukategooria	Minimaalne lahjendustegur DF
EHA 1	5
EHA 2	10
EHA 3	50
EHA 4	300
Puuküttega köök	700



ASHARE 62.1 järgi saab leida õhuvõtu ja heitõhuelemendi omavahelise minimaalse kauguse ka lahjendusteguri kaudu [18]:

$$L = 0,04 * \sqrt{Q} * (\sqrt{DF} - U/2), \quad (1.9)$$

Kus  $L$  – õhuvõtu- ja väljaviskeresti vahekaugus, m

$Q$  – heitõhuhulk, l/s

$DF$  – lahjendutegur (tabel 2.1)

$U$  – õhukiirus heitõhu kanalis, m/s

ASHRAE 62.2, mis käsitleb eluhoonete projekteerimist, järgi on õhuvõtu- ja heitõhuelemendi vaheline kaugus määratud 3 m [19].

## 1.5 Seinapealseid heitõhuelemente käsitlevad lõputööd

Seinapealsete ventilatsiooni heitõhuelementide toimivust ei ole väga palju uuritud. Heitõhuelementide toimivust ja saasteainete levikut on võimalik uurida katseliselt või erinevate arvuti simulatsiooniga.

Välisseinal paiknevate heitõhuelementide teemal tehtud Eestis kolm ja välismaal kaks magistritööd.

2020. aastal uuris T. Meier oma magistritöös seinal asuvate õhuvõtu- ja väljaviske elementide vahekauguste nõuete erisusi ja uuris katseliselt heitõhu kandumist õhuvõttu. Heitõhuelementide toimivuse visualiseerimiseks ehitas töö autor ise hoone seinaga imiteeriva stendi, kuhu olid paigaldatud erinevad heitõhuelemendid. Heitõhu sattumist õhuvõttu katsetati erinevate õhuvooluhulkade korral ja heitõhuelementide erinevate kauguste korral õhuvõtust. [20] siit alates vaata viited üle

2021. aastal uuris K. Krõm oma magistritöös saasteainete leviku dünaamikat sõltuvalt heitõhu väljavisete paigutusest siledal fassaadil ja testiti heitõhu väljaviske suuna mõju saasteainete levimisele. Töös modelleeriti 24 erinevat väljaviske olukorda ja kuut erinevat väljaviske asukohta, mis asusid nii tänavakanjoni allatuult kui ka pealetuult. Simulatsioone teostati Ansys Fluent modelleerimisprogrammi abil. [21]

2021. aastal uuris A. Kutšerova oma magistritöös välisseinal paiknevate ventilatsiooni heitõhu väljaviskeavade toimivust. Töös kasutati kate erinevat seinaga väljaviske elementi ja simuleeriti nende toimivust erinevates tingimustes. Simulatsioonideks kasutati CFD modelleerimist. [22]

2023. aastal uuris A. Virtta Soomes büroohonete heitõhu välja juhtimist seinapealse heitõhuelemendi kaudu. Tema võrdles oma tulemusi Soome büroohonete väljaviskeõhule seatud nõuetega. Töö järelduseks oli see, et Soome normid on büroohonete seinapealsete heitõhuelementide osas liiga karmid ja need tuleks üle vaadata. [23]

2012. aastal uuris C.A.Parker kuidas muuta ventilatsioonisüsteemi heitõhu välja juhtimist tõhusamaks kortermajade või ridaelamute puhul, et väljaviskes sisalduvad lõhnad ja saasteained ei satuks teistesse korteritesse. Tema jõudis järeldusele, et kõige paremini toimivad hoonete puhul 90 kraadise nurga all olevad väljaviskeelementid, mis ulatuvad hoone fassaadist vähemalt 30cm eemale. [24]

Varasemalt on tehtud erinevaid simulatsioone erinevate heitõhuelementidega ja võrreldud nende toimimist nii tänavakanjonis kui ka fassaadil. Selleks kasutati aga arvutiprogramme ja mudeleid, mis ei pruugi meile tegelikku olukorda kujutada. T. Meieri ja C.A.Parker tegid küll oma uurimise lähtudes praktilistest katsetest, aga need on tehtud kontrollitud keskkonnas ja ideaalsetes tingimustes.

Käesolevas töös keskendutakse reaalsele lahendustele reaalsel objektidel.

## **1.6 Seinapealsete heitõhuelementide kohta avaldatud teadusartiklid**

Seinapealsete väljaviske elementide kohta on avaldatud ka teadusartikleid. Artiklid on tehtud põhinedes laborikatsetele, simulatsioonidele, projekteerimisjuhiste, ja küsitlustele.

Sisetingimustes läbiviidud laborikatsete tulemusel põhinev artikkel avaldati 2021. aastal Ü. Palmiste, T. Meier, J. Kurnitski ja H. Volli poolt [6]. Artikli aluseks oli T. Meieri poolt tehtud magistritöö [20], mis käsitles hoone välisseinas paiknevate heitõhu ja õhuvõtu elementide omavahelist paiknemist. Testiti nelja heitõhuelementi ja nende toimivust erinevate õhuhulkade korral ja jõuti järeldusele, et kõik need toimivad erinevalt. Heitõhu levikut visualiseeriti suitsuga ja elemendid olid paigutatud välisseina imiteerivale maketile. Kõige efektiivsem oli väljaviske element, mille väljaviskenurk oli 0-45 kraadi. 60-90 kraadise nurga all väljaviske elemendid tekitasid suure saasteaine kontsentratsiooni välisseina ääres. Test viidi läbi kontrollitud keskkonnas välisseina imiteeriva stendi peal.

Katselisel meetodil tehtud tulemuse kohta on avaldanud teadusartikli P. Broas 1993. aastal [25]. Tema teostas tuuletunneli katse 1:150 suurusel puidust maketil, kus ta katsetas suitsuga, et kui palju heitõhku levib õhuvõttu. Tulemusi võrdles ta ka õiges skaalas tehtud mõõtmistega ja teoreetiliste alustega.

Sarnasel teemal tegid katseid ka Jaap R. Balvers, Atze C. Boerstra ja Froukje van Dijken [26]. Nemed testisid glükooli-baasil suitsumasina köögi väljatõmbepafoonist sissepuhke õhku sattuvaid saasteaineid. Testis ei testitud väljviskeelemendi mõju sissepuhkele, vaid ainult köögi väljatõmbe mõju.

Sarnaseid teemasid on kajastatud teadusartiklites ka CFD simulatsiooni tulemuste abil. M. Kaes, N. Jajal, S.Z. Shahvari, M. Goebes, J. Carter, A. Simon, J. Ritter, I. Walker ja J. Clark kirjutasid teadusartikli mitmepere elamute väljviske lahenduste teemal [27]. Nende eesmärgiks oli CFD simulatsiooni abil kindlaks määrata, et mis peaks olema vähim vahemaa heitõhukelemendi ja õhuvõtu vahel, et naabri õhuvõttu siseneks nõuetekohane õhk.

CFD simulatsiooni kasutasid ka X. Kuborn ja S. Pecceu kes kajastasid oma artiklis kamina seinapealse heitõhu elemendi mõju sissepuhkele [28].

Analüütiliselt on sarnast teemat teadusartiklis käsitletud Ü. Palmiste, J. Kurnitski ja H. Voll [3]. Nemed uurisid väljviske elemendi õhu sattumist õhuvõttu. Võrreldi kvantitatiivseid ja kvalitatiivseid paigaldusjuhiseid, kehtivaid normdokumente ja juhiseid heitõhukelementide paigalduseks. Peamiseks probleemiks oli heitõhu retsirkulatsiooni vältimine õhuvõttu, mis võib halvendada sisekliima kvaliteeti.

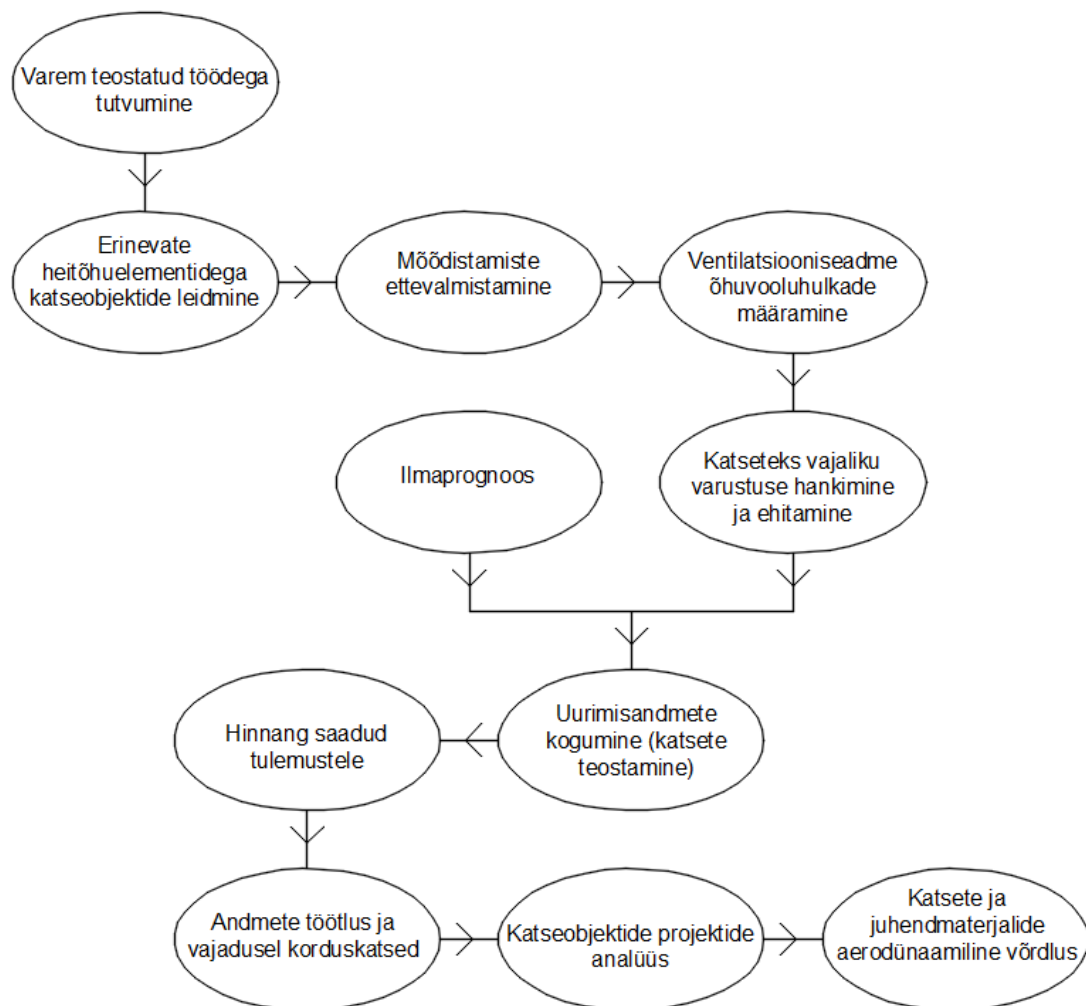
Teoreetilise ülevaate sellest, mida peab silmas pidama heitõhukelemendi valikul ja paigaldusel, et vähendada tuule mõju heitõhu levimisele ja heitõhu sattumisele õhuvõttu, annab oma 1965. aastal avaldatud teadusartiklis John H. Clarke [29].

Ühe teadusartikli aluseks oli ka küsitlus, kus uuriti üle 300 inimeselt, kellel oli kodus mehaaniline ventilatsioon ja seinapealne heitõhukelement. Inimestelt küsiti ventilatsiooniseadme kasutuse kohta, mürataseme ja lõhnade leviku kohta. Küsitluses mingeid kaebeid seinapealse heitõhukelemendi kohta ei esinenud. Artikli autor on J. Palonen. [30]

Selles peatükis kajastatud teadusartiklite kohta saan kokkuvõtvalt öelda, et need on uurinud küll sarnaseid teemasid, aga uurimismeetod on minu omast erinev. Kasutatud on nii analüütilisi kui ka katselisi meetodeid, aga siiani pole teostatud ühtegi objektimõõtmistel põhinevat uurimustööd.

## 2. METOODIKA

Järgnevas peatükis kirjeldatakse antud lõputöös uuritud objekte, katsete läbiviimise meetodikat ja kasutatud mõõteseadmeid ja abivahendeid.

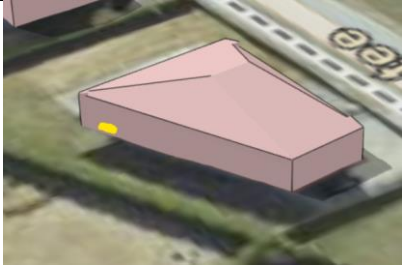

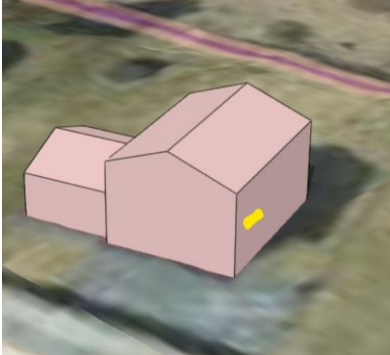





Joonis 2.1 Uuringumetoodika põhimõtte skeem

## 2.1 Uurimisobjektid

Käesolevas lõputöös teostati heitõhu väljaviskeseadmete välikatsed Tabelis 2.1 loetletud hoonetes. Heitõhuelement hoonete fassaadidel on tähistatud 3D piltidel Tabelis 2.1 kollasega.

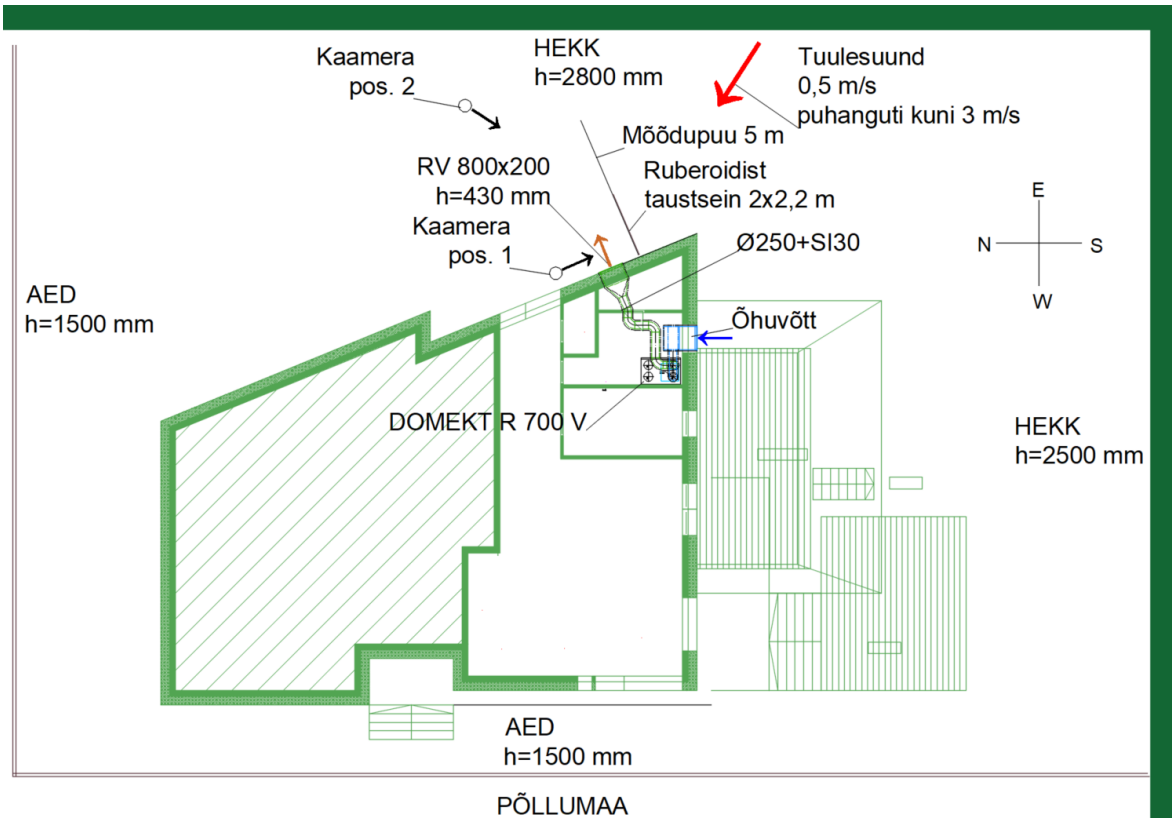
Tabel 2.1 Ülevaade uurimisobjektidest [7] [11] [31] [32]

Tähis	Uurimisobjekti kirjeldus	Uurimisobjekti foto	Heitõhuseadme foto
Objekt 1	Elumaja RV 800x200		
Objekt 2	Elumaja RVD 200		
Objekt 3	Labor YGC 250		

Kõikidel objektidel oli kasutatud Komfovent Domekt rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadmeid.

**Objekt 1** on kahekordne eramaja, kus on kasutatud heitõhueleменти RV 800x200, mis asub maapinnast 430 mm kõrgusel. Heitõhurest on ühendatud 250 mm diameetriga ventilatsioonitoruga. Ventilatsiooniseadmeks on Domekt R 700 V.

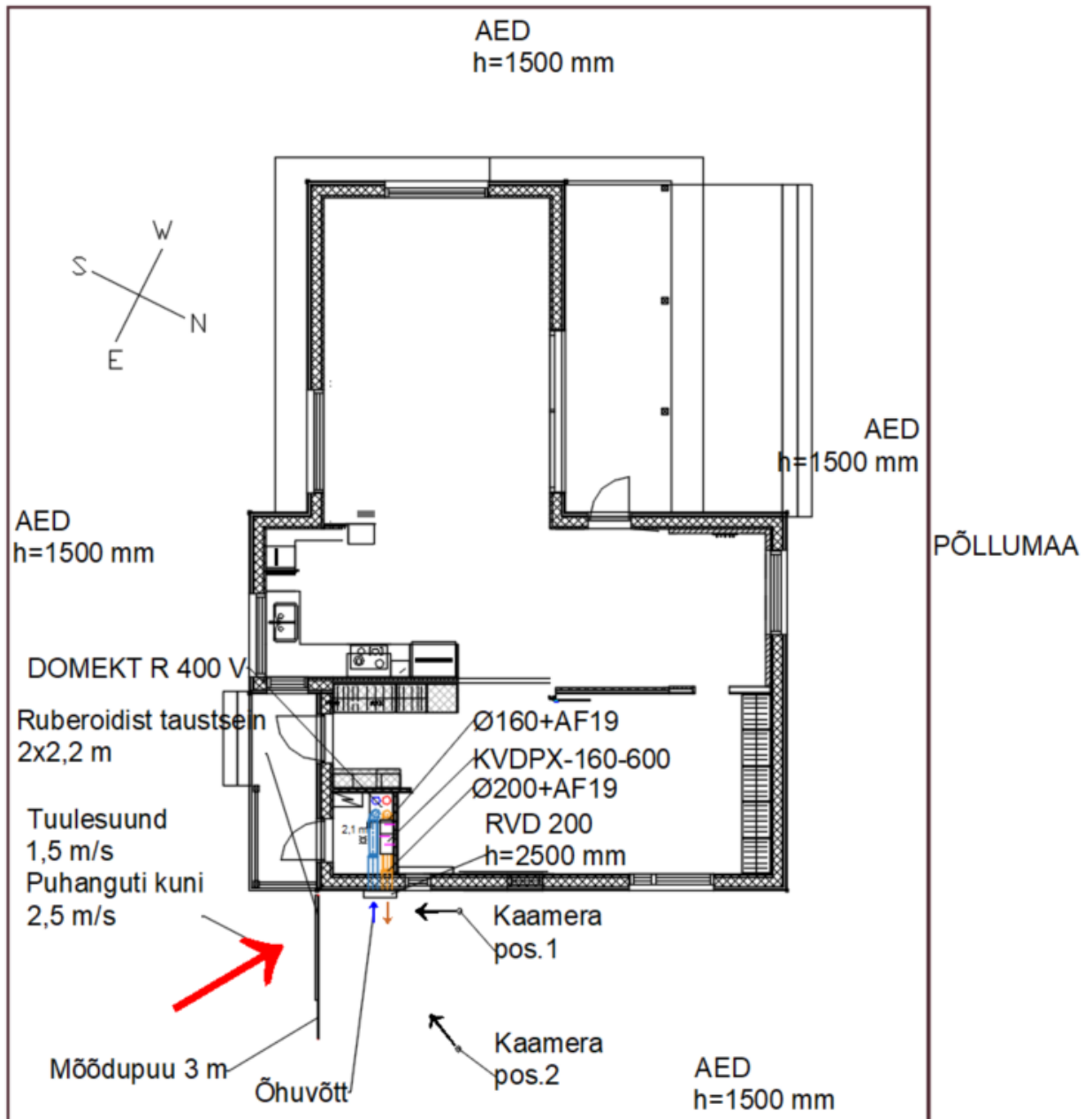
Eramaja asub elamurajoonis, kus see on idast ja lõunast ümbritsetud igihalja hekiga (hoonest 7 m kaugusel). Lääne küljest on hoone ümbritsetud aia ja põllumaaga. Põhja küljest on hoone ümbritsetud aiaga.



Joonis 2.2 Objekti 1 välikatsetuse skeem

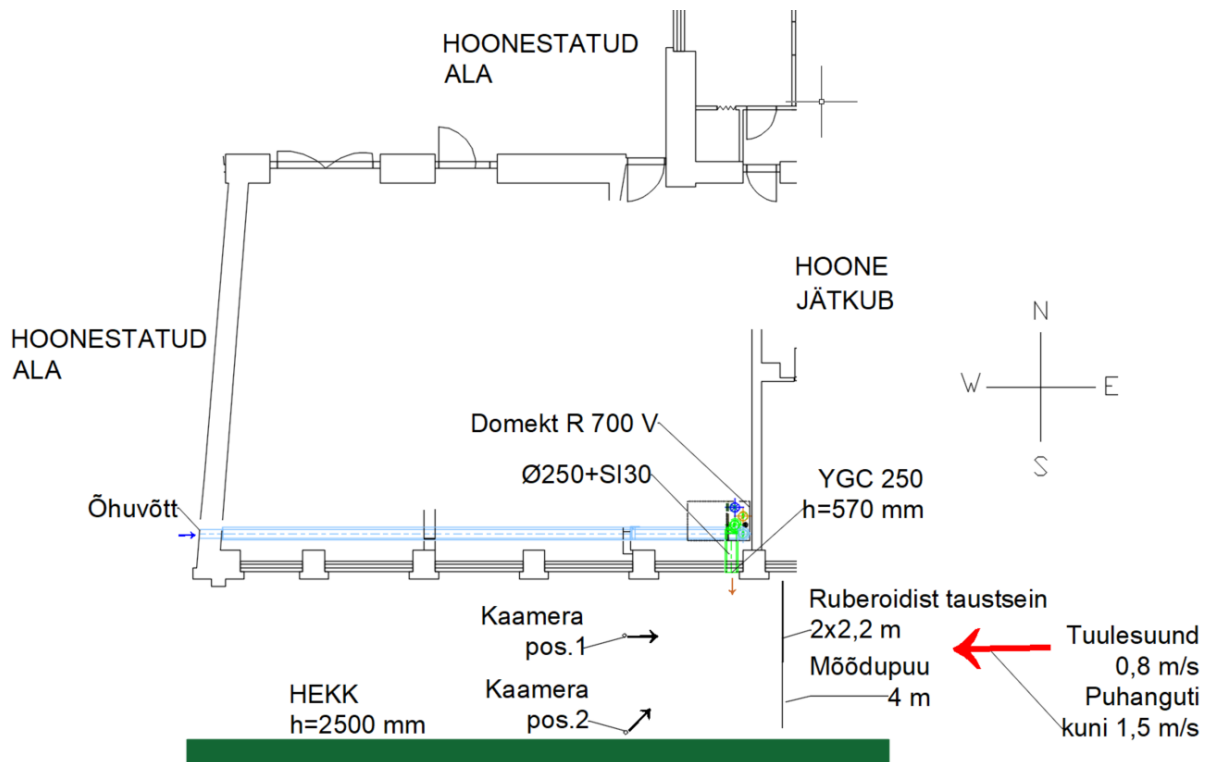
**Objekt 2** on kahekordne eramaja, kus on kasutatud kombineeritud heitõhu- ja õhuvõtuelementi RVD 200, mis asub maapinnast 2500 mm kõrgusel. Heitõhuelement on ühendatud 200 mm diameetriga toruga. Ventilatsiooniseadmeks on Domekt R 400 V.

Eramaja asub elamurajoonis, kus see on kirdest, kagust ja edelast ümbritsetud aiaga. Loode küljest on hoone ümbritsetud põllumaaga.



Joonis 2.3 Objekti 2 välikatsetuse skeem

**Objekt 3** on spordilabor, kus on kasutatud ümarat heitõhuresti YGC 250. Hoone kõrgus on 16 m ja heitõhuelement asub 570 mm kõrgusel. Heitõhuelement on ühendatud 250 mm diameetriga ventilatsioonitoruga. Ventilatsiooniseadmeks on Domekt R 700 V. Objekt asub tiheda asustusega alas, mis on lõunast ümbritsetud autotee ja hekiga (hoonest 4 m kaugusel) Hoone jätkub ida suunda ja on põhjast ja läänest ümbritsetud teiste hoonetega.



Joonis 2.4 Objekt 3 väliskatsetuse skeem

## 2.2 Ventilatsiooniprojektide analüüsi meetodid

Tehtud katsete tulemuste ja heitõhuelemtide toimivusele hinnangu andmiseks teostati ka ventilatsiooniprojektide analüüs. Analüüsis pöörati tähelepanu heitõhuelemtide paigutamisele joonistel ja nende vastavust ka tegelikule olukorrale. Arvesse võeti ka projektide seletuskirju ja et kas nendes on kajastatud ka heitõhu lahendust. Tehtud analüüsist saab teha järelduse, millistest juhendmaterjalidest projekteerijad on lähtunud ja kui palju on pööratud tähelepanu heitõhuelemtide paigalduse olulisusele. Lisaks saab kontrollida reaalse lahenduse vastavust seletuskirjas välja toodu normdokumentide nõuetele.

Analüüsitavad põhikriteeriumid on järgnevad:

- mis standardist on projekteerimisel lähtunud
- heitõhuklassi määramine
- heitõhu kiiruse vastavus normdokumentidele
- valitud heitõhuelemtide vastavus normdokumentidele
- heiteava asukoha valik õhuvõtuava suhtes ja selle vastavus normdokumentidel

Täpsemalt on analüüsitavad põhikriteeriumid välja toodud tabelis 3.1



## 2.3 Seinapealsete heitõhuelelementide välikatsed

### 2.3.1 Katsetavate seinapealsete heitõhuelelementide ülevaade

RV välisrest (tootja ETS NORD), mida kasutatakse ventilatsioonisüsteemide õhuvõtu- ja väljaviskeelemendina [7]. Resti põhiomadusteks on:

- hea veekindlus
- väike takistus ( $2 \text{ m/s} = 8 \text{ Pa}$ )
- koosneb paigaldusraamist, kaitsevõrgust ja väljavõetavast restiosast
- resti labad on suunatud diagonaalis alla

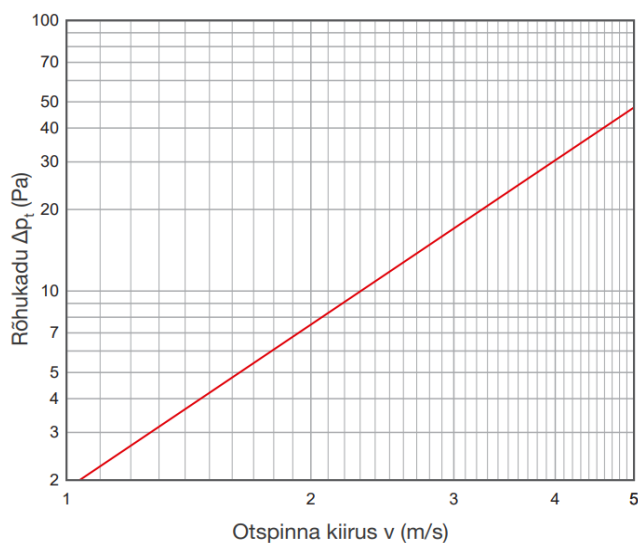
Nõuded paigaldusele väljaviskerestina kasutamisel:

- väljaviskel ei ole soovitatav ületada resti otspinnal kiirust  $4,5 \text{ m/s}$



Joonis 2.5 RV väljaviskerest 800x200 [7]

Takistus väljaviskel

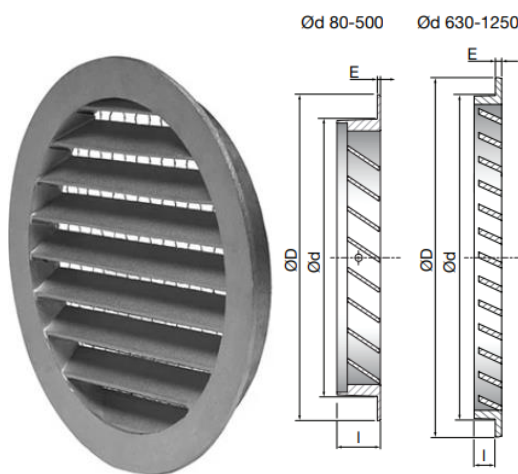


Joonis 2.6 RV välisresti takistus väljaviskel [7]

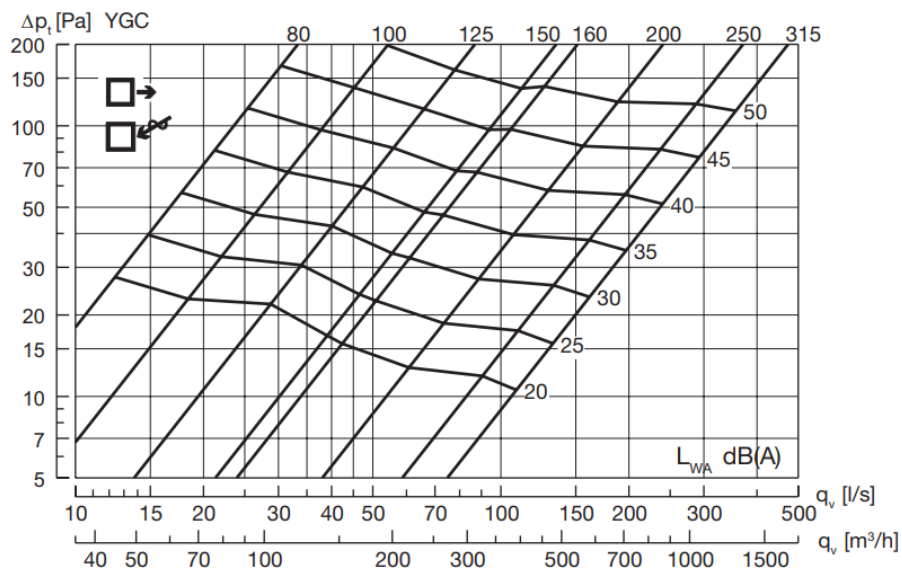
YGC välisrest (tootja Lindab), mida saab kasutada nii õhuvõtuks kui ka väljaviskeks [32]. Resti põhiomadusteks on:

- kaitsevõrk
- fikseeritud labadega, mis on suunatud diagonaalis alla
- keskmise aerodünaamilise takistusega (180 l/s  $\varnothing$ 250 rest = 50 Pa)

Nõuded paigaldusele ei ole tootelehel välja toodud.



Joonis 2.7 YGC välisrest.  $\varnothing d = 250$  mm,  $\varnothing D = 273$  mm,  $I = 21,5$  mm [32]



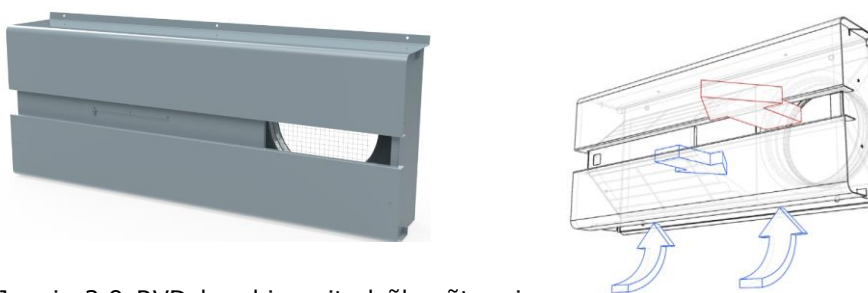
Joonis 2.8 YGC välisresti valikukarakteristik [32]

RVD kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviskerest (tootja ETS NORD) [11]. Resti põhiomadused:

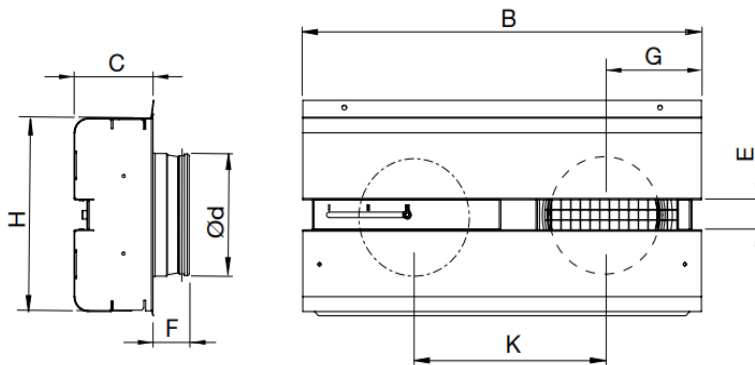
- pikk väljaviske õhujuga
- reguleeritav väljaviske kiirus
- õhuvõtt resti alaosast
- keskmise aerodünaamilise takistusega ( $80 \text{ l/s RVD } 200(s2) = 48 \text{ Pa}$ )

Nõuded paigaldusele:

- heitõhu kiirus peab olema vähemalt  $5 \text{ m/s}$

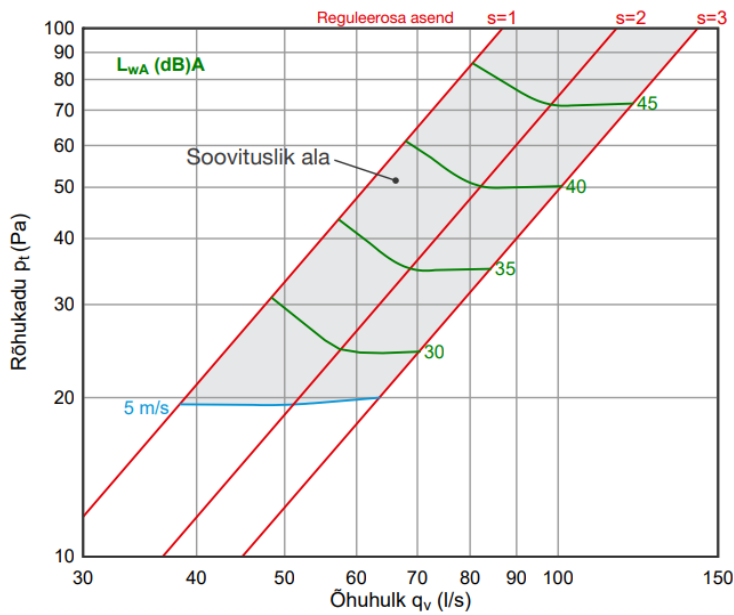


Joonis 2.9 RVD kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviskerest [11]



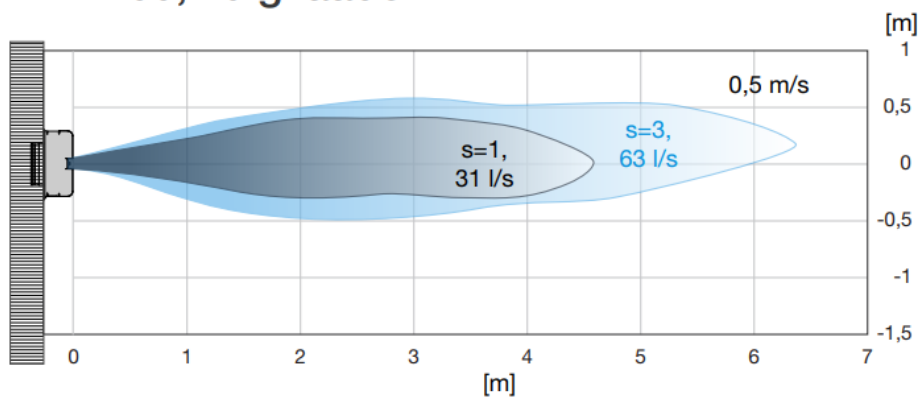
Joonis 2.10 RVD 200. .  $\varnothing d = 200 \text{ mm}$ ,  $B = 681$ ,  $H = 273 \text{ mm}$ ,  $C = 121 \text{ mm}$ ,  $K = 300 \text{ mm}$ ,  $E = 43 \text{ mm}$ ,  $F = 39 \text{ mm}$ ,  $G = 145 \text{ mm}$  [11]

## RVD 200 - väljavise



Joonis 2.11 RVD valiku karakteristik väljaviskele [11]

## RVD 200, külgsuuna



Joonis 1.12 RVD 200 tootja poolne heitõhu joa pikkuse simulatsioon õhuhulgal 63 l/s [11]

### 2.3.2 Uuritavad olukorrad

Uuritavate olukordade jaoks on tabelis 3.2 välja toodud parameetrid, mis olid enne katsete teostamist heitõhuelelementide kohta olemas. Saadud andmed on pärit tootjate tehnilistelt andmelehtedelt ja arvutustest. Heitõhu vooluhulk on paika pandud vastavalt ventilatsiooniseadmete tööprotsentidele ja nendele vastavad õhuhulgad on toodud välja tabelis 2.2 :

Katse 1 20%

Katse 2 40%

Katse 3 60%

Katse 4 80%

Heitõhu kiirus ühenduskanalis on arvutatud valemiga:

$$v = L / \left( \pi * \frac{D^2}{4} \right), \quad (2.1)$$

Kus  $L$  – õhuvooluhulk, m<sup>3</sup>/s

$\pi$  – Archimedese konstant

$D$  – ventilatsioonitoru diameeter, m

Tabel 2.2 Välikatsete koondinfo [7] [11] [32]





Uurimisobjekt Heitõhuelement	Katse Nr.	Heitõhu vooluhulk, l/s	Heitõhu kiirus, m/s		Heitõhuele- mendi rõhukadu, Pa
			Kanalis	Väljaviskel	
Objekt 1 RV 800x200	1	41	0,84	-	-
	2	82	1,67	-	-
	3	123	2,51	-	-
	4	164	3,34	-	-
Objekt 2 RVD 200 (s=2)	1	21	0,66	-	0
	2	42	1,32	-	13
	3	62	1,99	-	28
	4	83	2,65	-	51
Objekt 3 YGC 250	1	41	0,84	-	2
	2	82	1,67	-	10
	3	123	2,51	-	22
	4	164	3,34	-	39

Tehnilistel andmelehtedel ei ole välja toodud heitõhuelementide otspinna kiirust vastavalt õhuvooluhulgale. Heitõhuelemendil RV nomogrammilt saab rõhukao määrata ainult heitõhuresti otspinna kiiruse kaudu. Selle väärtuse saab objektil mõõtes.



### 2.3.3 Kasutatud seadmed ja abivahendid

Katsete teostamiseks olid vajalikud abivahendid ja mõõteseadmed, mis on välja toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Kasutatud mõõteseadmed ja vahendid. [33] [34] [35] [36]

Mõõtesead	Tootemark	Kirjeldus	Foto
<b>Suitsumasin</b>	Safex fog generaator F 2010	Suitsumasin koos suitsuvedeliku mahutiga	
<b>Anemomeeter</b>	Testo anemomeeter	Testo rõhumõõturiga Bluetoothi kaudu ühilduv anemomeeter, mis mõõdab tuulekiirust ja õhutemperatuuri Mõõtepiirkond: 0,1 kuni 15 m/s	
<b>Rõhumõõtur</b>	Testo 440dP rõhuvahe mõõtur	Testo rõhumõõtur, millega saab mõõta rõhuvahet. Seade ühildub anemomeetriga ja siis kuvatakse ekraanile peale rõhuvahe ka anemomeetrilt saadud õhutemperatuur ja õhukiirus. Mõõtepiirkond: -150 kuni +150 hPa -20 kuni +70 °C	
<b>Mõõdupuu</b>	(ise ehitatud)	5m mõõdupuu, kus vahelduvad punane ja valge värv iga 20cm järel. Mõõdupuu on lahti monteeritav 1m osadeks. Omavahel ühendatakse 1m osad M8 poltide ja liblikmutritega.	

Tabel 2.3 jätk

<b>Mõõteseade</b>	<b>Tootemark</b>	<b>Kirjeldus</b>	<b>Foto</b>
<b>Ruberoidist taustsein</b>	(ise ehitatud)	2x2,2m taustsein, mis on kokku pandud kahest 1m laiusest ja 2,2m pikkusest ruberoidi ribadest. Ruberoidi ribad on omavahel ühendatud hõõveldamata laua ja kruvidega.	
<b>Videokaamera</b>	GoPro HERO5	GoPro videokaamera koos jalaga	
<b>Tuulelipp</b>	Hawk MK2 RB2020	Tuulelipp tuule suuna määramiseks objektile	

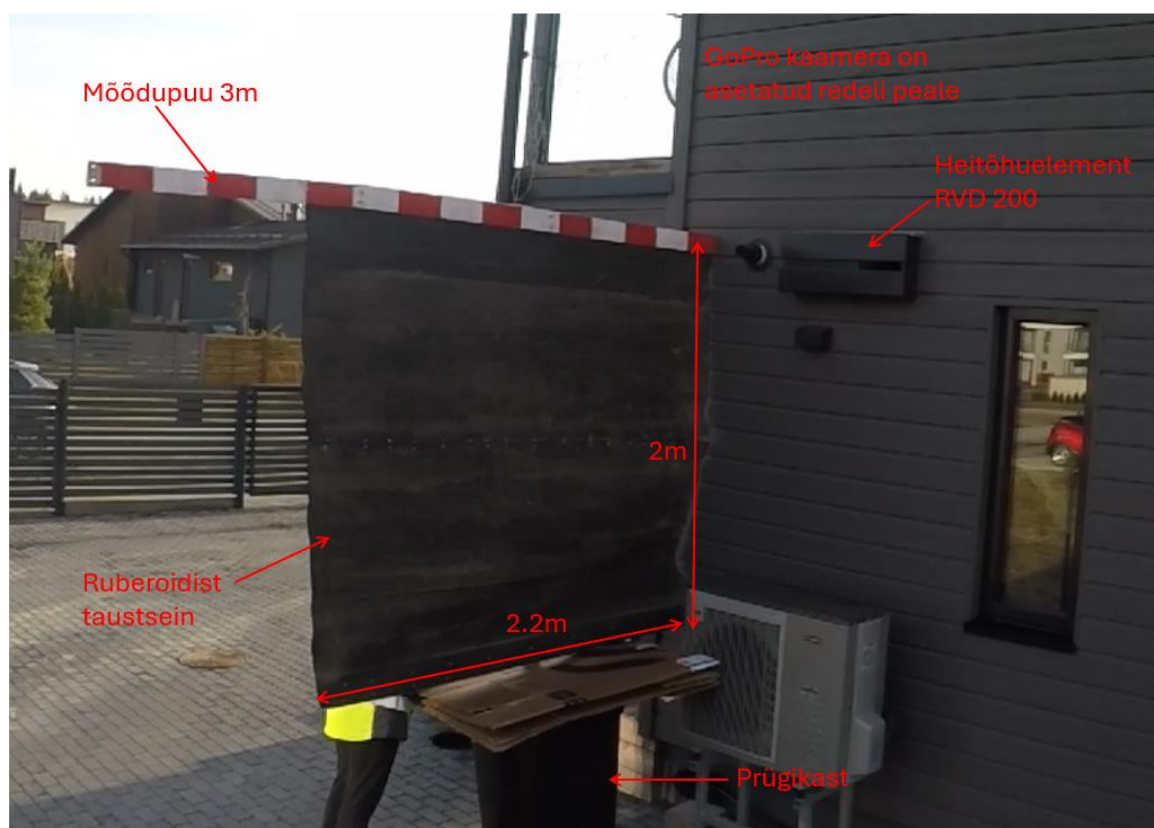
Muud abivahendid:

- papp
- mõõdulint
- kanalisatsioonitoru
- redel
- prügikast

Kõiki ülal välja toodud abivahendeid kasutasin oma katsete läbiviimiseks. Suitsumasinat kasutasin heitõhu visualiseerimiseks. Ruberoidist taustsein aitas eristada valget suitsu eredal taustal. Mõõdupuu on oluline, et saaks hiljem videotelt heitõhu hajumise kaugust hinnata. Anemomeetriga mõõdeti tuule kiirust, õhutemperatuuri ja heitõhuelemendist väljuva õhu kiirust. Rõhumõõturiga mõõdeti väljaviskeelemendi rõhukadu. GoPro kaamera oli abiks katsete jäädvustamisel. Pappi kasutati selleks, et vältida liigset suitsu leket siseruumidesse. Mõõdulindiga mõõdeti heitõhuelemendi mõõtmeid, kõrgust maapinnast ja väljavisketoru diameetrit. Kanalisatsioonitoru oli abiks suitsu suunamisel

väljaviskeseksiooni. Redelit kasutati videokaamera fikseerimiseks, et kaamera oleks kõrgemal asuva heitõhuelemendiga samal kõrgusel. Prügikast oli kõrgemal asuva heitõhuelemendi korral abiks ruberoidst taustseina üleval hoidmisel. Tuulelipp oli abiks tuulesuuna määramisel.

### 2.3.4 Katsete läbiviimise protseduur



Joonis 2.13 Katseseadmete paigutus välikatsetel

Fassaadipealsete heitõhuelementide toimivuse kvalitatiivseks uurimiseks teostati suitsukatsed erinevatel õhuhulkadel:

1. Väljaviskeelemendi õhujuga erinevatel õhuhulkadel, kus heitõhujuga visualiseeriti valge suitsuga
2. Kiirus heitõhurestis ja selle rõhukadu

Mõõtmisi teostati kolmel erineval objektil, kus oli kasutatud erinevaid fassaadipealseid heitõhuelemente. Mõõtmised toimusid väliskeskkonnas.



Enne katsete tegemise päeva valikut tuli tutvuda ilmaprognoosiga, et ilm oleks võimalikult tuulevaikne ja sademeteta. Katse alguses valmistati ette ventilatsiooniseade, mõõdeti tuulekiirus, õhutemperatuur ja määrati tuule suund. Seejärel mõõdistati erinevatel õhuhulkadel õhukiirus ventilatsiooni heitõhuelemendist väljudes ja heitõhuelemendi rõhukadu. Peale seda püstitati ruberodist taustsein ja vajaliku pikkusega mõõdupuu. Kaamera pandi paika vastavalt heitõhuelemendi asetusele.

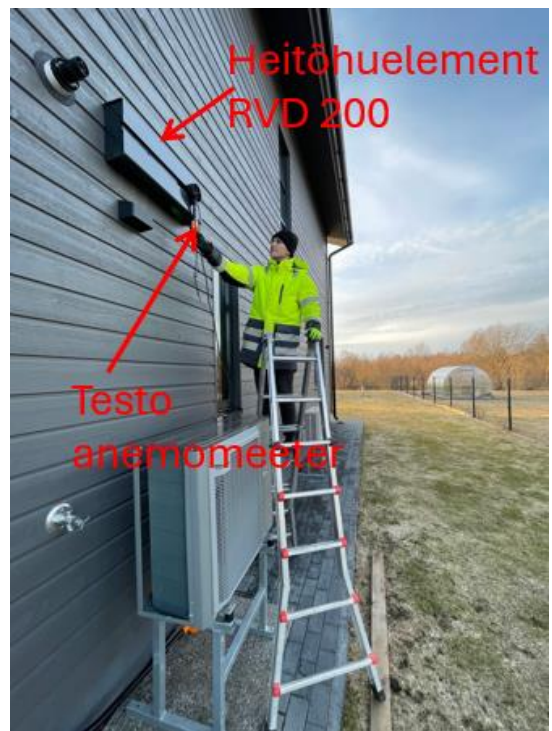
Heitõhuelemendi toimivust visualiseeriti valge suitsuga, mida lasti ventilatsiooniseadme väljaviskeseksiooni ~20 sekundit neljal erineval õhuhulgal. Õhuhulgad valiti ventilatsiooniseadme ventilaatorite tööprotsendi järgi, milleks olid 20%, 40%, 60% ja 80%, millele vastavad õhuhulgad on välja toodud tabelis 2.2. Katsete vahele jäeti nii palju aega, et suits ära hajuks ja järgmine katse oleks selgesti eristatav.

Protseduur:

1. Ventilatsiooniseadme ettevalmistus
2. Õhutemperatuuri mõõtmine
3. Tuulekiiruse mõõtmine
4. Tuule suuna määramine
5. Õhuvooluhulga seadistamine
6. Anemomeetriga heitõhuelemendist väljuva õhukiiruse mõõtmine
7. Rõhumõõturiga heitõhuelemendi takistuse mõõtmine
8. Mõõdupuu püstitamine
9. Taustaseina püstitamine
10. Kaamera õigele kohale ja kõrgusele püstitamine
11. Suitsu juhtimine väljaviskeseksiooni
12. Katse lõpp ja uue õhuhulgaga seadistamine järgmise katse jaoks



Joonis 2.14 Ventilatsiooniseadme ettevalmistus



Joonis 2.15 Heitõhuelelementist väljuva õhukiiruse mõõtmine



Joonis 2.16 Heitõhuelelementi rõhuvahe mõõtmine

## 2.4 Katsetulemuste analüüsi meetodid

Välikatsetel saadud heitõhuelementide suitsukatsete analüüsimiseks kasutatakse võrdlevat visuaalset meetodit. Uurimisobjektidel tehtud katsete fotode ja videote baasil antakse kvalitatiivne hinnang et hinnata suitsuga markeeritud heitõhujoa leviku mustritele, kiirusele ja ulatusele. Selleks on fikseeritud iga katse jaoks väliskeskkonna andmed (õhutemperatuur, tuulekiirus – ja suund). Samuti on kirja pandud erinevate ventilatsiooniseadmete õhuhulgad, millega katseid tehti. Välja arutati ka heitõhuelemendi ühenduskanali õhuvoolukiirus. Heitõhuelemendil mõõdeti ka takistust ja õhukiirust elemendi otspinnal.

Katsete tulemuste järgi saab tulemusi võrrelda heitõhuelementide tehnilistel andmelehtedel välja toodud andmetega. Tehnilistel andmelehtedel on välja toodud resti tekistus vastavalt õhukiirusele või resti otspinna kiirusele. Tootjad on enamasti välja toonud ka minimaalse soovitusliku heitõhu kiiruse. Tulemuste järgi saab anda hinnangu, et kuidas valitud heitõhuelement sobib konkreetsesse olukorda ja kas see vastab ka normdokumentides esitatud nõuetele.

### 3. TULEMUSED JA ANALÜÜS

Kõikide katsete heitõhu visualiseerimiseks on kasutatud valget suitsu ruberoidist taustseina taustal ja heitõhu leviku kaugust saab hinnata mõõdupuu järgi, kus punane ja valge vahelduvad iga 20 cm järel.

#### 3.1 Ventilatsiooniprojektide analüüs

Seletuskirjades pole heitõhuelementide valiku ja paigalduse kohta eraldi informatsiooni välja toodud. Objekti 2 seletuskirjas on välja toodud, millist heitõhuelementi kasutatakse, aga rohkem selle kohta infot pole. Kõikides seletuskirjades on välja toodud standardid, millest on lähtunud ventilatsiooni projekti koostamisel. Eeldan, et heitõhuelemendi valikul ja projekteerimisel on neid nõudeid arvesse võetud. Tabelis 3.1 on välja toodud kasutatud juhendmaterjalid, nõuded ja objektide reaalse lahenduse vastavus nendele.

Tabel 3.1 Katsetavate objektide heitõhuelementide vastavus projektis kasutatud normdokumentidele. [14] [15] [37]

Hindamiskriteerium	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3
<b>Standard, millest on lähtunud</b>	EVS 906:2018 EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019	EVS 906:2018 EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019	EVS 906:2018
<b>Heitõhuklass</b>	EHA 1	EHA 1	EHA 2
<b>Heitõhuelemendi tüübi kajastamine seletuskirjas</b>	Puudub	Ventilatsiooniseadme õhuvõtt ja väljavise on projekteeritud kombineeritud õhuvõtu väljaviske elementi kasutades hoone fassadile.	Puudub
<b>Heiteava kaugus külgnevast hoonest vähemalt 8m</b>	30 m	18 m	35 m
<b>Heiteava kaugus samal seinal asuvast sissevõtuavast on vähemalt 2m</b>	Ei asu samal seinal	300 mm	Ei asu samal seinal
<b>Õhu kiirus heiteavas on pidevalt vähemalt 2 m/s (EVS 906:2018)</b>	Süsteem on projekteeritud 180 l/s, seega on heitõhu kiirus ~ 2,1 m/s	Süsteem on projekteeritud 90 l/s, seega on heitõhu kiirus ~ 7,7 m/s	Süsteem on projekteeritud 160 l/s, seega on heitõhu kiirus ~ 4,4 m/s
<b>Õhuvõtuava asub heiteavast all pool</b>	Samal kõrgusel	Jah	Heiteava asub all pool

Tabel 3.1 jätk

Hindamiskriteerium	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3
Heitõhu vooluhulk < 500 l/s (0,5 m <sup>3</sup> /s)	180 l/s	90 l/s	160 l/s
Õhu kiirus heiteavas on pidevalt vähemalt 0,5 m/s (CEN/TR 16798- 4:2017)	~ 2,1 m/s	~ 7,7 m/s	~ 4,4 m/s
Resti kõrgus maapinnast >0,7 m	0,43 m	2,63 m	0,57 m
Heitõhk ei satu olulises koguses elamusse või kõrvalhoonesse	Projekteeritud väärtusel mitte 180 l/s	Väiksel õhuvooluhulgal võib sattuda heitõhku õhuvõtuavasse	Projekteeritud väärtusel mitte 170 l/s
Kaitsevõrgu olemasolu	19x19x1,05	On olemas(täpsem info puudub)	10x10 mm
Valmistatud tsingitud terasplekist ja pulbervärvitud	Kuumtsingitud terasprofiil ilmastikukindla pulgervärvkattega	Pulgervärviga kaetud tsingitud teraskorpus	Pulgervärvitud valualumiinium

Tabeli 3.1 järgi on näha, et normdokumendid, millest on lähtunud on projekteerijatel sarnased. Kõik on kasutanud standardit EVS 906:2018, mis võib olla tingitud sellest, et Eestis pole nii põhjalikku eluhoonet käsitlevat standardit. Standardis EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019 on küll kajastatud siseruumide ventilatsiooninõudeid, aga heitõhu kohta on infot vähe.

## 3.2 Objektidel kasutatud heitõhuelementide toimimine paigaldatud tingimustes

Võrdlevad pildid on asetatud järgnevides peatükkides nii, et vasakul pool on vaade küljelt ja paremal pool vaade diagonaalis. Sõnadele "küljelt" ja "diagonaalis" on lisatud hüperlink, mille kaudu saab vaadata vastava katse videoid.

### 3.2.1 Objekt 1

Objekt 1 on tegemist eramajaga, kus kasutati ETS NORD heitõhuelementi RV mõõtudega 800x200, mida testiti neljal erineval õhuhulgal. Mõõdupuu on objekti 1 katseteks monteeritud viie meetriseks.



Joonis 3.1 RV 800x200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=41$  l/s,  $v=0,2$  m/s,  $\Delta P=9$  Pa



Joonis 3.2 RV 800x200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=82$  l/s,  $v=1,0$  m/s,  $\Delta P=14$  Pa



Joonis 3.3 RV 800x200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=123$  l/s,  $v=1,7$  m/s,  $\Delta P=23$  Pa



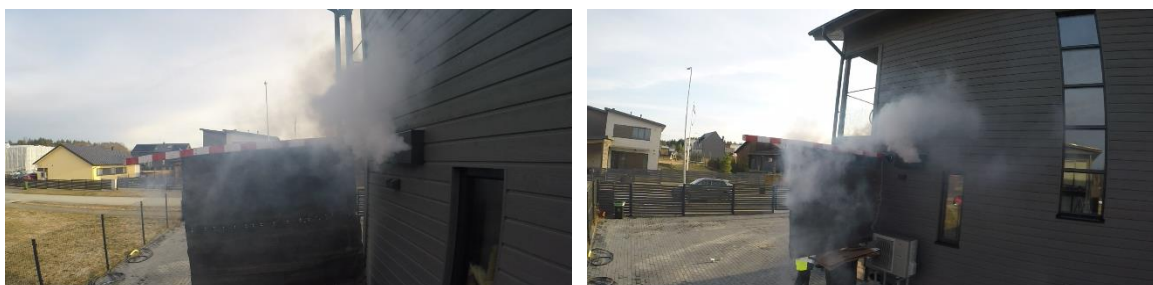
Joonis 3.4 RV 800x200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=164$  l/s,  $v=2,0$  m/s,  $\Delta P=34$  Pa

Objektil 1 tehtud katsete põhjal toimib heitõhuelelement projekteeritud õhuhulga korral (180 l/s) hästi, mida kajastab joonis 3.4. Katset tehti küll väiksemal õhuhulgal, kui 180 l/s, aga tehtud katsete põhjal saab järeldada, et mida suurem on õhuvooluhulk, seda kaugemale levib ka heitõhujuga. Heitõhk liigub hoonest eemale ja seguneb seal välisõhuga ning nii ei satu heitõhk ka uuesti siseruumidesse. Vajalik vahemaa kõrval asuva hoonega on samuti tagatud ja piiratud 7 m kaugusel asuva kõrge igihalja hekiga. Õhuvõtuelement asub maja nurga taga piisaval kaugusel (joonis 2.2).

Probleem võib tekkida siis kui seade töötab alla 60% ehk õhuhulgal alla 123 l/s. Sellisel juhul võib heitõhk koguneda hoone fassaadi äärde ja lahtise akna korral võib heitõhk sattuda uuesti siseruumidesse. Sellist olukorda ei teki aga juhul kui on tegemist tugeva külgtuulega.

### 3.2.2 Objekt 2

Objekti 2 puhul on tegemist eramajaga, kus on kasutatud ETS NORD kombineeritud heitõhu- ja õhuvõtuelementi RVD 200. Mõõdupuu on objekt 2 katsetel monteeritud kolme meetriseks.



Joonis 3.5 RVD 200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=21$  l/s,  $v=0,9$  m/s,  $\Delta P=4$  Pa



Joonis 3.6 RVD 200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=42$  l/s,  $v=2,8$  m/s,  $\Delta P=4$  Pa



Joonis 3.7 RVD 200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=62$  l/s,  $v=4,9$  m/s,  $\Delta P=15$  Pa



Joonis 3.8 RVD 200 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=83$  l/s,  $v=7,0$  m/s,  $\Delta P=46$  Pa

Antud olukorras toimib heitõhuelemeent hästi ja suures koguses heitõhu sattumist õhuvõtuavasse katsete põhjal ei täheldatud. Projekteeritud õhuhulgal ( $90$  l/s) on heitõhujuga piisavalt pikk, et see ei satuks uuesti siseruumidesse. Elemendi kõrgus on piisav, et selle toimimist ei mõjutaks sademed.

### 3.2.3 Objekt 3

Objekti 3 puhul on tegemist spordilaboriga, kus on kasutatud Lindab heitõhuresti YGC 250. Mõõdupuu on objekt 3 katsetel moneeritud nelja meetriseks.



Joonis 3.9 YGC 250 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=41$  l/s,  $v=0,8$  m/s,  $\Delta P=2$  Pa





Joonis 3.10 YGC 250 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=82$  l/s,  $v=2,0$  m/s,  $\Delta P=7$  Pa



Joonis 3.11 YGC 250 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=123$  l/s,  $v=3,3$  m/s,  $\Delta P=20$  Pa



Joonis 3.12 YGC 250 vaade küljelt ja diagonaalis.  $L=164$  l/s,  $v=4,3$  m/s,  $\Delta P=28$  Pa

Objektile valitud heitõhuelelement toimib projekteeritud väärtusel (160 l/s) hästi. Heitõhu pilv tekib heki juurde, mis on piisavalt kaugel hoonest endast, et vältida heitõhu sattumist siseruumidesse. Probleem võib tekkida aga siis kui ventilatsiooniseade töötab alla 60% (123 l/s). Sellisel juhul stagneerub heitõhu pilv hoone fassaadi ääres ja võib potentsiaalselt sattuda siseruumidesse akende kaudu. Õhuvõtust on aga heitõhuelelement piisavalt kaugel (joonis 2.4).

Objekti 3 puhul on oht, et 4 m kaugusel asuv hekk võib takistada heitõhu hajumist. Selle tagajärjel võib tuulevaikse ilmaga heitõhk koguneda heki ja hoone vahele. Kui hoones peaks olema kuskil aken avatud, siis võib heitõhk sattuda uuesti siseruumidesse. Seda ka juhul kui fassaadil peaks paiknema mõni õhuvõtuelement. Katsetelt on näha, et väikeste vooluhulkade juures jääb heitõhk hoone lähedale hajuma. Seda võib tehtud

katsetel mõjutada ka taustsein, sest see on täpselt risti tuule suunaga. Külgtuule puhul liigub heitõhk paralleelselt hoonega ja tuul aitab kaasa heitõhu hajumisele. Külgtuule mõju on näha hästi 82 l/s katse puhul (joonis 3.10), kus on näha kuidas heitõhujuga murdub pärast taustseina lõppu.

### **3.2.4 Objektidel kasutatud heitõhuelementide toimimise analüüs**

Katsete tegemisel oli oluliseks teguriks tuul. Tuul mõjutab suurel määrel heitõhu liikumist ja hajumist väliskeskkonnas. Katsetelt on näha, et isegi kui element on valitud õigesti, siis ebasoodne tuule olukord võib heitõhu suunata sinna, kuhu see ei tohiks sattuda (siseruumid, kõrval asuvad hooned). Ka liiga väike tuul ei ole heitõhuelementi toimimisele hea, sest kui seade töötab alla projekteeritud väärtuse, siis võib hoone välisseina juurde tekkida suure kontsentratsiooniga heitõhupilv.

Heitõhuelementide toimimist mõjutab ka hoonet ümbritsev keskkond. Hooned on enamasti ümbritsetud kas aia, heki või teise hoonega. Takistused tekitavad tuulesuuna muutust ja ka tuule koridore. Kui tuul on katusel ühest suunast, siis pörgates vastu maja seina muutub tuule suund. Selle tagajärjel võib tekkida tuulekoridor. Tuule suuna muutust ja tuulekoridori teket on näha joonistel 3.3, 3.6 ja 3.10. Täpsemalt saab tuule mõju näha nendele joonistele vastavate diagonaalis tehtud videote pealt. Objekti 1 puhul puhkus tuul diagonaalselt maja seinaga (joonis 2.2), aga maja seinaga kokku pörgates muutus tuule suund seinaga paralleelseks (joonis 3.3). Tuule suuna muutus välisseina juures toimus ka objektil 2. Objekti 3 puhul võib tekkida tuulekoridor hoone ja heki vahelisele alale.

Kui on tuulevaikne ilm, siis hoone fassaadi lähedal asuvad kõrged objektid (näiteks joonis 2.4) võivad aeglustada heitõhu segunemist hoonest eemal välisõhuga ja tekitada heitõhupilve hoone fassaadi äärde. Sellisel juhul võib tekkida olukord, kus heitõhk satub uuesti siseruumidesse.

Ümbritsev keskkond tekitab hoone ümber ka õhuvoolusid. Kui heitõhuelement asub 1/3 peal hoone kõrgusest, siis mõjutavad heitõhu hajumist ka hoone all osas tekkivad turbulentsed keerised. Selline olukord võib tekkida objektide 1 ja 3 puhul (joonis 2.2 ja 2.4).

Heitõhujoa leviku juures mängib rolli ka resti ehitus. Katsetelt on hästi näha, kuidas objekt 1 ja 3 puhul on heitõhuelementil alla suunatud ribad (joonis 3.3 ja 3.11). See suunab heitõhujoa alla. Objekti 3 puhul liigub heitõhujuga aga otse (joonis 3.7).

Suurimaks probleemiks katsetatud objektide puhul tooksin välja selle, et heitõhuelement asub liiga lähedal maapinnale. Objekti 2 puhul pole see probleemiks, küll aga objekti 1 ja 3 puhul. Objekti 1 puhul on tegemist eramajaga ja see võib olla tellija soov, kuid projekteerija võiks proovida enda seisukohta tellijale seletada. Talvel võib seina äärde tekkida lumekott ja sellisel juhul võib heitõhuelement suurte sademete

tõttu jääda lume alla. Sama olukord on objektil 3. Objekt 3 oli küll olemasolev hoone, kuhu rajati ventilatsioonisüsteem, seega seal ei ole nii palju võimalusi heitõhuelelemendi asukoha valikuks. Katsete järgi saab järeldada, et alla suunatud ribidega heitõhuelelementide puhul (objekt 1 ja 3) ei tohiks nendest all pool asuda õhuvõttu ega avatavaid aknaid, sest sellisel juhul võib väljaviske õhk uuesti õhuvõttu sattuda. Kombineeritud heitõhu- ja väljaviskeelement (objekt 2) tekitab aga sirge joa hoonest eemale ja seda võiks kasutada ka kortermajade puhul, sest heitõhu õhuvõttu sattumise tõenäosus on väike.

Objekti 2 puhul on projekteerija kombineeritud heitõhu- ja õhuvõtuelemendi puhul silmas pidanud paigaldaja poolset soovitus heitõhuelemendist väljuva kiiruse tagamisel. See tagab heitõhujoa suure kiirusega väljumise elemendist ja nii liigub heitõhk kohe hoonest eemale ja ei satu ka õhuvõttu (joonis 3.8).

### 3.3 Väljaviskeseadmete aerodünaamiliste näitajate analüüs

Selles peatükis võrreldakse katsetatud heitõhuelelementide andmelehtedel välja toodud tehniliste andmete võrdlust katsete käigus saadud andmetega. Heitõhu kiirus on leitud valemiga 2.1.

Heitõhurestide efektiivne pindala leitud valemiga [6]:

$$A_{eff} = Q * \sqrt{\frac{\rho}{2 * \Delta P}}, \quad (3.1)$$

Kus  $A_{eff}$  – resti efektiivne pindala, m<sup>2</sup>

$Q$  – õhuvooluhulk, m<sup>3</sup>/s

$\rho$  – õhu tihedus, 1,225 kg/m<sup>3</sup>

$\Delta P$  – heitõhuresti rõhukadu, Pa

Arvutuslik resti otspinna kiirus on leitud valemiga [6]:

$$V_{face} = Q / A_{eff}, \quad (3.2)$$

Kus  $V_{face}$  – resti otspinna kiirus, m/s

$Q$  – õhuvooluhulk, m<sup>3</sup>/s

$A_{eff}$  – resti efektiivne pindala, m<sup>2</sup>

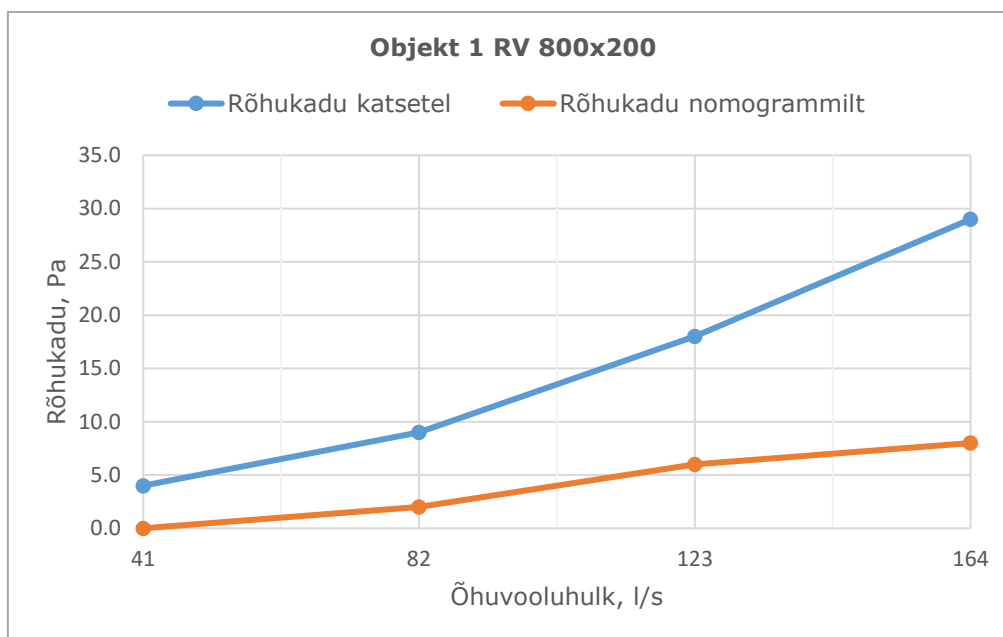
#### 3.3.1 Heitõhuelelement RV

ETS NORD toote RV tootelehel on nomogramm, kus on välja toodud heitõhuresti rõhukao sõltuvus otspinna kiirusest. Nomogrammil toodud väärtuste ja katsetel saadud tulemuste erinevused on välja toodud tabelis 3.2 ja joonisel 3.13.

Tabel 3.2 RV 800x200 heitõhuresti aerodünaamilised näitajad

Katse nr.	Heitõhu vooluhulk, l/s	Heitõhu kiirus kanalis, m/s	Efektiivne pindala, m <sup>2</sup>	Resti otspinna kiirus, m/s			Takistus, Pa		
				MÕ.	ARV.	Δ	MÕ.	NOM.	Δ
1	41	0,8	0,0160	0,2	2,6	2,4	4	0	4
2	82	1,7	0,0214	1,0	3,8	2,6	9	2	7
3	123	2,5	0,0227	1,7	5,4	3,7	18	6	12
4	164	3,3	0,0238	2,0	6,9	4,9	29	8	21

MÕ. – mõõdetud  
 ARV. – arvutuslik  
 NOM. – nomogram  
 Δ – erinevus mõõdetud ja arvutusliku/nomogrammi väärtuse vahel



Joonis 3.13 Heitõhuresti takistuse sõltuvus resti otspinna kiirusest

Jooniselt 3.13 on näha, et katsetel saadud rõhukao mõõtmise tulemused on tunduvalt suuremad kui tootja poolisel nomogrammil. Tulemuste erinevus võib olla tingitud sellest, et nomogramm on mõeldud kõigile heitõhuelelementide mõõtudele ja erinevate mõõtude kohta kindlat nomogrammi ei ole. Viga võib tuleneda ka katsetel mõõdetud resti otspinna kiirusest, sest rest on pikliku ehitusega ja kiirused on eri resti punktides erinev.

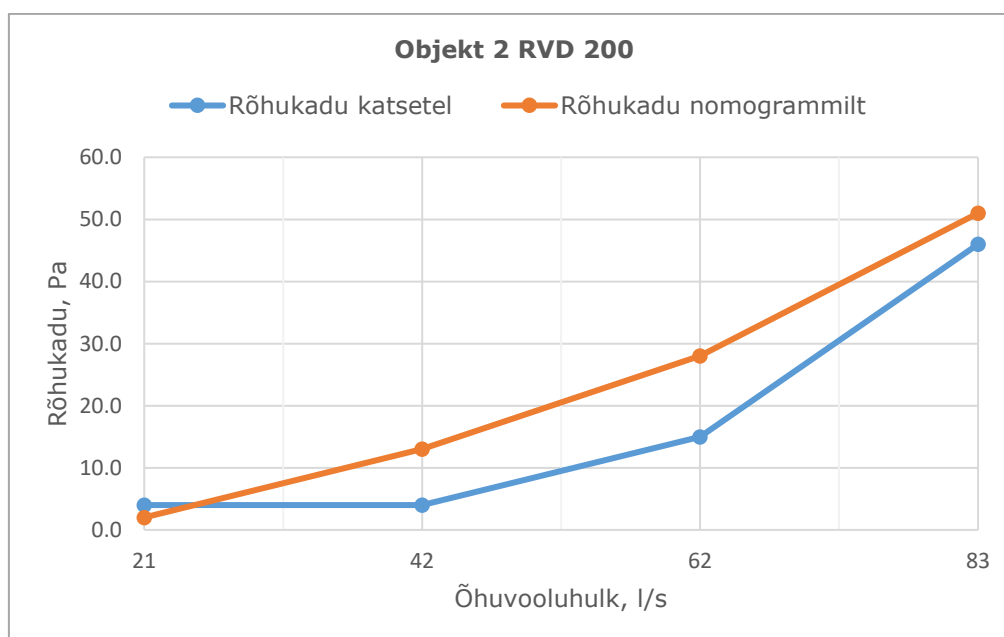
### 3.3.2 Heitõhuelement RVD

ETS NORD on RVD tootelehel välja toonud heitõhuelemendi takistuse sõltuvuse heitõhu vooluhulgast. Need väärtused, mis pole nomogrammilt saadavad leidsin kolme punktiga interpoleerimise teel.

Tabel 3.3 RVD 200 kombineeritu õhuvõtu- ja väljaviskeresti aerodünaamilised näitajad

Katse nr.	Heitõhu vooluhulk, l/s	Heitõhu kiirus kanalis, m/s	Efektiivne pindala, m <sup>2</sup>	Resti otspinna kiirus, m/s			Takistus, Pa		
				MÕ.	ARV.	Δ	MÕ.	NOM.	Δ
1	21	0,7	0,0012	0,9	1,6	0,7	4	2	2
2	42	1,3	0,0087	2,8	4,8	2,0	4	13	9
3	62	2,0	0,0089	4,9	7,0	2,1	15	28	13
4	83	2,6	0,0090	7,0	9,2	2,2	46	51	5

MÕ. – mõõdetud  
 ARV. – arvutuslik  
 NOM. – nomogram  
 Δ – erinevus mõõdetud ja arvutusliku/nomogrammi väärtuse vahel

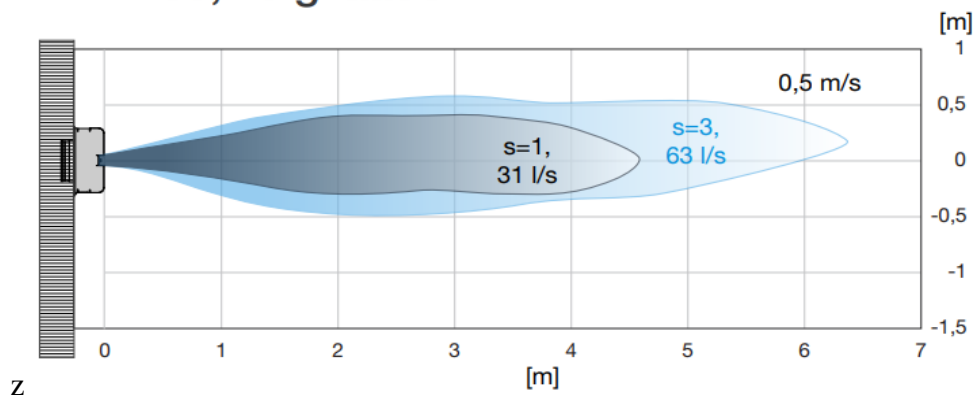


Joonis 3.14 Kombineeritud heitõhu – ja õhuvõturesti takistuse sõltuvus õhuvooluhulgast

Jooniselt 3.14 on näha, et katsetel saadud rõhukaod on väiksemad kui tootja poolsele nomogrammilt. See võib olla tingitud sellest, et ventseadmele seadistatud õhuhulk ei vasta tegelikkusele. Erinevust võib tekitada veel ka mõõteviga.

ETS NORD on loonud kombineeritud heitõhu- ja õhuvõtturestile õhujoa pikkuste simulatsioonid vastavalt õhuvooluhulgale. RVD 200 tootja poolsed simulatsioonid on tehtud õhuvooluhulgal 63 l/s, asendis  $s=3$ .

### RVD 200, külgvaade



Joonis 3.15 RVD 200 tootjapoolne külgvaade õhuhulgal 63 l/s, asendis  $s=3$



Joonis 3.16 RVD 200 objektil tehtud katse õhuhulgal 62 l/s, asendis  $s=2$

Reaalse katse ja tootja simulatsiooni võrdlusest on näha, et 6,3 m õhujuga on tagatud ideaaltingimustes ja kui heitõhuelement on asendis 3. Väliskeskkond aga kahjuks pole ideaalne ja seal mängib heitõhu joa kujundamisel suurt rolli tuul. Objektile on heitõhuelement asendis 2. Heitõhu kiirus on 4,9 m/s ja juga levib ca 3 m kaugusele. Objekti katse olukorras oli tuul 1,5 m/s ja puhanguiti kuni 2,5 m/s. Kui vaadata tootja poolset joa simulatsiooni, siis  $s=1$  korral peaks juga levima ca 4,5 m ja  $s=3$  asendis ca 6,3 m. Sellisel juhul võiks asendis  $s=2$  puhul heitjuga levida kuni 5,4 m kaugusele. Sellist tulemust me katsetel ei saanud, sest joa pikkust mõjutasid välistegurid. Joo pikkusele aitas katse puhul kaasa ka tuule suunas olev taustsein, mis välistas joo murdmist kohe elemendist väljudes.

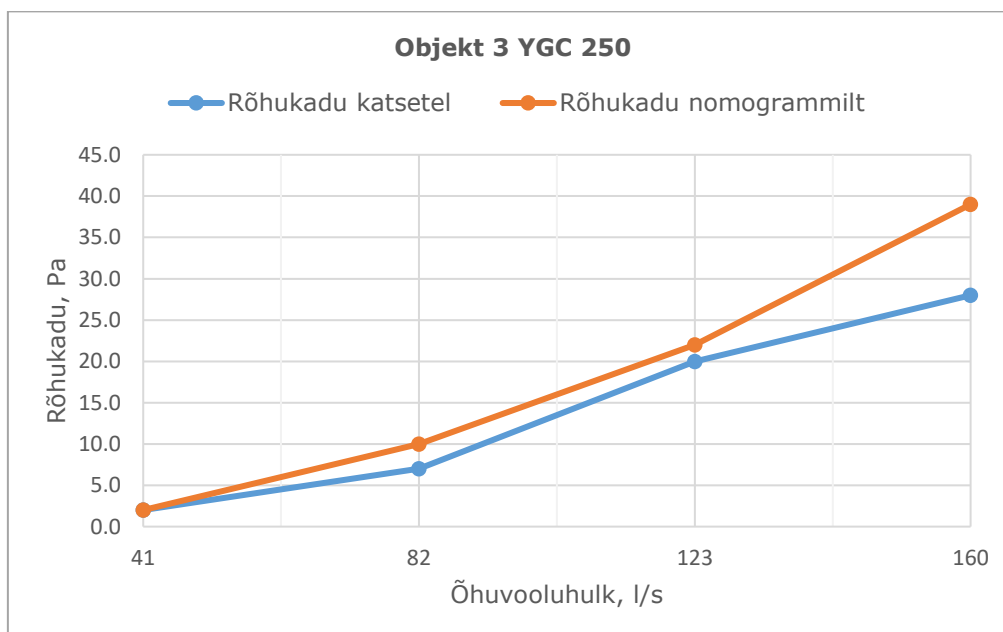
### 3.3.3 Heitõhuelement YGC

Lindab on YGC tootelehel välja toonud heitõhu vooluhulga ja takistuse omavahelisest sõltuvusest. Need väärtused, mis pole nomogrammilt saadavad leidsin kolme punktiga interpoleerimise teel.

Tabel 3.4 YGC 250 heitõhuresti aerodünaamilised näitajad

Katse nr.	Heitõhu vooluhulk, l/s	Heitõhu kiirus kanalis, m/s	Efektiivne pindala, m <sup>2</sup>	Resti otspinna kiirus, m/s			Takistus, Pa		
				MÕ.	ARV.	Δ	MÕ.	NOM.	Δ
1	41	0,8	0,018	0,8	2,3	1,5	2	2	0
2	82	1,7	0,0203	2,0	4,0	2,0	7	10	3
3	123	2,5	0,0201	3,3	6,1	2,8	20	22	2
4	164	3,3	0,0205	4,3	8,0	3,7	28	39	11

MÕ. – mõõdetud  
 ARV. – arvutuslik  
 NOM. – nomogram  
 Δ – erinevus mõõdetud ja arvutusliku/nomogrammi väärtuse vahel

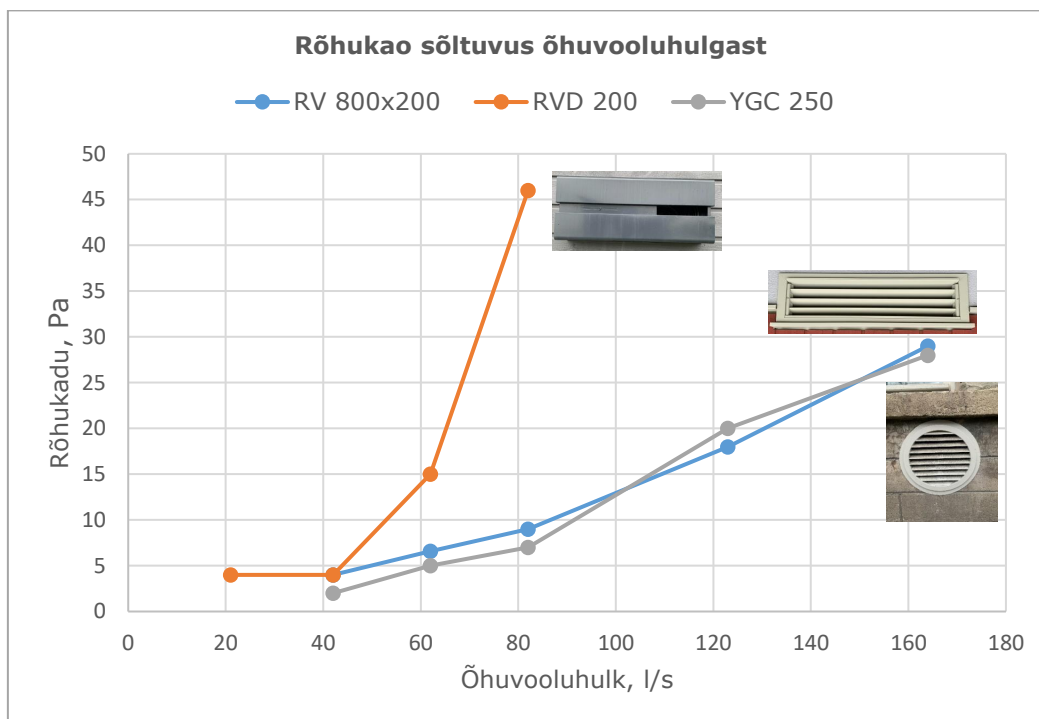


Joonis 3.17 Heitõhuresti takistuse sõltuvus õhuvooluhulgast

Jooniselt 3.17 on näha, et katsetel saadud tulemused erinevad vähesel määral tootja poolt esitatud nomogrammilt toodud väärtustest. See võib olla tingitud sellest, et heitõhurest on lihtsa ehitusega ja samas mõõdus mis ka ühendustoru. Igale mõõdule on ka vastav nomogramm ja see teeb ka nomogrammi täpsemaks.

### 3.3.4 Heitõhuelelementide omavaheline võrdlev analüüs

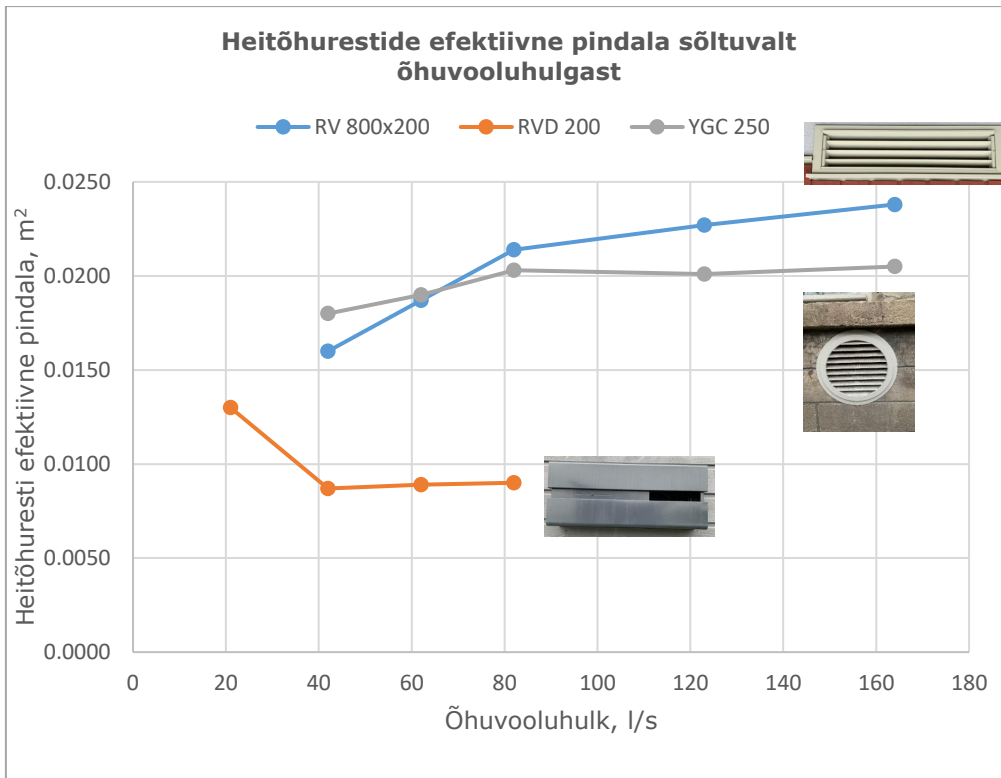
Objektidel oli kasutatud kolme erinevat heitõhueleменти. Kõik need olid ka erineva ehitusega ja seega ka aerodünaamilised omadused on erinevad.



Joonis 3.18 Katsetel testitud heitõhuelelementide rõhukadu sõltuvalt õhuvooluhulgast

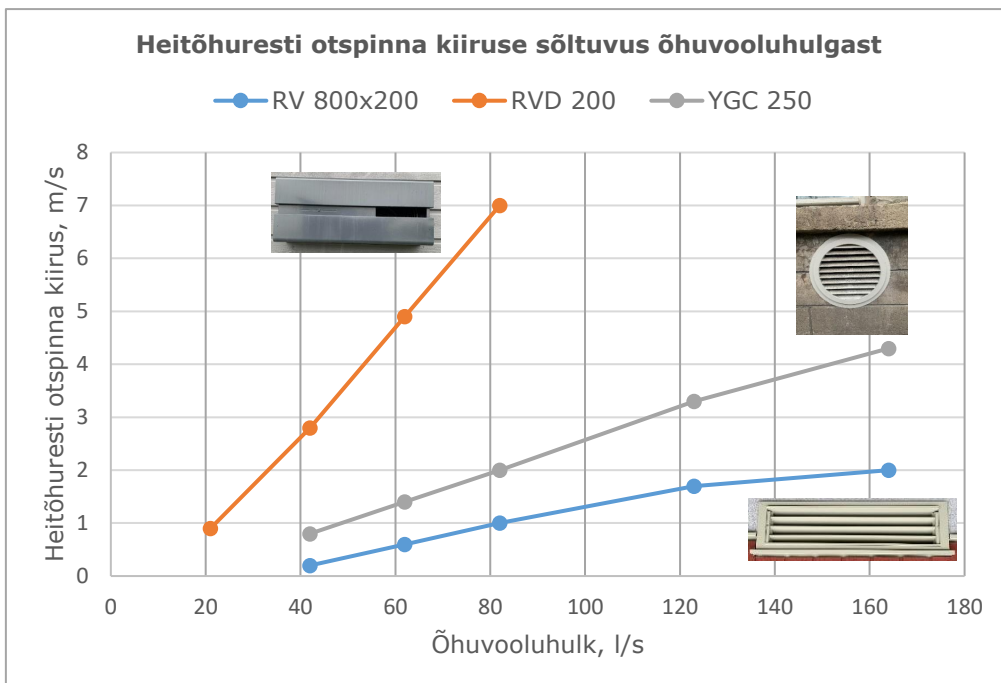
Jooniselt 3.18 on näha, et heitõhuelelemendid RV ja YGC on sarnase aerodünaamilise takistusega sõltuvalt õhuhulgast. See võib olla tingitud sellest, et nende ehitus on sarnane. Mõlemal restil on heiteavas putukavõrk ja ribad, mis on suunatud alla. RVD on aga suurema takistusega ja ehituselt erinev. RVD puhul on heitõhuava ees ainult putukavõrk ja seejärel suunatakse heitõhk läbi peenikese pilu hoonest välja. Sellest tingituna on RVD takistus suurem kui teistel, sest ava efektiivne pindala on väiksem. Elementide efektiivse pindala erinevus on toodud joonisel 3.19.





Joonis 3.19 Katsetel testitud heitõhuelelementide efektiivse pindala võrdlus

Lisaks saab võrrelda ka heitõhurestide otspinna kiiruste sõltuvust õhuvooluhulgast.



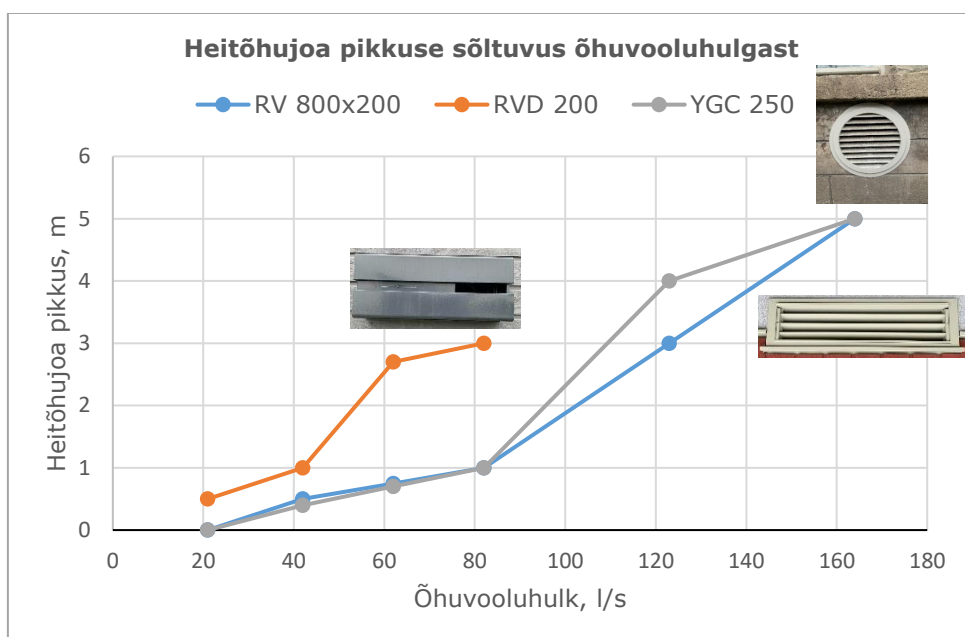
Joonis 3.20 Katsetel testitud heitõhuelelementide rõhukadu otspinna kiiruse sõltuvus õhuvooluhulgast

Jooniselt 3.20 on näha, et suurim otspinna kiirus on RVD kombineeritud õhuvõtu- ja heitõhuelemendil suurim. See on tingitud sellest, et kombineeritud heitõhuelemendil on

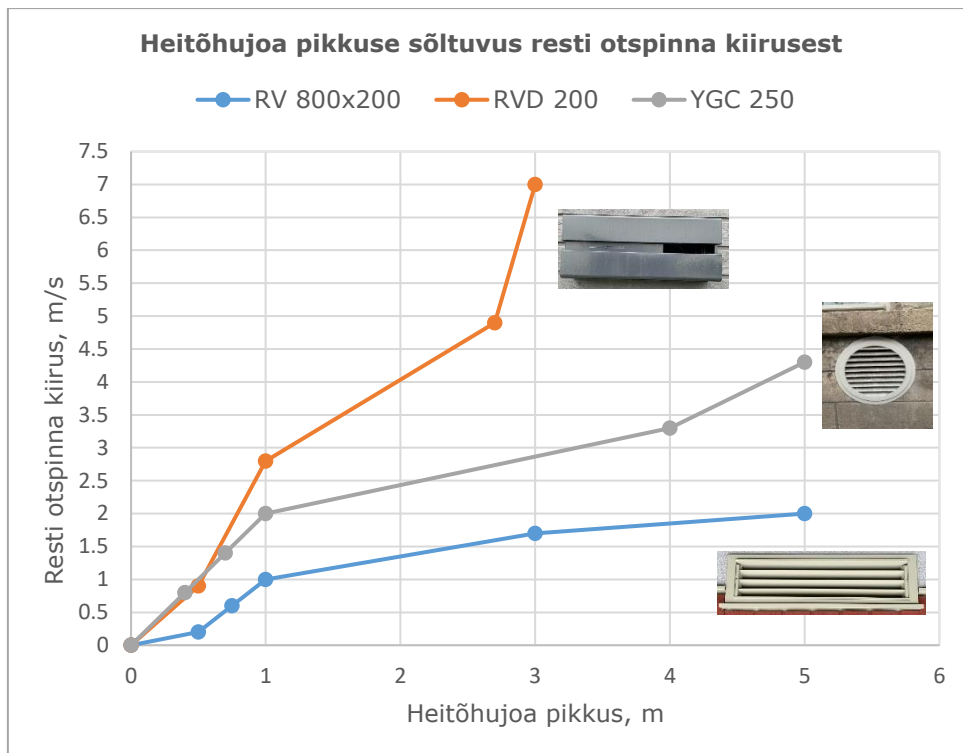
efektiivne pindala väiksem kui teistel elementidel (joonis 3.19). See on vajalik selleks, et heitõhk väljuks elemendist suurema kiirusega, et väljaviskeõhk ei satuks uuesti lähedal asuvasse õhuvõttu. Suur kiirus annab heitõhujoale jõu ja seega on juba pikk ja hoonest eemale suunatud.

YGC otspinna kiirus on suurem kui RV oma, sest selle efektiivne pindala on ka väiksem (joonis 3.19). Ehituselt on need ka erinevad, YGC on ümar ja RV kandiline. Kuna RV- I on efektiivne pindala suurem kui teistel, siis on see tehtud katsete põhjal ka kõige madalama takistusega element.

Katsete tulemuste põhjal saab võrrelda ka heitõhuelementide joa pikkust sõltuvalt õhuvooluhulgast ja resti otspinna kiirusest.



Joonis 3.21 Katsetel testitud heitõhuelementide heitõhujoa pikkuse sõltuvus õhuvooluhulgast



Joonis 3.22 Katsetel testitud heitõhuelelementide heitõhujoa pikkuse sõltuvus resti otspinna kiirusest.

Katsetel saadud heitõhujoa pikkus sõltus õhuvooluhulgast ja resti otspinna kiirusest. Joonisel 3.21 ja 3.22 esitatud heitõhujoa pikkused on võetud tehtud katsete põhjal keskmiselt. Heitõhujoa levikut mõjutab palju tuul ja seega ei kajasta joonis 3.21 ja 3.22 kontrollitud keskkonnas heitõhujoa levikut. Kohati levis heitõhujuga RV ja YGC puhul isegi kaugemale kui 5 m, aga seda ei saa hinnata, sest mõõdupuu oli maksimaalselt 5 m pikk. Katsete tulemustest on näha, et mida suurem õhuvooluhulk ja resti otspinna kiirus, seda kaugemale ka heitõhujuga levib.

Praktilisest seisukohast on mõlemad võrreldavad suurused nii takistus kui ka heitõhuresti otspinna kiirus olulised. Heitõhu otspinna kiirus näitab heitõhuelelementist väljuva heitõhu kiirust. Kui projekteerija arvestab ainult heitõhu kanalisis oleva kiirusega, siis see ei taga heitõhuelelementi efektiivset toimimist. Kuna heitõhuelelementil on ka aerodünaamiline takistus, siis peab resti otspinna kiirus 2 m/s olema ikkagi tagatud. Vastasel juhul ei haju heitõhujuga hoonest piisavalt kaugel.

Mida suurema rõhukaoga on element, seda suurem peab olema ka kiirus heitõhu torustikus. Seega peab suurematel pööretel töötama ka ventilaator. See aga tekitab suurema elektritarbimise, mis ei ole efektiivne. Sellest lähtuvalt võiks projekteerija arvesse võtta ka rõhukadu heitõhuelelementi valikul.

### 3.4 Heitõhuelemendi ja õhuvõtu omavaheline arvutuslik kaugus

Selles peatükis võrreldakse objektil paika pandud heitõhuelemendi asetuse paiknemist vastavalt erinevatele juhendmaterjalidele. Arvutustel võetakse arvesse objektide heitõhuklasse ja projekteeritud heitõhuväärtusi (tabel 3.1).

#### 3.4.1 EVS 906:2018

EVS 906:2018 standardi järgi leitakse fassaadis paiknevate heitõhu- ja õhuvõtuava vaheline kaugus EHA 1 ja EHA 2 jaoks järgnevalt [14]:

$$l + \Delta h > 0,613 * \sqrt{q_v} , \quad (3.3)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool l/s

Algsest valemist lähtuvalt leiame restide vahekauguse:

$$l = 0,613 * \sqrt{q_v} - \Delta h$$

Valemit kasutatakse olukorras, kus välisseinal paiknev õhuvõtuava on allpool või samal kõrgusel välisseinal paikneva heitõhuelemendiga.

Ainuke objekt, kus heitõhuelement asub õhuvõtuelemendiga samal seinal on objekt 2. Teistel objektidel asuvad elemendid hoone erinevatel seintel. Objektile asuvate vahekauguste arvestamisel võtsin arvesse vahemaa tsentrist tsentrisse.

Tabel 3.5 ÕV ja VV vaheline kaugus vastavalt standardile EVS 906:2018

Objekt	$\Delta h, m$	$q_v, l/s$	$l, m$	Objektile olev vahekaugus, m
<b>Objekt 1 RV 800x200</b>	0	180	8,2	6,8
<b>Objekt 2 RVD 200 (s=2)</b>	0	90	5,8	0,3
<b>Objekt 3 YGC 250</b>	Valem selles olukorras ei kehti, sest ÕV asub üleval pool VV			

### 3.4.2 CEN/TR 16798-4:2017

CEN/TR 16798-4:2017 juhendmaterjali järgi leitakse fassaadis paiknevate heitõhu- ja õhuvõtuava vaheline kaugus EHA 1 ja EHA 2 jaoks järgnevalt [15]:

Kui õhuvõtuava asub fassaadil allpool või on võrdne heitõhuavaga fassaadil [15]:

$$2l + \Delta h > 0,308 * \sqrt{q_v} , \quad (3.4)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool l/s

Vahemaa  $l$ , leiame järgnevalt:

$$l = \frac{0,308 * \sqrt{q_v} - \Delta h}{2}$$

Seda valemit kasutame objekti 1 ja 2 puhul.

Välisseinal paiknev õhuvõtuava on ülevalpool välisseinal paiknevast heitõhuelelemendist standardi CEN/TR 16798-4:2017 järgi [15]:

Õhukategooria vastab EHA 1 ja EHA 2 klassile [15]:

$$3,07 l - \Delta h > 0,613 * \sqrt{q_v} , \quad (3.5)$$

Kus  $l$  – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m

$\Delta h$  – restide kõrguste vahe (vertikaalsuunas), m

$q_v$  – heitõhu nõutav mahtõhuvool l/s

Vahemaa  $l$ , leiame järgnevalt:

$$l = \frac{0,613 * \sqrt{q_v} + \Delta h}{3,07}$$

Tabel 3.6 ÕV ja VV vaheline kaugus vastavalt standardile CEN/TR 16798-4:2017

Objekt	$\Delta h, m$	$q_v, l/s$	$l, m$	Objektile olev vahekaugus, m
<b>Objekt 1 RV 800x200</b>	0	180	2,1	6,8
<b>Objekt 2 RVD 200 (s=2)</b>	0	90	1,5	0,3
<b>Objekt 3 YGC 250</b>	2,43	160	3,3	15,8

### 3.4.3 ASHRAE 62.1 ja ASHRAE 62.2

ASHRAE 62.1 järgi saab leida õhuvõtu ja heitõhuelelemendi omavahelise minimaalse kauguse ka lahjendusteguri kaudu [18]:

$$L = 0,04 * \sqrt{Q} * (\sqrt{DF} - U/2), \quad (3.6)$$

Kus  $L$  – õhuvõtu- ja väljaviskeresti vahekaugus, m

$Q$  – heitõhuhulk, l/s

$DF$  – lahjendustegur (tabel 2.1)

$U$  – õhukiirus heitõhu kanalis, m/s

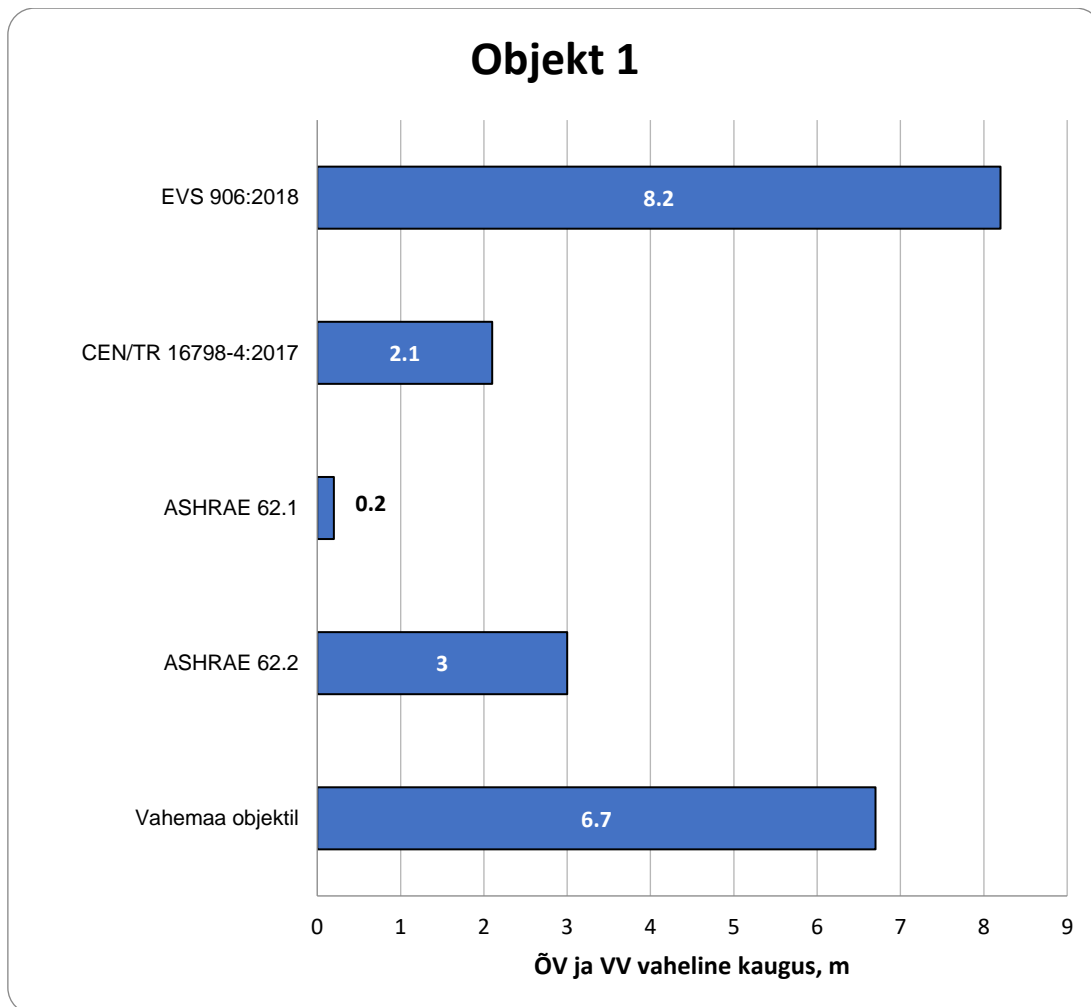
Tabel 3.7 ÖV ja VV vaheline kaugus vastavalt standardile ASHRAE 62.1

Objekt	Q, l/s	U, m/s	L, m	Lahjendustegur DF	Objektile olev vahekaugus, m
<b>Objekt 1 RV 800x200</b>	180	3,7	0,2	5	6,8
<b>Objekt 2 RVD 200 (s=2)</b>	90	2,9	0,3	5	0,3
<b>Objekt 3 YGC 250</b>	160	3,3	0,8	10	15,8

ASHRAE 62.2 standardis, mis käsitleb ermajade lahendusi, on välja toodud, et õhuvõtt peab saasteallikast olema vähemalt 3 m kaugusel [19].

### 3.4.4 Juhendmaterjalide võrdlus

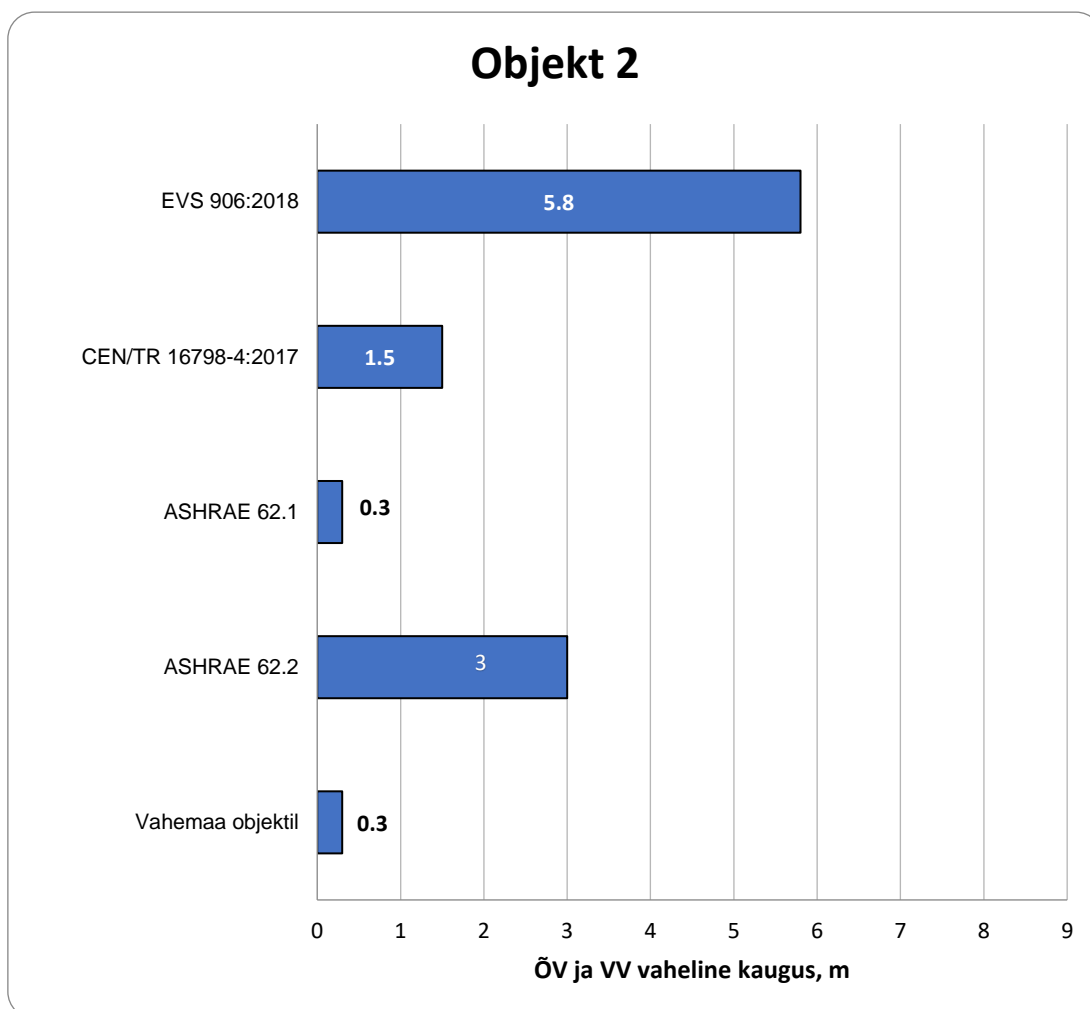
Võrreldavad juhendmaterjalid annavad kõik erinevad tulemused õhuvõtu- ja heitõhuelelemendi vaheliseks vahemaaks. Juhendmaterjalide järgi arvutatud vahemaad objektide õhuhulkade juures kajastavad joonised 3.23 – 3.25.



Joonis 3.23 Objekti 1 heitõhuelelemendi minimaalne kaugus õhuvõtust projektijärgse õhuhulga korral 180 l/s

Objekt 1 puhul on tegemist elumajaga ja projekteerimisel on aluseks võetud standard EVS 906:2018 ja EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019. Heitõhu täpsem käsitlemine on kajastatud standardis EVS 906:2018. Sellest lähtuvalt ei ole objekt 1 nõutud vahemaa tagatud (joonis 3.23), aga realses olukorras heitõhu sattumine õhuvõttu on minimaalne kui mitte olematu.

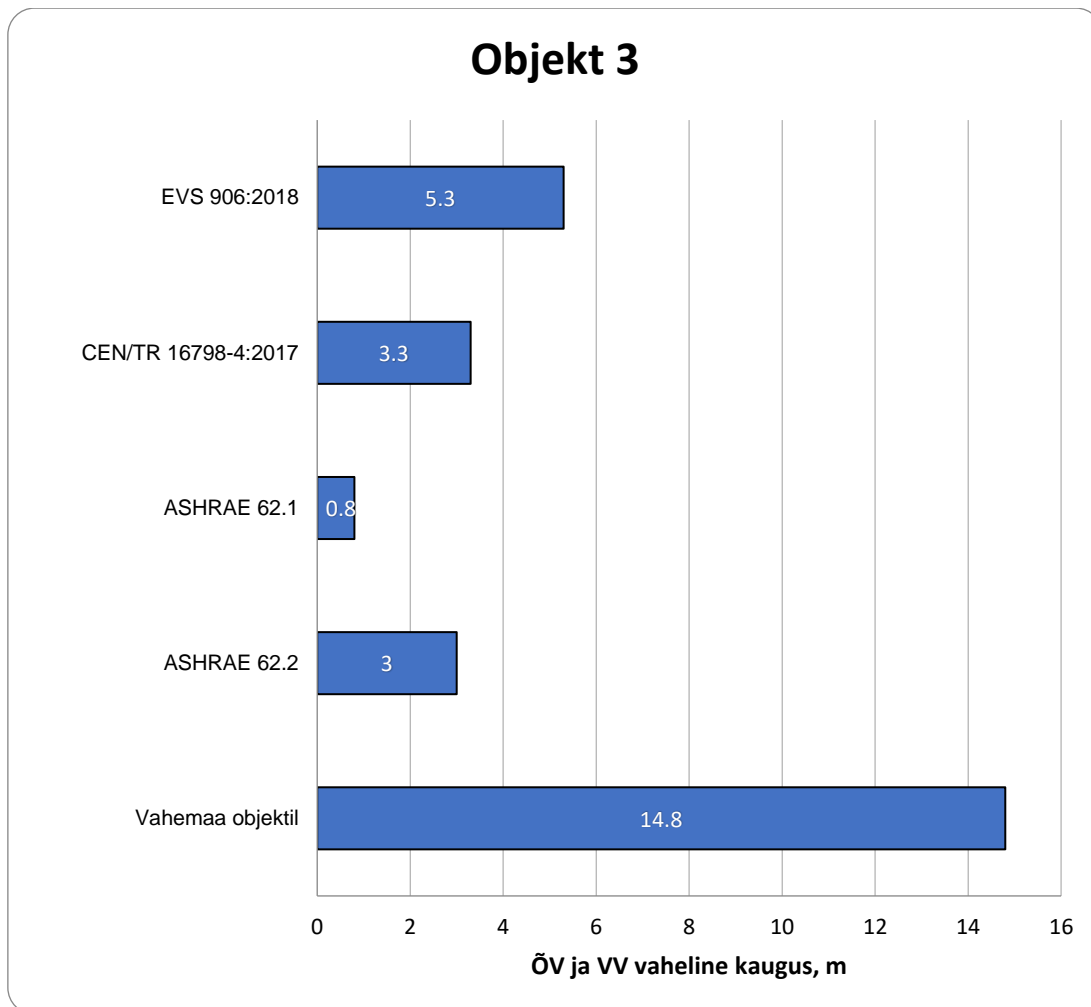
Tabel 3.9 Objekti 2 heitõhuelemendi minimaalne kaugus õhuvõtust projektijärgse õhuhulga korral 90 l/s



Joonis 3.24 Objekti 2 heitõhuelemendi minimaalne kaugus õhuvõtust projektijärgse õhuhulga korral 90 l/s

Objekti 2 puhul on tegemist samuti elumajaga ja projekteerimiseks on aluseks võetud standardid EVS 906:2018 ja EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019. Objekti 2 puhul kasutati aga kombineeritud heitõhu- ja väljaviskeelementi. Seega ei saa selle projekteerimisel standardis nõutule toetuda. Realne vahemaa objektil on tagatud ainult ASHRAE 62.1 järgi, mis ei käsitle eluhooneid ja ei anna antud olukorras õiget tulemust. Kombineeritud elemendi puhul tuleb tagada õige otspinna kiirus, et heitõhk õhuvõttu ei satuks. Vajaliku otspinna kiiruse annab seadme tootja.





Joonis 3.25 Objekti 3 heitõhuelelemendi minimaalne kaugus õhuvõtust projektijärgse õhuhulga korral 160 l/s

Objekti 3 puhul on tegemist spordilaboriga ja projekteerimiseks võeti aluseks EVS 906:2018. Standardis on arvutusvalem sellisele olukorrale, kus õhuvõtuelement asub allpool või samal kõrgusel heitõhuelemendiga. Toon selle tabelis välja võrdluseks, sest projekteerija on ilmselt seda arvestanud. Vaatamata sellele on kõigi juhendmaterjalide järgi vajalik minimaalne vahemaa tagatud.

Õhuvõtu ja väljaviske minimaalne vahemaa erineb juhendmaterjalides. Tulemusest tuleb välja, et suurim vahemaa on nõutud EVS 906:2018 järgi. See võib olla tingitud sellest, et see valem on liiga üldine ja ei võta paljusid tegureid arvesse. Kui standard arvestaks ka heitõhujoa suuna ja arvestaks ka resti otspinna kiirusega, oleks tulemus täpsem. Vähim vahemaa tuleb aga kasutada ASHRAE 62.1 juhendmaterjali järgi. ASHRAE 62.1 järgi võib vahemaa tulla nii väike, sest see ei ole mõeldud eramajade heitõhu ja õhuvõtu asukoha dimensioneerimiseks. Selle tõttu võib see arvutusmeetod sobida suurematele õhuhulkadele. Samuti on ASHRAE 62.1 puhul oluliseks teguriks lahjendustegur, mis elumajade puhul on väike. Antud töös ei mõõdetud eraldi ka

saasteaine hajumist erinevates punktides ja lahjendustegur on leitud lihtsustuse teel (tabel 1.2). Joonistelt on näha, et vajalik vahemaa vastab kõigi analüüsitud standardite väärtusel objektil 3 (joonis 3.25). Objekti 2 puhul on tegemist kombineeritud õhuvõtu ja väljaviske elemendia, seega seal ei saa juhendmaterjalide arvutusmeetodeid üksteisele võtta. Katsetelt oli näha, et projekteeritud õhuhulkade korral heitõhk õhuvõttu ei satu. Seega on objektile projekteeritud lahendus toimiv, vaatamata sellele, et see standardites välja toodud nõuetele ei vasta (joonis 3.24). Objekt 1 ei vasta ainult EVS 906:2018 arvutusmeetodil saadud tulemusele (joonis 3.23). See võib olla tingitud sellest, et heitõhuelelemendil ja õhuvõtul kõrguste vahet ei ole, aga õhuhulk on suur. Seega nõuab standard suuremat vahemaad. Antud olukorras asub õhuvõtt hoone teisel küljel ja heitõhu õhuvõttu sattumine on vähetõenäoline.

## 4. JÄRELDUSED

Magistritöös saadud tulemuste põhjal saab välja tuua järgmised järeldused:

- Heitõhuelemendi toimivust mõjutab kõige enam heitõhuresti otspinna kiirus ja resti ehitus. Mida suurem on heitõhu kiirus elemendist väljudes, seda pikem on heitõhujuga ja seda kaugemale hoonest toimub heitõhu hajumine. Heitõhujoa levikut ja hajumist mõjutab ka resti ehitus.
- Kui heitõhu kiirus on alla 2 m/s, siis võib väiksema õhuvooluhulga korral tekkida hoone fassaadi äärde suurem heitõhu pilv, mis võib sattuda tagasi siseruumidesse või õhuvõttu.
- Kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviskeelemendi puhul tuleb lähtuda tootja poolsetest nõuetest. Nõuetekohaseks toimimiseks peab katsetatud elemendi heitõhu kiirus olema suurem kui 5 m/s.
- Heitõhuelemendi asukoha valikul tuleb arvesse võtta hoonet ümbritsevat keskkonda ja kõrgust maapinnast. Heitõhu hajumist võivad takistada hoone läheduses olevad kõrged objektid (puud, hekid, hooned). Tähelepanu tuleb pöörata ka minimaalsele nõutud kõrgusele maapinnast, sest muidu võivad elemendi toimimist häirida sademed.
- Kõikidele objektidele olid heitõhu lahendused projekteeritud vastavalt tootja poolt antud soovitudele ning välikatsed näitasid, et heitõhk hajus hoonest piisavalt kaugemale, et mitte ohustada siseõhu kvaliteeti. Samas ei saa välistada, et teatud tingimustes (nt väga nõrk tuul või tuul hoone suunas) võib heitõhk siiski hoonesse tagasi pääseda.
- Objektid 1 ja 2 ei vastanud projekteerimisel aluseks olnud juhendmaterjalidele. Välikatsetel oli aga näha, et tehtud lahendus toimis, sest oli lähtutud hoopis tootja poolsetest soovitudest.
- Heitõhuelemendi projekteerimisel tuleks arvesse võtta ka tootja poolset paigaldus- ja projekteerimisjuhendit. Need on tehtud spetsiifilise toote kohta ja on seega täpsemad kui standardites kajastatud valemid.
- Erinevate standardite (EVS 906:2018, CEN/TR 16798-4:2017, ASHRAE) nõuded heitõhuava ja õhuvõtuava vahelise kauguse osas on erinevad. EVS 906:2018 standard annab kõige konservatiivsema tulemuse, samas kui ASHRAE 62.1 võib anda liiga optimistliku tulemuse, kuna see ei ole mõeldud eramute projekteerimiseks.
- Alla suunatud ribidega heitõhuelemendid ei sobi avatavate akende ja õhuvõtu kohale (nt kortermajad). Sellistes olukordades tuleks kasutada õigesti dimensioneeritud ja projekteeritud kombineeritud heitõhu- ja õhuvõtuelementi.

## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuritakse välisseinal paiknevate väljaviske elementide toimivust väliskeskkonnas katselisel meetodil.

Töö eesmärkideks olid:

- võrrelda katseliselt erinevat tüüpi seinapealsete heitõhuelementide toimivust objektil
- Võrrelda projekteeritud ja paigaldatud seinapealse heitõhuelemendi vastavust juhendmaterjalides nõutavale ja reaalsele olukorrale

Antud töös tehti katseid kolmel objektil, kuhu on paigaldatud erinevad väljaviske elemendid. Töö käigus simuleeriti valge suitsuga heitõhu levimist ja mõõdeti heitõhuelemendi otspinna kiirust ja aerodünaamilist takistust erinevatel õhuvooluhulkadel.

Töös kasutati kolme erinevat heitõhuelementi, mida katsetati neljal erineval õhuvooluhulgal. Õhuvooluhulgad sõltusid ventilatsiooniseadmest ja pandi paika ventilaatori tööprotsendi järgi. Elemendi toimivuse visualiseerimiseks kasutati valget suitsu ja musta ruberoidist taustseina. Heitõhujoa pikkuse hindamiseks kasutati mõõdupuud. Joa leviku pikkust ja heitõhu hajumist on võimalik hinnata katsetel tehtud videotelt. Katseid tehti väliskeskkonnas ja selle tõttu on näha ka tuule mõju heitõhujoa levikule.

Lisaks katselisele meetodile analüüsiti heitõhuelementide toimivust projekteerimisel aluseks olevatele juhendmaterjalidele. Analüüsi käigus toodi välja projekteerimisel aluseks võetud juhendmaterjalid ja objektile oleva olukorra vastavust nendele. Projekteerimisel oli aluseks võetud EVS 906:2018 ja EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019. Lisaks võrreldi saadud tulemusi ja lahendusi CEN/TR 16798-4:2017, ASHRAE 62.1 ja 62.2 standarditega.

EVS 906:2018 ja CEN/TR 16798-4:2017 kajastatav meetoodika on oma olemuselt sarnane, aga EVS 906:2018 juhendmaterjalide järgi õhuvõtu- ja heitõhuelemendi omavahelised kaugused tunduvad suuremad. ASHRAE 62.1 võtab arvesse rohkem tegureid ja seega on vaja selle meetodi kasutamiseks ka rohkem sisendandmeid. *ASHRAE Intake and Exhaust design* meetoodika jaoks kasutati minimaalseid lahjendusteguri väärtusi vastavalt heitõhukategooriale. Suurima vahemaa heitõhu ja õhuvõtu vahel sai kasutades EVS 906:2018 meetoodikat ja väikseim vahemaa ASHRAE nõuete järgi. ASHRAE tulemusi mõjutab kindlasti see, et valem on lihtsustatud ja heitõhu lahjenemist objektile eraldi ei mõõdetud ja ASHRAE 62.1 meetod ei ole mõeldud

eramute projekteerimiseks. ASHRAE 62.2 meetodi järgi, mis on mõeldud eramutele, oli õhuvõtu- ja heitõhuelemendi vaheline minimaalne kaugus määratud konstantselt.

Heitõhuelementide aerodünaamilisest võrdlusest saab järeldada, et katsetel saadud tulemused olid kas väga sarnased tootja poolt esitatud tulemustele või siis väiksemad. Selline tulemus võib olla tingitud sellest, et nomogramm on tehtud mitme erinevat mõõtu resti jaoks ja seega on see liiga üldine. Kokkuvõttes oldi rohkem lähtunud tootja poolsetest juhendmaterjalidest kui projekteerija poolt valitud juhendmaterjalidest. Vaatamata sellele toimiseid heitõhuelemendid objektile nii nagu nõutud.

Katsete tulemusel saab järeldada, et heitõhuelemendi toimimisel mängib suurimat rolli heitõhuresti otspinna kiirus. Katsete tulemusena oli näha, et mida suurem on heitõhu kiirus elemendist väljudes, seda pikem on heitõhujuga. Väikese kiiruse puhul tekkis heitõhu pilv hoone fassaadi äärde ja nii võib saastunud õhk uuesti siseruumidesse või õhuvõttu sattuda. Pikema heitõhujoo puhul toimub ka hajumine hoonest eemal ja saastunud õhu siseruumidesse sattumine on väiksem. Suurema heitõhu kiiruse puhul on tuule mõju jao levikule väiksem. Katsetelt on näha, et kui heitõhu kiirus üle 2 m/s, siis toimub heitõhu hajumine hoonest piisavalt eemal ja heitõhu siseruumidesse sattumine on minimaalne.

Eraldi katsetati ka kombineeritud heitõhu – väljaviske elementi. Katsete tulemusel toimus see nõuete kohaselt ja heitõhk ei sattunud õhuvõttu, vaatamata sellele et minimaalne vahekaugus õhuvõtu ja väljaviske vahel ei olnud standardite järgi tagatud. Õhuvõttu võib heitõhk sattuda ainult sellisel juhul kui sissepuhe ja väljaviske ei ole tasakaalus. Seega tuleb kombineeritud elemendi puhul silmas pidada mitte juhendmaterjalides välja toodud nõudeid, vaid tootja poolseid nõudeid. Katsetel kasutataud kombineeritud elemendi nõuetepäraseks toimimiseks peab heitõhu kiirus olema suurem kui 5 m/s.

Järgmistes uuringutes võib uurida:

- Hoone kuju ja fassaadi arhitektuursete elementide mõju seinapealsete väljaviskeseadmete toimivusele
- Kõrgemate kortermajade seinapealsete väljavisete testimine
- Katseline määramine märkegaasi meetodiga
- Heitõhu temperatuuri mõju heitõhu levikule

## **SUMMARY**

This thesis investigates the performance of outdoor exhaust elements in an external environment using an experimental approach. The primary objectives are to compare the performance of various wall-mounted exhaust elements installed on the building and to evaluate the compliance of the designed and installed element with the relevant guidelines and the actual conditions at the building.

Experiments were conducted on three buildings equipped with different exhaust elements. White smoke served as a simulation tool for exhaust plume dispersion, and the exhaust element's surface velocity and aerodynamic resistance were measured under varying airflow rates.

Three distinct exhaust elements were subjected to testing under four different airflow rates dictated by the ventilation system and set based on the percentage of fan operation. To visualize the element's performance, white smoke and a black rubberoid background wall were utilized. A measuring rod was employed to assess the length of the exhaust plume. The plume's dispersion length and exhaust diffusion can be evaluated from video recordings captured during the experiments. The outdoor environment of the experiments allowed for the observation of wind's influence on exhaust plume dispersion.

In addition to the experimental methodology, an analysis was conducted to compare the performance of exhaust elements against the underlying design guidelines. The analysis identified the specific design guidelines used and assessed the building's adherence to these guidelines. The design process adhered to the standards of EVS 906:2018 and EVS-EN 16798-1:2019+NA:2019. Additionally, the obtained results and solutions were compared with CEN/TR 16798-4:2017, ASHRAE 62.1, and 62.2 standards.

The methodologies outlined in EVS 906:2018 and CEN/TR 16798-4:2017 share similarities. However, the prescribed distances between air intake and exhaust elements in EVS 906:2018 guidelines are significantly larger. ASHRAE 62.1 takes a broader range of factors into account, necessitating more input data for its application. The ASHRAE Intake and Exhaust design methodology employed minimum dilution factor values based on the exhaust category. The EVS 906:2018 methodology resulted in the largest distance between exhaust and air intake, while the smallest distance was obtained following ASHRAE requirements. The simplified nature of the ASHRAE formula, the lack of separate exhaust dilution measurement on the building, and the fact that the ASHRAE

62.1 method is not intended for residential design likely influenced the ASHRAE results. The ASHRAE 62.2 method, specifically designed for residential buildings, defined a constant minimum distance between air intake and exhaust element.

The aerodynamic comparison of exhaust elements revealed that the experimental results were either very similar to or slightly lower than those provided by the manufacturer. This outcome could be attributed to the fact that the nomogram is constructed for a range of different sized grilles and hence is overly general. Overall, the manufacturer's guidelines were more closely adhered to than those selected by the designer. Despite this, the exhaust elements on the building functioned as intended.

The experimental results suggest that exhaust velocity plays a critical role in exhaust element performance. It was observed that the higher the exhaust velocity and velocity at the grille surface, the longer the exhaust plume. In cases of low velocity, exhaust concentration occurred near the building façade, potentially allowing polluted air to re-enter the indoor environment or be drawn into the air intake. A longer exhaust plume promotes dispersion away from the building, minimizing the potential for polluted air to enter indoor spaces. Higher exhaust velocities also reduce the influence of wind on plume dispersion. The experiments demonstrated that when the exhaust velocity exceeds 2 m/s, exhaust dispersion occurs sufficiently away from the building, minimizing exhaust re-entry into the indoor environment.

A combined exhaust-outlet element was also tested separately. The experiments revealed that it functioned as intended, and exhaust did not enter the air intake despite the non-compliance with the minimum clearance between the air intake and outlet as specified in the standards. Exhaust can only enter the air intake if the inflow and outflow are not balanced. Therefore, for a combined element, the manufacturer's specifications should take precedence over the guidelines. To ensure the proper operation of the combined element used in the experiments, the exhaust velocity must exceed 5 m/s.

Potential areas for future research include:

- The influence of building shape and façade architectural elements on the performance of wall-mounted exhaust equipment.
- Testing of wall-mounted exhaust elements on high-rise buildings.
- Tracer gas measurement as an experimental method.
- The impact of exhaust temperature on plume dispersion.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. ASHRAE Handbook Fundamentals 2013 chapter 24 Airflow Around Buildings (2013)
2. ASHRAE Handbook Fundamentals 2011 chapter 45 Building Air Intake And Exhaust Design (2011)
3. Ü. Palmiste, J. Kurnitski, H. Voll, Design criteria for outdoor air intakes and exhaust air outlets located on an external wall (2020)
4. EVS-EN 16798-3:2017 Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 3: Mitteeluhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimise süsteemidele (Moodulid M5-1, M5-4)
5. Majandus- ja taristuministri sisekliima määruse tööversioon aastast 2021
6. Ü. Palmiste, T. Meier, J. Kurnitski, H. Voll Experimental testing of exterior wall mounted mechanical ventilation exhaust air outlet devices, 2021
7. ETS NORD AS välisseinale paigaldatav väljaviskerest RV. Kättesaadav: <https://www.etsnord.com/products/rv-external-louvre/>
8. ETS NORD AS välisseinale paigaldatav väljaviskerest RVA. Kättesaadav: <https://www.etsnord.com/products/rva-external-louvre/>
9. ETS NORD AS välisseinale paigaldatav väljavisketoru NPC. Kättesaadav: <https://www.etsnord.com/products/npc-exhaust-nozzle/>
10. Lindab AS välisseinale paigaldatav väljavisketoru AVU. Kättesaadav: <https://www.lindab.ee/tooted/ventilatsioon/ohujaotajad/restid/valisrestid/avu/?sort=popularity&display=16&page=1>
11. ETS NORD AS kombineeritud õhuvõtu – ja väljaviskerest RVD. Kättesaadav: <https://www.etsnord.com/products/rvd-outdoor-wall-mounted-combined-intake-exhaust-grille/>
12. Systemair kombineeritud õhuvõtu – ja väljaviskerest CVVX. Köttesaadav: <https://www.systemair.com/et-ee/tooted/residential-ventilation-systems/grilles/cvvx?sku=6237>
13. Riigi Kinnisvara. Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2021. 4. Ventilatsioon
14. EVS 906:2018 MITTEELUHOONETE VENTILATSIOON Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017
15. CEN/TR 16798-4:2017. Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 4: Standardi EN 16798-3 nõuete tõlgendamine. Mitteeluhooned. Ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemide jõudlusnõuded (moodulid M5-1, M5-4)
16. CEN/TR 14788:2006. Hoonete ventilatsioon. Elamute ventilatsioonisüsteemide projekteerimine ja dimensioneerimine
17. Ron L. Petersen, J. Ritter. "Simplified Procedure for Calculating Exhaust/Intake



- Separation Distances". ASHRAE 2016
18. ASHRAE Standard 62.1-2019 Ventilation for acceptable indoor air quality.(2019).
  19. ASHRAE Standard 62.2-2019 Ventilation and Accpactable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. (2019)
  20. T. Meier, "Välisseinal paiknevate ventilatsiooni õhuvõtu – ja väljaviskse elementide vahekauguse määramine", (2020)
  21. K. Krüm, "Välisseinal paiknevatest ventilatsiooni heitõhu väljavisetest pärit saasteainete hajumine tänavakanjonis", (2021)
  22. A. Kutšerova, "Välisseinal paiknevate ventilatsiooni heitõhu väljavisete toimivuse modelleerimine", (2021)
  23. A. Virtta, "Exhaust air management in office buildings", (2023)
  24. C.A.Parker, "Improving the Effectiveness of In-Suite Ventilation Systems with Respect to Cross Contamination and Odour Transmission in MUBRs", (2021)
  25. P. Broas, "Wind tunnel investigation of waste air re-entry with wall ventilation", (1993)
  26. Jaap R. Balvers, Atze C. Boerstra and Froukje van Dijken, "An investigation Into re-entrainment of exhaust air In mechanically ventilated dwellings".
  27. M. Kaes, N. Jajal, S.Z. Shahvari, M. Goebes, J. Carter, A. Simon, J. Ritter, I.Walker, J. Clark, "Dilution of airborne contaminants from through-wall exhausts located on the side of multi-family residential buildings" (2022)
  28. X. Kuborn ja S. Pecceu "A study of the influence of the position of a chimney terminal on the vertical walls of a building on the air quality of the ventilation air supply", (2019)
  29. John. H. Clarke, "The Design and Location of Building Inlets and Outlets to Minimize Wind Effect and Building Re- entry of Exhaust Fumes", (1965)
  30. J. Palonen, Experiences From Wall Exhaust Systems In Blocks of Flats", (1998)
  31. Maa-ameti 3D kaardirakendus. Kättesaadav: <https://3d.maaamet.ee/kaart/>
  32. LINDAB AB välisseinale paigaldatav väljaviskerest YGC. Kättesaadav: <https://www.lindab.ee/tooted/ventilatsioon/ohujaotajad/restid/valisrestid/ygc/?sort=popularity&display=16&page=1>
  33. Safex fog generaator F 2010 suitsugeneraator.  
Kättesaadav: <https://www.cmitest.com/produits/fog-generator-fog-2010/>
  34. Testo 440dP. Kättesaadav: <https://www.testo.com/en-UK/testo-440-dp/p/0560-4402>
  35. Testo anemomeeter. Kättesaadav: <https://www.testo.com/en-UK/high-precision-vane-probe-o-100-mm-digital/p/0635-9371>

36. Hawk MK2 RB2020 tuulelipp. Kättesaadav:  
<https://www.tommylyy.com/ee/tuulelipp-hawk-mk2-2633>
37. EVS-EN 16798-1:2019/NA:2019. Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast. Moodul M1-6. Eesti standardi rahvuslik lisa

# LISAD

## Lisa 1 Uurimisobjektide videomaterjalide lingid hüperlinkidena

Uurimisobjekti nr.	Heitõhuelement	Õhuvooluhulk, l/s	Heitõhu kiirus, m/s	Video link
1	RV 800x200	41	0,2	Küljelt Diagonaalis
1	RV 800x200	82	1,0	Küljelt Diagonaalis
1	RV 800x200	123	1,7	Küljelt Diagonaalis
1	RV 800x200	164	2,0	Küljelt Diagonaalis
2	RVD 200	21	0,9	Küljelt Diagonaalis
2	RVD 200	42	2,8	Küljelt Diagonaalis
2	RVD 200	62	4,9	Küljelt Diagonaalis
2	RVD 200	83	7,0	Küljelt Diagonaalis
3	YGC 250	41	0,8	Küljelt Diagonaalis
3	YGC 250	82	2,0	Küljelt Diagonaalis
3	YGC 250	123	3,3	Küljelt Diagonaalis
3	YGC 250	164	4,3	Küljelt Diagonaalis