



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**VÄLISSEINAL PAIKNEVATE VENTILATSIOONI
ÕHUVÕTU- JA VÄLJAVISKE ELEMENTIDE
MINIMAALSE VAHEKAUGUSE MÄÄRAMINE**

**DETERMINING MINIMUM SEPARATION DISTANCE FOR
VENTILATION OUTDOOR AIR INTAKES AND EXHAUST
OUTLETS LOCATED ON AN EXTERNAL WALL**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tauno Meier
/nimi/

Üliõpilaskood 176436EAXM

Juhendaja: Ülar Palmiste, doktorant
/nimi, amet/

Tallinn 2020

(Tütellehe 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.

“14.” Detsember 2020.a

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“14.” Detsember 2020.a

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”202 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Tauno Meier (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 30.07.1980)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
VÄLISSEINAL PAIKNEVATE VENTILATSIOONI ÕHUVÕTU- JA VÄLJAVISKE ELEMENTIDE
MINIMAALSE VAHEKAUGUSE MÄÄRAMINE,

(*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.

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

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tauno Meier, 176436EAXM (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: EAXM15/15, Hooned ja rajatised (kood ja nimetus)

Juhendaja: doktorant, Ülar Palmiste (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) VÄLISSEINAL PAIKNEVATE VENTILATSIOONI ÕHUVÕTU- JA VÄLJAVISKE ELEMENTIDE MINIMAALSE VAHEKAUGUSE MÄÄRAMINE

(inglise keeles) DETERMINING MINIMUM SEPARATION DISTANCE FOR VENTILATION OUTDOOR AIR INTAKES AND EXHAUST OUTLETS LOCATED ON AN EXTERNAL WALL

Lõputöö põhieesmärgid:

- 1.Võrrelda erinevaid ventilatsiooni juhendmaterjale ning norme õhuvõtu ja väljaviske projekteerimisel.
- 2.Teostada katsed välisrestidega ja hinnata võrreldavates juhendmaterjalides toodud arvutuste ning katsetulemuste seost.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade	16.12.2019
2.	Arvutusmeetodite võrdlev analüüs	03.02.2020
3.	Mõõtestendi ehitus, mõõtmiste teostamine	23.06.2020
4.	Video ja pildimaterjali sorteerimine ja videotöötlus	28.08.2020
5.	Mõõtmistulemuste esitamine ja analüüs	26.10.2020
6.	Lõputöö käsikirja koostamine	04.12.2020

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "14." Detsember 2020.a

Üliõpilane: Tauno Meier "14." Detsember 2020.a
/allkiri/

Juhendaja: Ülar Palmiste "14." Detsember 2020.a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
SISSEJUHATUS.....	8
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	9
1.1 Saasteainete hajumine ümber hoonete	9
1.2 Heitõhu õhuvõttu sattumise mõju hoone siseõhu kvaliteedile	12
1.3 Õhuvõtu ja heitõhu paigutuse teoreetilised alused.....	13
1.4 Ülevaade standarditest ja materjalidest.....	17
2. METOODIKA.....	19
2.1 Arvutusmeetodid.....	19
2.1.1 EVS-EN 13779:2007	19
2.1.2 EVS 906:2018.....	19
2.1.3 ASHRAE 62.1.....	21
2.1.4 ASHRAE Handbook.....	21
2.2 Heitõhu hajumise eksperimendid.....	23
2.2.1 Katsestend.....	23
2.2.2 Kasutatud mõõteriistad ja abivahendid	25
2.2.3 Katsetatavate välisrestide ülevaade.....	25
2.2.4 Katsete läbiviimise protseduur.....	30
3. TULEMUSED JA ANALÜÜS.....	31
3.1 Minimaalsete nõutud vahekauguste arvutused	31
3.1.1 EVS-EN 13779:2007	31
3.1.2 EVS 906:2018.....	32
3.1.3 ASHRAE 62.1.....	34
3.1.4 ASHRAE Handbook.....	35
3.2 EVS ja ASHRAE arvutusmetoodite võrdlus	37
3.3 Mõõtetulemused	43
3.3.1 Staatiline olukord.....	43
3.3.2 Imiteeritud tuulega olukord.....	50
4. JÄRELDUSED	64
KOKKUVÕTE.....	66
SUMMARY	68
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	70
LISAD	72

EESSÕNA

Autor tänab lõputöö valmimisele kaasa aitamise eest oma juhendajat Ülar Palmistet. Lisaks soovin veel tänada inimesi, kes on mind selle töö juures aidanud: Alvar Raidma, Tauno Prans, Egon Teder, Mallor Malm, Systemair Eesti Tartu osakond.

Eriti soovin tänada oma abikaasat Jaanikat, kes on mind läbi aastate toetanud sellel aeganõudval teel.

Lühendite ja tähiste loetelu

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

B – heitgaaside õhuhulk

B_S – hoone vastutuule fassaadi vähim mõõde, kas kõrgus või laius

B_L – hoone vastutuule fassaadi suurim mõõde, kas kõrgus või laius

DF – lahjendustegur (*Dilution factor*)

DF% – lahjendus

d_e – heitõhukanali läbimõõt

EVS – Eesti Vabariigi Standard

Δh – õhuvõtu- ja väljaviskeresti tsentrite kõrguste vahe

i_y – horisontaalne turbulentsi intensiivsus

i_z – vertikaalne turbulentsi intensiivsus

L – õhuvõtu- ja väljaviskeresti tsentrite vaheline kaugus

U – õhukiirus heitõhukanalis

U_H – tuule kiirus

Q – õhuhulk, heitõhuhulk

q_v – õhuhulk, heitõhuhulk

z_0 – kareduskõrgus (*roughness length*)

z – väljaviske elemendi kõrgus maapinnast

v – õhukiirus

V_e – õhukiirus heitõhu kanalis

VV - ventilatsioonisüsteemi väljavise

ÕV – ventilatsioonisüsteemi õhuvõtt

x – horisontaalne restide vahekaugus (allatuult)

σ_y – horisontaalne saasteainete levimine

σ_z – vertikaalne saasteainete levimine

σ_0 – täiendav saasteainete levimine (tavaliselt $0,35d_e$)

SISSEJUHATUS

Hoonest eemaldatud väljaviskeõhk on reeglina saastunum, kui väliskeskkonna õhk. Väljaviske õhus on enamasti suurem CO₂ kontsentratsioon, võib esineda ka ebameeldivaid lõhnasid, mürgiseid ja ärritavaid ühendeid ning liigniiskust. Selliste omadustega õhu tagasi sattumist hoonesse tuleks vältida.

Õhuvõtu ja väljaviske läbi seina rajamine on tihti ehituslikult kõige lihtsam võimalus. Selle lahenduse juures on eeliseks väiksem õhutorustiku kulu ja seeläbi väiksem ventilatsioonisüsteemi aerodünaamiline takistus. Mitmekorruselise hoone puhul väljaviske katusele viimine eeldab igal korrusel isoleeritud väljavisketorule ruumi leidmist. Sellise õhuvõtu ja väljaviske lahendust on vähe uuritud ja teaduskirjandust antud teema kohta leiab vähe.

Hoonete ventilatsiooni kavandamisel on oluline mõelda läbi ventilatsiooniseadme õhuvõtu- ja väljaviske elementide paiknemine, et vältida eelpool kirjeldatud saasteainete sattumist ventilatsiooni õhuhaardesse. Ventilatsiooniinsenerid juhivad õhuvõtu ja väljaviske elementide paigutamisel ventilatsioonistandardites esitatud nõuetest. Paraku on õhuvõtu ja väljaviske elementide vahekauguse nõuded, soovitusel ja arvutusmetoodikad standardites erinevad.

Antud töös võrreldakse omavahel Eesti Vabariigi Standardeid EVS ja Põhja-Ameerika kütte-, jahutus- ja ventilatsiooniinseneride ühendus ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) poolt toodud välisrestide vahekauguse arvutusmetoodikaid. Lisaks teostatakse katsed välisrestide minimaalse vahekauguse uurimiseks.

Antud töös on kasutatud järgmisi limitatsioone ja lihtsustusi:

- Käesoleva töö raames keskendutakse ainult välisseinal teineteise suhtes ühel kõrgusel paiknevate õhuvõtu- ja väljaviske elementide arvutusmetoodikate uurimisele.
- Ühel fassaadil paiknevate mitmete õhuvõtu- ja väljaviske elementide koosmõju ei uuritud.
- Väljaviske temperatuur mõõtmiste ajal oli sama, mis ruumi temperatuur.
- Tuule imiteerimine katsete ajal on teostatud lihtsustatud korras.

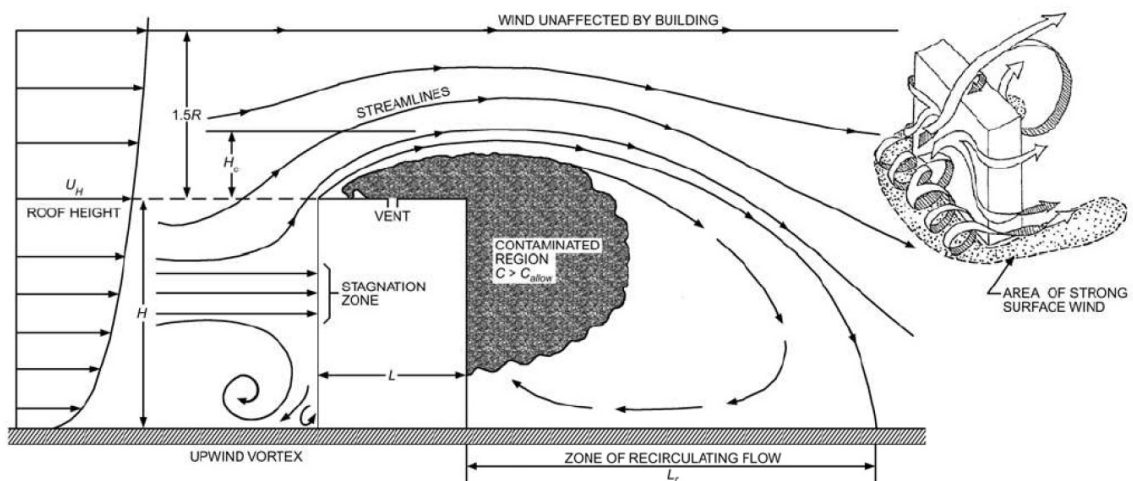
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Saasteainete hajumine ümber hoonete

Tuule mõju saasteainete hajumisel tiheasustuse alal on suur. Tuule mõjul võivad saasteained kanduda ühest paigast teise. Samuti võib tuule mõjul heitõhk kanduda osaliselt õhuvõttu.

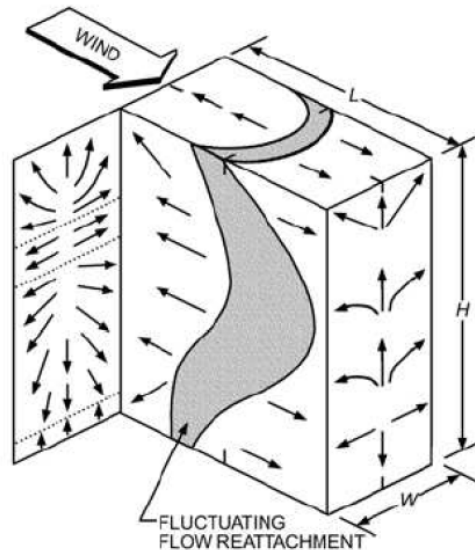
Õhuvoolude liikumise kohta ümber hoonete on tehtud uuringuid ja leitud, et erikujuliste hoonete puhul liiguvad õhuvoolud teisiti, kui ristkülikukujuliste hoonete puhul. Selliste keerukamate hoonete puhul peaks kasutama dünaamilisi simulatsioone õhuvoolude liikumise kohta ümber hoone.

Lihtsama ehitusega karbikujuliste hoonete puhul on võimalik tuua selgemad kirjeldused õhuvoolude käitumise kohta ümber hoonete. Joonisel 1.1 toodud skeem näitab, et tuule kiirus suureneb kõrguse kasvades. Tuule liikumisel risti hoone fassaadiga, liigub osa õhku alla tekitades õhukeeriseid maapinna lähedal, teine osa õhku liigub üles üle hoone katuse, kolmas osa õhku (*stagnation zone*), mille ala jääb eelneva kahe õhu vahele, liigub horisontaalselt hoonest mööda. Alla liikuvad õhuvoolud võivad tekitada tugevaid pööriseid maapinna lähedal, kandes endaga kaasa tolmu ja suuremaid tahkeid osakesi. Pööriselised õhuvoolud liiguvad hoonest mööda U- tähe kujuliselt (väiksem joonis paremal).[1]



Joonis 1.1 Õhuvoolude liikumine ümber hoone. U_H -tuule kiirus, H -hoone kõrgus, H_c -recirculation cavity length, R - scaling length, L -hoone pikkus, L_r -ringlusõhu tsoon [1]

Õhukiirused tuule poolsele hoone küljel on 75% suuremad, kui hoone vastas küljel. Ülespoole suunatud õhuvoolud eksisteerivad peaaegu kõigil hoone külgedel. Joonisel 1.2 on kujutatud õhuvoolude liikumine karbikujulise hoone fassaadil.



Joonis 1.2 Õhuvoolude liikumine ümber hoone [1]

Joonisel 1.2 kujutatud H_c kujutab endast ala kõrgust, milles liikuv õhk suunduv alla tagasi ja moodustub ringlusõhu tsoon L_r . Viilkatuse (katuse nurk alates 15°) puhul on moodustuv ringlusõhutsoon suurem, kui lamekatuse puhul. Alates kõrgusest $1,5R$ ei mõjuta hoone tuule liikumist ja selles tsoonis olev õhk liigub hoonest mööda. Parameetrit R (*scaling length*) on võimalik arvutada valemiga 1.10. [1]

$$R = B_s^{0,67} B_L^{0,33} \quad (1.10)$$

Kus B_s – hoone vastutuule fassaadi vähim mõõde, kas kõrgus või laius, m,

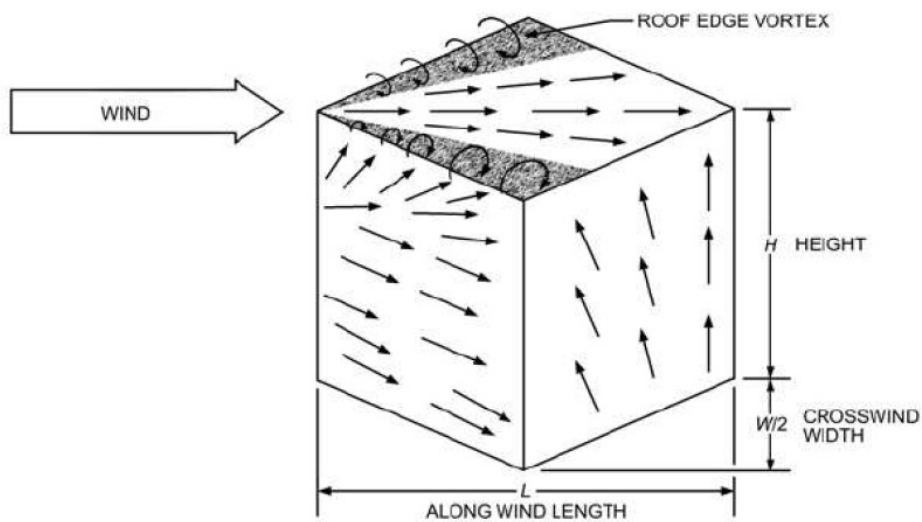
B_L – hoone vastutuule fassaadi suurim mõõde, kas kõrgus või laius, m.

Kui B_L on suurem B_s väärtusest 8 korda tuleks kasutada $B_L = 8B_s$.

$$R = 6^{0,67} 10^{0,33} = 7,1$$

$$1,5R = 10,65 \text{ m}$$

Kui tuule suund on hoone nurgaga risti, on olukord erinev. Katuse serva äärde tekivad tugevad keeris õhuvoolud, mis on kujutatud joonisel 1.3.[1]



Joonis 1.3 Õhuvoolude liikumine ümber hoone [1]

Sellises olukorras on üles ja allasuunatud õhuvoolusid vähem ja esineb rohkem maapinnalähedasi pöörisele iseloomuga õhuvoolusid.[1] Joonisel 1.4 on kujutatud õhuvoolude liikumist ümber hoonete suitsukatse abil.



Joonis 1.4 Õhuvoolude liikumine ümber hoone [2]

1.2 Heitõhu õhuvõttu sattumise mõju hoone siseõhu kvaliteedile

Peamiselt sõltuvad väljaviskeõhu omadused hoonetes toimuvatest protsessidest. Väljaviske õhus on enamasti suurem CO₂ kontsentratsioon, võib esineda ka ebameeldivaid lõhnasid, mürgiseid ja ärritavaid ühendeid ning liigniiskust. Selliste omadustega õhu tagasi sattumist hoonesse tuleks vältida.

Heitõhk on saastatuse järgi jagatud klassidesse. Heitõhuklasside jaotus langeb EVS ja ASHRAE standardite osas kokku erinevad vaid klasside nimetused. Heitõhuklasside liigitus on esitatud tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Heitõhuklasside liigitus [3][4]

Kategooria EVS/ASHRAE	Õhu kirjeldus	Ruumi tüübid
EHA 1/ Class 1	Madal saasteainete kontsentratsioon peamiselt ehitusmaterjalidelt ja inimestelt, mitte ärritav, puudub ebameeldiv lõhn.	Kontor ja sellega ühendatud väike dokumentide ladu, klassiruum, trepikoda, koridorid.
EHA 2/ Class 2	Keskmine saasteainete kontsentratsioon peamiselt ehitusmaterjalidelt ja inimestelt, kergelt ärritav või ebameeldiv lõhn.	Söögituba, köögid kuumade jookide valmistamiseks, hotelli tuba, riietusruum, lifti seadmete ruum.
EHA 3/ Class 3	Märkimisväärne saasteainete kontsentratsioon protsessidest, mis eritavad niiskust või kemikale (näiteks tubaka suits), märkimisväärselt ärritav või ebameeldiv lõhn.	WC, pesuruum, saun, köögid, printeri ruum, suitsuruum, köögid ilma rasva eraldusega ja elamute köögid
EHA 4/ Class 4	Suur saasteainete kontsentratsioon. Mürgised ja ohtlikud aurud ja gaasid, ebameeldiv lõhn.	Professionaalsed köögid rasva eraldusega, trükikoda, värvikamber, labori tõmbekapp, garaaž, transpordi tunnelid, mustapesu ruum, prügiruum, suure intensiivsusega suitsuruumid

Töös kasutatakse edaspidi heitõhuklasside liigituseks nimetust klass.

Arvutusmetoodikates kasutatavad sisendandmed on standardites erinevad. Erinevused kasutatavates muutujates on esitatud tabelis 1.2, kus Q – heitõhuhulk, L – õhuvõtu- ja väljaviskeresti tsentrite vaheline kaugus, z_0 – kareduskõrgus (*roughness length*), z – väljaviskelemendi kõrgus maapinnast, v – õhukiirus

Tabel 1.2 Standardites kasutatavate muutujate ülevaade

Nr	Standard	Arvutustes kasutatavad muutujad					
		Q [l/s]	v [m/s]	DF	z ₀	z [m]	L [m]
1	EVS-EN 13779:2007	+	-	-	-	-	arvut.
2	EVS 906:2018	+	-	-	-	-	arvut.
3	ASHRAE 62.1 2019	+	+	+	-	-	arvut.
4	ASHRAE Handbook	-	+	arvut.	+	+	+

Karedus kõrgus on horisontaalse tuule profiili parameeter, mida kasutatakse ASHRAE Building Air Intake And Exhaust Design meetodika arvutuste puhul. Kareduskõrguse väärtused on toodud tabelis 1.3.

Tabel 1.3 z₀ kareduskõrguse väärtused [5]

Reljeefi tüüp	z ₀
Tasane, vesi, kõrb	0,01
Tasane, lennujaam, rohumaa	0,05
Äärelinn	0,65
Linn	2

ASHRAE standardites kasutatakse arvutustes lahjendustegurit. Lahjendustegur on oma olemuselt lahjenduse kordsust iseloomustav tegur. Lahjendusteguri nõude DF=5 puhul peab saasteainete kontsentratsioon õhuvõtus olema 5 korda madalam võrreldes heitõhu kontsentratsiooniga. Minimaalsed lahjendusteguri väärtused klasside kaupa on toodud tabelis 1.4.

Tabel 1.4 Minimaalsed lahjendusteguri väärtused klasside kaupa [6]

Heitõhu klass	Minimaalne lahjendustegur DF
Klass 1	5
Klass 2	10
Klass 3	50
Klass 4	300
Puiduküttega köök	700

1.3 Õhuvõtu ja heitõhu paigutuse teoreetilised alused

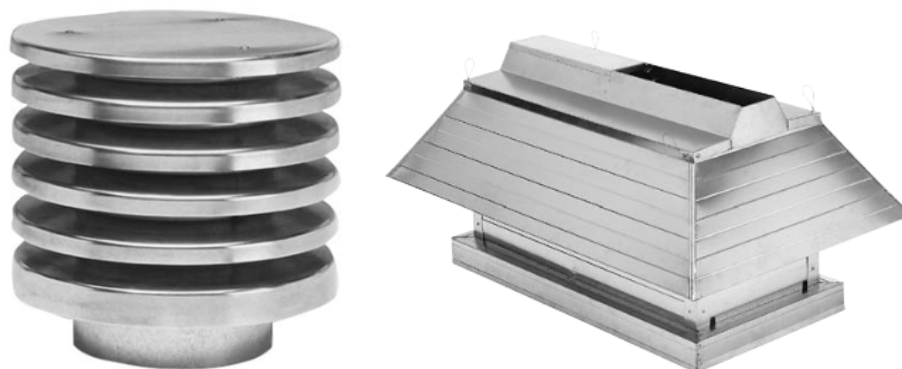
Väljavise katusele ja õhuvõtt seinalt või katusele lahendust peab rakendama juhul, kui heitõhu klass on kõrgem, kui 2. [7] Väljavise läbib hoonet ja viiakse hoone

katusele. Õhuvõtt rajatakse seinalt või katusel. Seinal paiknevaid õhuvõttureste on olemas kandilise ja ümara ristlõikega, mis on kujutatud joonisel 1.5.



Joonis 1.5 USAV välisrest ja RV välisrest.[8][9]

Õhuvõtu rajamisel katusele on võimalik kasutada katuse õhuvõtu otsikut või kombineeritud õhuvõtu/väljaviske elementi, mis on kujutatud joonisel 1.6.



Joonis 1.6 Õhuvõtuotsik VHL ja kombineeritud õhuvõtu/väljaviske element HKOMR [10][11]

Väljavise ja õhuvõtt hoonest eemale rajatakse spetsiaalse maa-aluse toruga, mis on valmistatud polüpropeenist (PP) ja polüeteenist (PE). Need plastid ei allu keemilisele agressiivsusele, taluvad suurt koormust ja on pika kasutuseaga.[12] Uponori tootevalikus on vaid ümara ristlõikega toru ja neid pakutakse mõõtudes (nimiläbimõõt): 200, 250, 315, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 2000 ja 2500 mm. Uponor maa-aluse toru omadused on toodud tabelis 1.5. ja torustiku paigaldusnäide joonisel 1.7.

Tabel 1.5 Uponor maa-aluse toru omadused [12]

Omadused	Ühik	Polüpropeen	Polüeteen
Tihedus	kg/m ³	900	940...960
Joonpikenemistegur	mm/m · °K	0,15	1,18...0,20
Soojusjuhtivus	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	0,20	0,40
Elastsus (3 min)	MPa	1400...1600	600...800



Joonis 1.7 Uponor maa-alune torustik [12]

Õhuvõtu ja heitõhu süsteemi maapealse osa moodustab õhuvõtu või heitõhutorn. Maa-aluse torustiku kalle antakse torni poole ja torni põhjast tehakse drenaaži ühendus torustikus tekkiva kondensaadvee eemaldamiseks.[12]

Tähelepanekud antud väljaviske ja õhuvõtu lahenduse puhul:

- Suure õhuhulga puhul on seinal õhuvõturesti mõõtmed suured ja ehituslikult on tihti keerukas suure õhuvõtukambri rajamine ja resti mahutamine fasaadile.
- Õhuvõtu ja väljaviske hoonest eemale viimisega saavutatakse väiksem müratase hoone fasaadi lähedal ning on võimalik võtta õhku puhtamast tsoonist.
- Hoone arhitektuuri kavandamisel vajalik anda õhuvõtu ja väljaviske lahendus.
- Läbi maa-aluse toru sein, toimub soojusülekanne, tänu millele õhuvõttu torustikku läbiv õhk suvel jahtub ja talvel soojeneb.

Joonisel 1.8 toodud Uponori õhuvõtutorni lahendus ja joonisel 1.9 on Aura Veekeskuse õhuvõtu ja väljaviske elemendid. Veekeskuses on õhuvõtu ja väljaviske kanalid valatud betoonist. Toru siseläbimõõt on 2100 mm, õhuvõtt ja väljaviske on suunatud teineteisest eemale. Parempoolne madalam torn on õhuvõtt ja vasakul väljaviske, mis on 180° ulatuses avatud ja heitõhu suund õhuvõtturestist eemale. Õhuvõtu ja

väljaviske vahe 12,5 m. Autorile teada olevalt olid algsetl õhuvõtu ja väljaviske elemendid ühekõrgused ja 360° avatud.



Joonis 1.8 Uponor õhuvõtutorn [12]



Joonis 1.9 Aura Veekeskuse õhuvõtt ja väljaviske

Väljaviske ja õhuvõtt hoone seinalt on lubatud EVS 906:2018 alusel järgnevatel juhtudel:

1. Tegemist on väljaviskeõhuga, mis liigitub klassi 1 või 2.
2. Heitõhuava kaugus külgnevast hoonest on vähemalt 8 m.

3. Õhu kiirus heitõhuavas on pidevalt vähemalt 2 m/s.

EVS-EN 13779:2007 alusel on läbi välisseina lubatud väljaviset juhtida, kui õhuhulga suurus on kuni 500 l/s. Hetkel on see standard kehtetu.

Autori arvates eelistatakse elamu ehituses kasutada seina reste järgnevatel põhjustel:

- Väiksemad tehnilised šahtid, rohkem eluruumide pinda.
- Lühem väljaviske torustik ja vähem isoleerimist, rahaliselt soodsam lahendus.
- Katuse läbiviik ja läbiviigu veetihedaks tegemine on kulu.
- Olemasolevate hoonete puhul eelistatakse katusekonstruktsiooni mitte läbida.

Olukorras, kus ei ole võimalik tagada standardis kehtestatud õhuvõtu ja väljaviske resti miinimum vahekaugust, on võimalik kasutada kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviske elementi, mis on kujutatud joonisel 1.10. Õhuvõtt on lahendatud elemendi küljelt või alt, väljavise otse läbi elemendi. Standardites sellise lahenduse kasutamist ei käsitleta.



Joonis 1.10 Kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviske element CVVX [13]

1.4 Ülevaade standarditest ja materjalidest

Eestis kasutuses olevad EVS standardid on tõlgitud eesti keelde. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) standardid on kasutusel Põhja-Ameerikas. Tabelis 1.6 on esitatud loetelu standarditest, mis käsitlevad õhuvõtu ja väljaviskeavade projekteerimisjuhiseid.

Tabel 1.6 Standardite ülevaade

Nr.	Allikas	Kirjeldus
1	ASHRAE Standard 62.1-2019 Ventilation for acceptable indoor air quality.(2019)	Õhuvõtu ja väljaviske vahekaugused heitõhu klasside kaupa ja täpsustatud arvutus vahekauguste määramiseks.
2	ASHRAE Standard 62.2-2019 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. (2019)	Õhuvõtu ja väljaviske vahekaugused määratud numbriliselt, toetudes suures osas 62.1 standardile. Heitõhuklasside liigitus.
3	EVS-EN 13779:2007 Standard. Mittelehoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele (2007)	Väljaviske ja õhuvõtu vahekauguste määramine arvutuste ja graafiku abil. Muud nõuded selles osas.
4	EVS-EN 16798-1 2019 Standard. Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast. Moodul M1-6 (2019)	Heitõhuklasside liigitus.
5	EVS 906:2018 Standard Mittelehoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele. Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017 (2018)	Väljaviske ja heitõhu vahekauguste määramine arvutuste ja graafiku abil. Muud nõuded selles osas.

Heitõhu ja õhuvõtturestide vahekauguste kohta on toodud välja järgnevad soovitused:

- seinast lubatud välja juhtida väljaviskeõhku, mis on klass 1 või 2.
- võimalusel võiks õhuvõtturest asuda madalamal, kui väljaviskerest.

Väljaviskeresti paiknemise nõuded erinevates standardites on toodud tabelis 1.7.

Tabel 1.7 Väljaviskeresti paiknemise nõuded[7][14][3][15]

Soovitus	EVS	ASHRAE	REHVA
Min. Restide vahekaugus [m]	2 (EHA 1 ja 2)	3 (class 2), 5 (class 3), 10 (class 4)	3
Väljaviske kaugus hoonetest [m]	külgnevast hoonest 8 m	Pool arvutuslikust välisrestide vahekaugusest	Krundi piirist 4 m, 15 m vastas seinast, 30 m kui väljaviske kinnisesse hoovi
Õhuvõtu avade kaugus objektidest [m]	8 m korstendest, kanalisatsiooni tuulutustest, sõiduteest	7,5 m jahutusseadmetest, 5 m prügikastidest, kostendest, 3 m kanalisatsiooni tuulutusest*, 1,5 m tänavast, parkimiskohast	-
Väljaviske kiirus heitavas [m/s]	2	5	5

*kanalisatsiooni tuulutuse kõrgus õhuvõtust alla 1 m, kui üle 1 m lubatud vahekaugus 1 m.

2. METOODIKA

2.1 Arvutusmeetodid

2.1.1 EVS-EN 13779:2007

EVS standardis on toodud arvutused erinevate olukordade jaoks. Seinal paiknevate välisrestide vahekauguse arvutuseks klass 1 ja 2 puhul on toodud järgnev valem:[16]

$$2l + \Delta h > 0,308\sqrt{q_v} \quad (2.1)$$

Kus l – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m,
 Δh – restide kõrguste vahe, m,
 q_v – heitõhuhulk, l/s.

Valemi alusel õhuhulgaga 50 l/s ja samal kõrgusel paiknevate välisrestide vahekauguseks saame:

$$l = \frac{0,308\sqrt{q_v} - \Delta h}{2} = \frac{0,308\sqrt{50} - 0}{2} = 1,09 \text{ m}$$

Heitõhuklass 3 puhul on arvutuseks toodud järgnev valem: [16]

$$l > 0,2\sqrt{B} \quad (2.2)$$

Kus l – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m,
 B – heitgaasid, l/s.

Sama õhuhulgaga saame tulemuseks:

$$l = 0,2\sqrt{B} = 0,2\sqrt{50} = 1,41 \text{ m}$$

2.1.2 EVS 906:2018

Selles standardis esitatud arvutusvalem klass 2 heitõhu puhul erineb pisut eelnevast standardi versioonist, kuid on oma olemuselt sarnaste muutujatega: [7]

$$l + \Delta h > 0,613\sqrt{q_v} \quad (2.3)$$

Kus l – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m,
 Δh – restide kõrguste vahe, m,

q_v – heitõhuhulk, l/s.

Valemi alusel õhuhulgaga 50 l/s ja samal kõrgusel paiknevate välisrestide vahekauguseks saame:

$$l = 0,613\sqrt{q_v} - \Delta h = 0,613\sqrt{50} - 0 = 4,33 \text{ m}$$

Heitõhuklass 3 puhul on arvutuseks toodud järgnev valem: [7]

$$l + \Delta h > 1,25\sqrt{B} \quad (2.4)$$

Kus l – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m,
 Δh – restide kõrguste vahe, m,
 B – heitõhuhulk, l/s.

Klass 3 puhul saame arvutuslikuks vahekauguseks õhuhulgaga 50 l/s:

$$l > 1,25\sqrt{B} - \Delta h = 1,25\sqrt{50} - 0 = 8,84 \text{ m}$$

Heitõhuklass 4 puhul on arvutuseks toodud järgnev valem: [7]

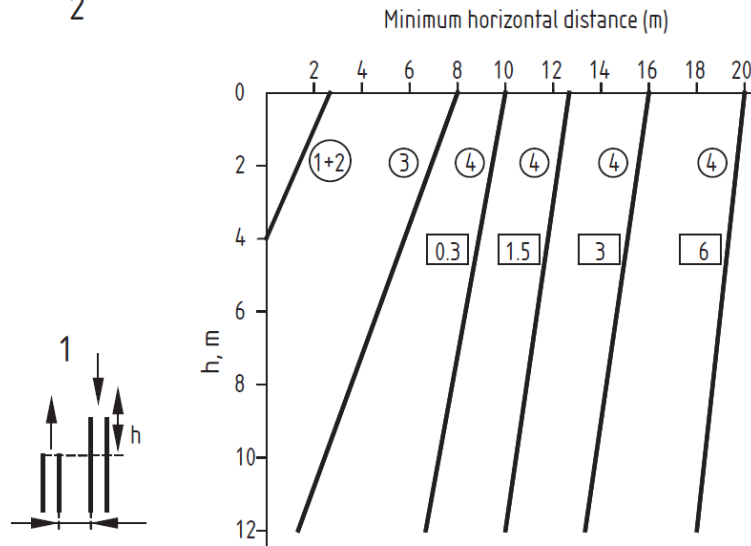
$$l + 2,954\Delta h > 3,03\sqrt{B} \quad (2.5)$$

Kus l – mõlema ava keskpunkte ühendava sirgjoone pikkus, m,
 Δh – restide kõrguste vahe, m,
 B – heitõhuhulk, l/s.

Klass 4 puhul saame arvutuslikuks vahekauguseks õhuhulgaga 50 l/s:

$$l > 3,03\sqrt{50} - 2,954\Delta h = 21,43 \text{ m}$$

Standard annab ka lisaks arvutusvalemitele valikugraafiku välisrestide vahekauguste määramiseks joonis 2.1. [7]



Joonis 2.1 Väljaviske- ja õhuvõtturesti vahekauguse määramise graafik EVS 906:2018.

2.1.3 ASHRAE 62.1

Selles standardis esitatud arvutusvalem on järgmine: [14]

$$L = 0,04\sqrt{Q} (\sqrt{DF} - U/2) \quad (2.6)$$

Kus L – õhuvõtu ja väljaviskeresti vahekaugus, m,

Q – heitõhuhulk, l/s,

DF – lahjendustegur,

U – õhukiirus heitõhu kanalis, m/s.

Valemi alusel õhuhulgaga 50 l/s, heitõhu kiirus 4,1 m/s (Ø125 õhukanal) ja samal kõrgusel paiknevate välisrestide vahekauguseks saame:

$$L = 0,04\sqrt{Q} (\sqrt{DF} - \frac{U}{2}) = 0,04\sqrt{50} (\sqrt{10} - \frac{4,1}{2}) = 0,52 \text{ m}$$

2.1.4 ASHRAE Handbook

Selles ASHRAE poolt antud arvutusmetoodika on keerukama ülesehitusega ja koosneb mitmest valemist 1.7-1.12. [5]

$$DF = \frac{4U_H\sigma_y\sigma_z}{V_e d_e^2} \quad (2.7)$$

Kus D_s – lahjendustegur

U_H – tuule kiirus, m/s,

σ_y – horisontaalne saasteainete levimine, m,
 σ_z – vertikaalne saasteainete levimine, m,
 V_e – õhukiirus heitõhu kanalis, m/s,
 d_e – heitõhukanali läbimõõt, m.

$$\sigma_y = (i_y^2 x^2 + \sigma_0^2)^{0,5} \quad (2.8)$$

Kus i_y – horisontaalne turbulentsi intensiivsus,
 x^2 – horisontaalne restide vahekaugus (allatuult), m,
 σ_0 – täiendav saasteainete levimine, m.

$$\sigma_z = (i_z^2 x^2 + \sigma_0^2)^{0,5} \quad (2.9)$$

Kus i_z – vertikaalne turbulentsi intensiivsus,
 x^2 – horisontaalne restide vahekaugus (allatuult), m,
 σ_0 – täiendav saasteainete levimine (tavaliselt $0,35d_e$), m.

$$i_y = 0,75 i_x; \quad i_z = 0,5 i_x \quad (2.10)$$

$$i_x = \frac{n \ln\left(\frac{30}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (2.11)$$

$$n = 0,24 + 0,096 \log_{10} z_0 + 0,016 (\log_{10} z_0)^2 \quad (2.12)$$

Kus z – kõrgus maapinnast, m,
 z_0 – kareduskõrgus, m.

Erinevad kareduskõrguse väärtused on toodud tabelis 1.3.

Arvutuslik lahendustegur, kui kareduskõrgus $z_0=2$, resti kõrgus maapinnast $z=3$, tuule kiirus $U_H=2,5$ m/s, heitõhukanal $d_e=0,125$ m, kiirus väljaviske õhukanalis $V_e=5,1$ m/s, õhuhulk $Q=62$ l/s.

Eesti keskmine tuule kiirus on 3,7 m/s[17]

Horisontaalse ja vertikaalse turbulentsi intensiivsus:

$$n = 0,24 + 0,096 \log_{10} z_0 + 0,016 (\log_{10} z_0)^2 = 0,24 + 0,096 \log_{10} 2 + 0,016 (\log_{10} 2)^2 = 0,27$$

$$i_x = \frac{n \ln\left(\frac{30}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{0,27 \ln\left(\frac{30}{2}\right)}{\ln\left(\frac{3}{2}\right)} = 1,81$$

$$i_y = 0,75i_x = 0,75 \cdot 1,81 = 1,35; \quad i_z = 0,5i_x = 0,5 \cdot 1,81 = 0,9$$

Vertikaalne saasteainete levimine:

$$\sigma_z = (i_z^2 x^2 + \sigma_0^2)^{0,5} = (0,9^2 + 0,04^2)^{0,5} = 0,19$$

$$\sigma_0 = 0,35d_e$$

Horisontaalne saasteainete levimine:

$$\sigma_y = (i_y^2 x^2 + \sigma_0^2)^{0,5} = (1,35^2 \cdot 3^2 + 0,19^2)^{0,5} = 0,27$$

$$DF = \frac{4U_H \sigma_y \sigma_z}{6V_e d_e^2} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 0,27 \cdot 0,19}{5,1 \cdot 0,125^2} = 6$$

2.2 Heitõhu hajumise eksperimendid

Katsetuse läbiviimiseks siseruumis ehitati mõõtestend, kus uuriti:

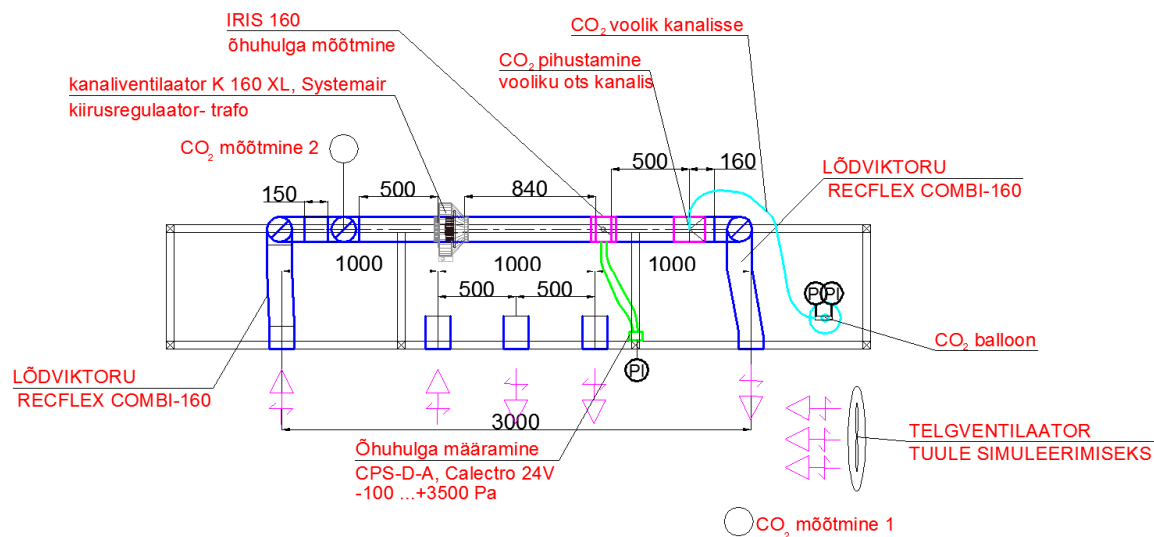
1. Väljaviske resti õhujuga erinevatel õhuhulkadel. Õhujoa markeerimine CO₂ anduritega ja visuaalne vaatlus.
2. Väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu staatilises ja simuleeritud tuulega olukorras erinevate restide vahekaguste juures.

2.2.1 Katsestend

Katsestendi ülesehitus on kajastatud joonistel 2.1-2.4.

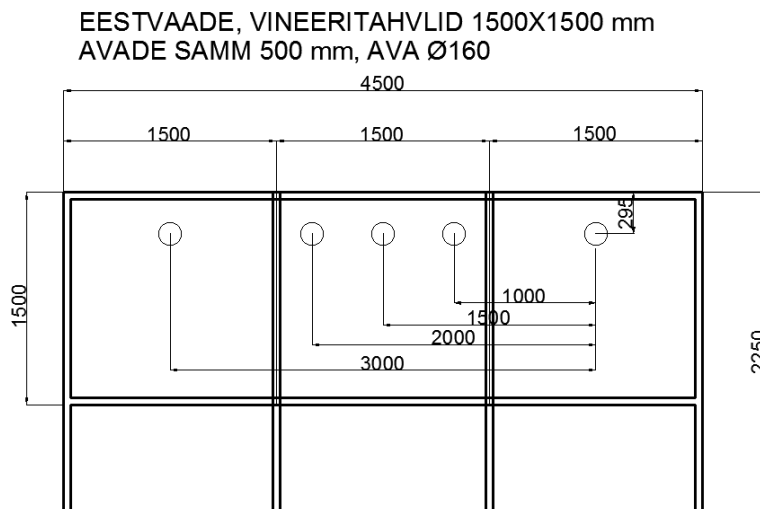
Katsestend koosneb:

1. Seinä imiteerivast tasapinnast.
2. Ventilaatorist ja kiirusregulaatorist
3. IRIS reguleerklapist ja rõhuvähe mõõturist CPS-D-A
4. CO₂ balloonist koos reduktoriga ja voolikust
5. Telgventilaatorist tuule imiteerimiseks



Joonis 2.2 Katseskeemi pealtvaade

CO₂ mõõtmine 1 on mõõtepunktid ruumis, CO₂ mõõtmine 2 on õhuvõtu kanalis. CO₂ vooluhulk reductori järgi 10,5 l/min. CO₂ kulu katsete ajal eraldi ei mõõdetud. Kõik katsetatud välisrestide toruühendused on Ø160 mm.



Joonis 2.3 Katseskeemi eestvaade



Joonis 2.4 Katseskeemi külgvaade ja õhuhulga mõõtmise seadmed



Joonis 2.5 CO₂ reductor

2.2.2 Kasutatud mõõteriistad ja abivahendid

Kasutatud mõõteriistad:

1. CO₂ loggerid HOBO MX1102A
2. CO₂ mõõteriist Green Eye
3. Tiivik anemomeeter Airflow LCA 301
4. Rõhumõõtur CPS-D-A Calectro

Abivahendid:

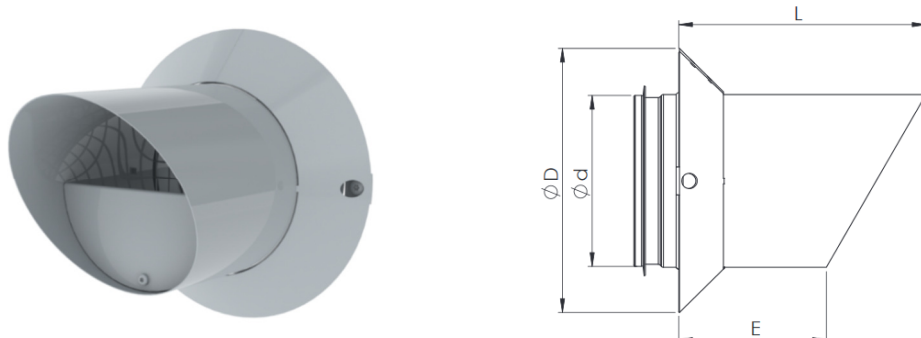
1. Mõõdulint
2. Leica laserkaugusmõõdik

2.2.3 Katsetatavate välisrestide ülevaade

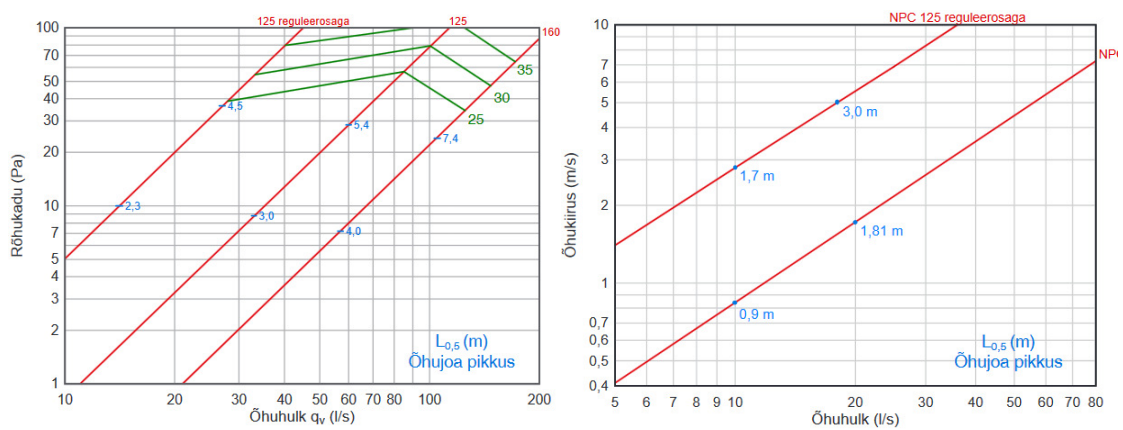
NPC 160 väljavisketoru (tootja Ets Nord), mille põhilisteks omadusteks on:

- Väike aerodünaamiline takistus (100 l/s 20 Pa).

- Seinast eemale suunatud väljaviske juga.[18]
- Väljavise element ei ole seinaga tasa, vaid eendub seinast tugevalt.



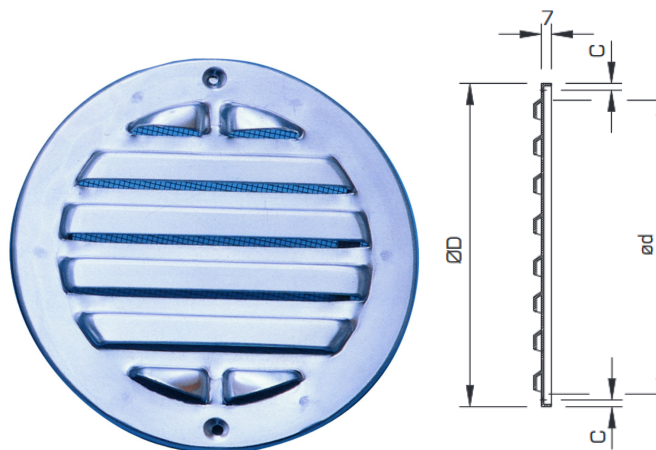
Joonis 2.6 NPC väljaviske toru. E=163, L=255, D=235 ØD=160 mm [18]



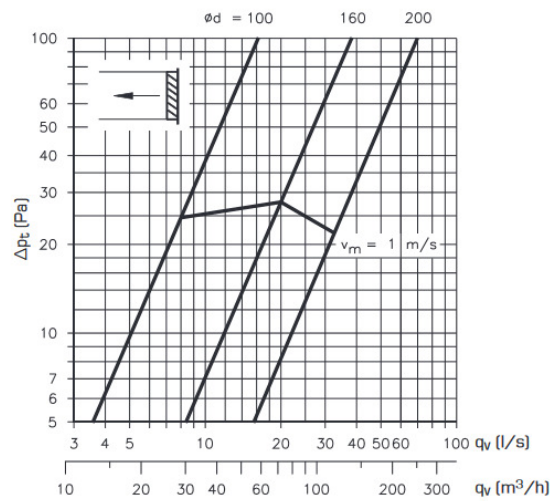
Joonis 2.7 NPC välisresti valiku karakteristik [18]

USSV välisrest (tootja Fläktwoods) põhiomadused:

- Otse alla suunatud õhujuga.
- Suur aerodünaamiline takistus (30 l/s 60 Pa).



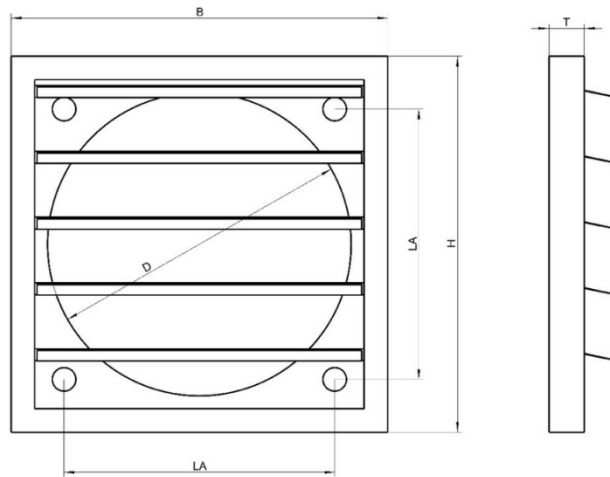
Joonis 2.8 USSV välisrest. c=8, Ød=160, ØD=185 [19]



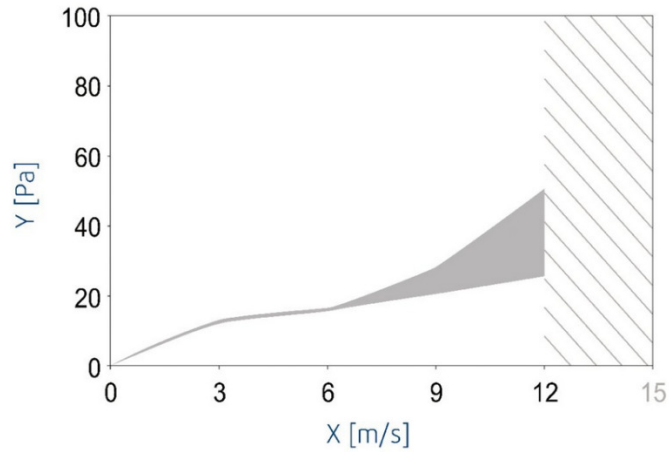
Joonis 2.9 USSV välisresti valiku karakteristik [19]

VK-15 raskusrest (tootja Systemair) põhiomadused:

- Väike aerodünaamiline takistus (100 l/s 17 Pa)
- Väljaviske õhujoa nurk sõltub õhuhulgast (resti labade asend muutub).
- Õhujoa puudumisel langevad resti labad alla ja sulgevad väljaviske ava.
- Kasutatav ainult väljaviskeks.



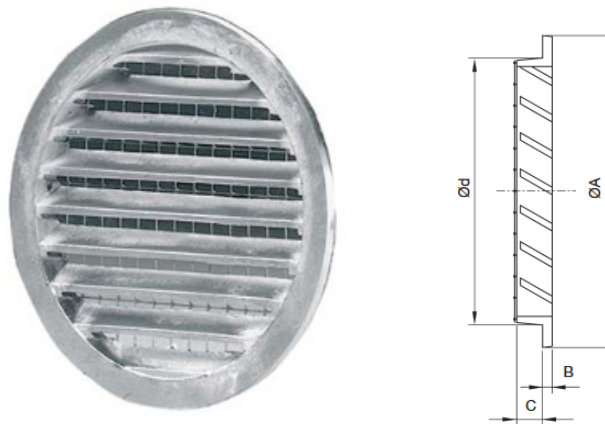
Joonis 2.10 VK-15 raskusrest. LA=140, B ja H=195 D=159, T=22 mm. [20]



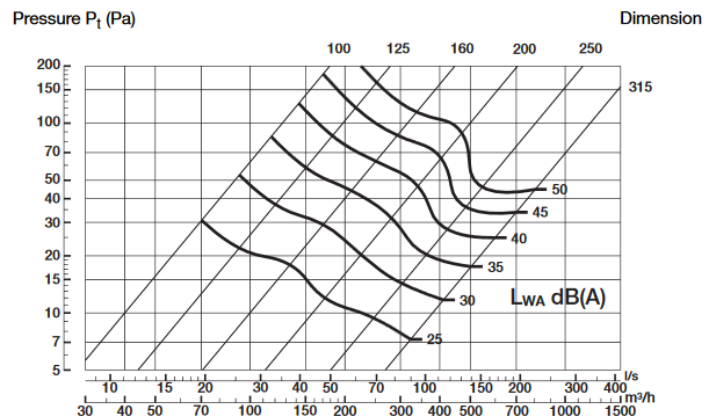
Joonis 2.11 VK-15 raskusresti valiku karakteristik [20]

USAV välisrest (tootja Lindab) põhiomadused:

- Mõõdukas aerodünaamiline takistus (30 l/s 12 Pa, 100 l/s 140 Pa)
- Kasutatav nii õhuvõtule, kui väljaviskele [8]



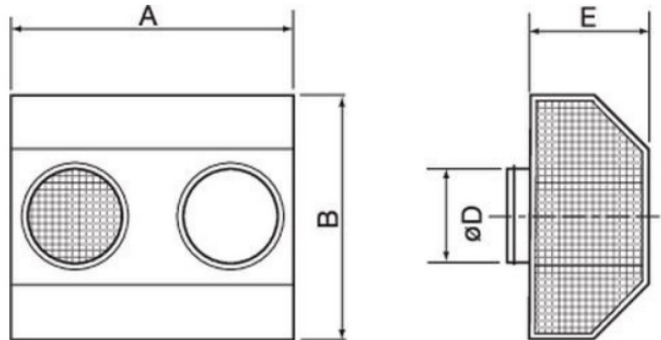
Joonis 2.12 USAV välisrest. $\text{ØA}=185$, $B=5$ $C=15$, $\text{Ød}=159$ mm. [8]



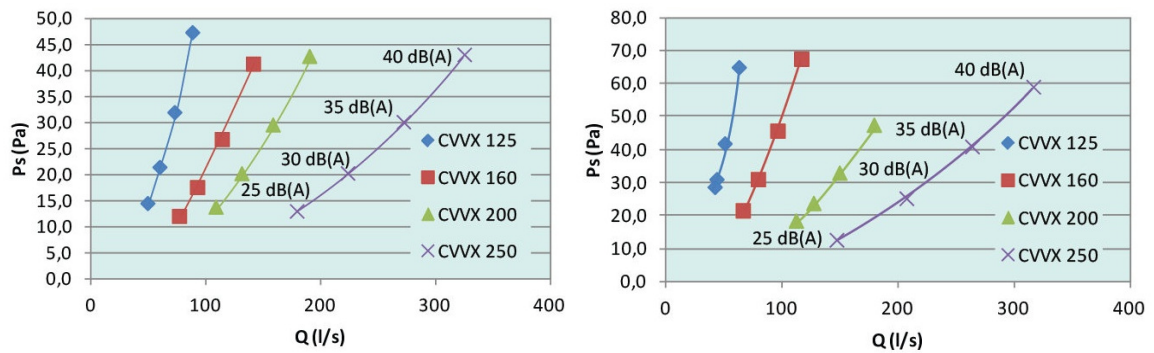
Joonis 2.13 USAV välisresti valiku karakteristik. [8]

CVVX õhuvõtu- väljaviske element (tootja Systemair) põhiomadused:

- Väike aerodünaamiline takistus väljaviskel (100 l/s 22 Pa)
- Mõõdukas aerodünaamiline takistus õhuvõtul (100 l/s 50 Pa)
- Eendub seina tasapinnast väljapoole.



Joonis 2.14 CVVX õhuvõtu- väljaviske element. A=470, B=362 E=130, ØD=160 mm.[13]



Joonis 2.15 CVVX valiku karakteristik väljavise ja õhuvõtt [13]



Joonis 2.16 kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviske element CVVX [13]

2.2.4 Katsete läbiviimise protseduur

Mõõtmised on teostatud viilkatusega avatud hoones mõõtmetega 7,5 x 12 m, mille harja kõrgus on 7 m. Kandevtalastiku kõrgus põrandast 2,6 m.

Staatilises olukorras on mõõtmised teostatud selliselt, et ei oleks ruumis kontrollimatuid õhuvoolusid. Samaaegselt mõõdeti kolme erineva logeriga. Mõõtmiste ajaline kestvus ühes punktis ~50 sekundit, järgmine katse toimus min. 5 minuti möödudes. Tuulega olukorras imiteeriti tuult telgventilaatoriga väljaviske elemendiga samal kõrgusel. Mõõtmiste ajal oli ventilaatori kaugus väljaviske elemendist 1 m ja imiteeritud seinast 0,5 m. Mõõdetud õhuliikumiskiirused esitatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Mõõtmistel kasutatud tuule kiirused

Ventilaatori kiirus	Tuule kiirus m/s	
	1 m	4 m
tuul=1	2,66	0,6
tuul=3	3,79	0,83



Joonis 2.17 mõõteandurite paigutus statiivil ja seinal

3. TULEMUSED JA ANALÜÜS

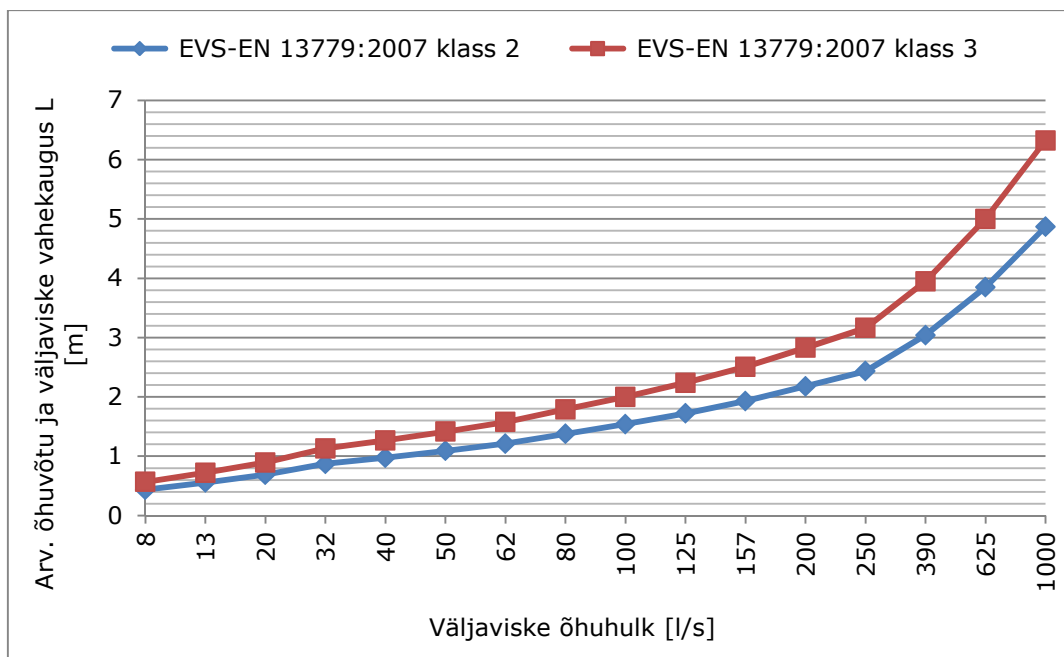
3.1 Minimaalsete nõutud vahekauguste arvutused

3.1.1 EVS-EN 13779:2007

Arvutustulemused heitõhuklassi 2 ja 3 kohta on esitatud tabelis 3.1 ja joonisel 3.1. Tabelites esitatud lühendid: ÕV – õhuvõtt, VV – väljavise.

Tabel 3.1 Väljaviske- ja õhuvõtturesti vahekaugus EVS-EN 13779:2007 klass 2 ja klass 3

Nr	Õhuhulk [l/s]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus [m]	
		EVS-EN 13779:2007 klass 2	EVS-EN 13779:2007 klass 3
1	8	0,44	0,57
2	13	0,56	0,72
3	20	0,69	0,89
4	32	0,87	1,13
5	40	0,97	1,26
6	50	1,09	1,41
7	62	1,21	1,57
8	80	1,38	1,79
9	100	1,54	2,00
10	125	1,72	2,24
11	157	1,93	2,51
12	200	2,18	2,83
13	250	2,43	3,16
14	390	3,04	3,95
15	625	3,85	5,00
16	1000	4,87	6,32



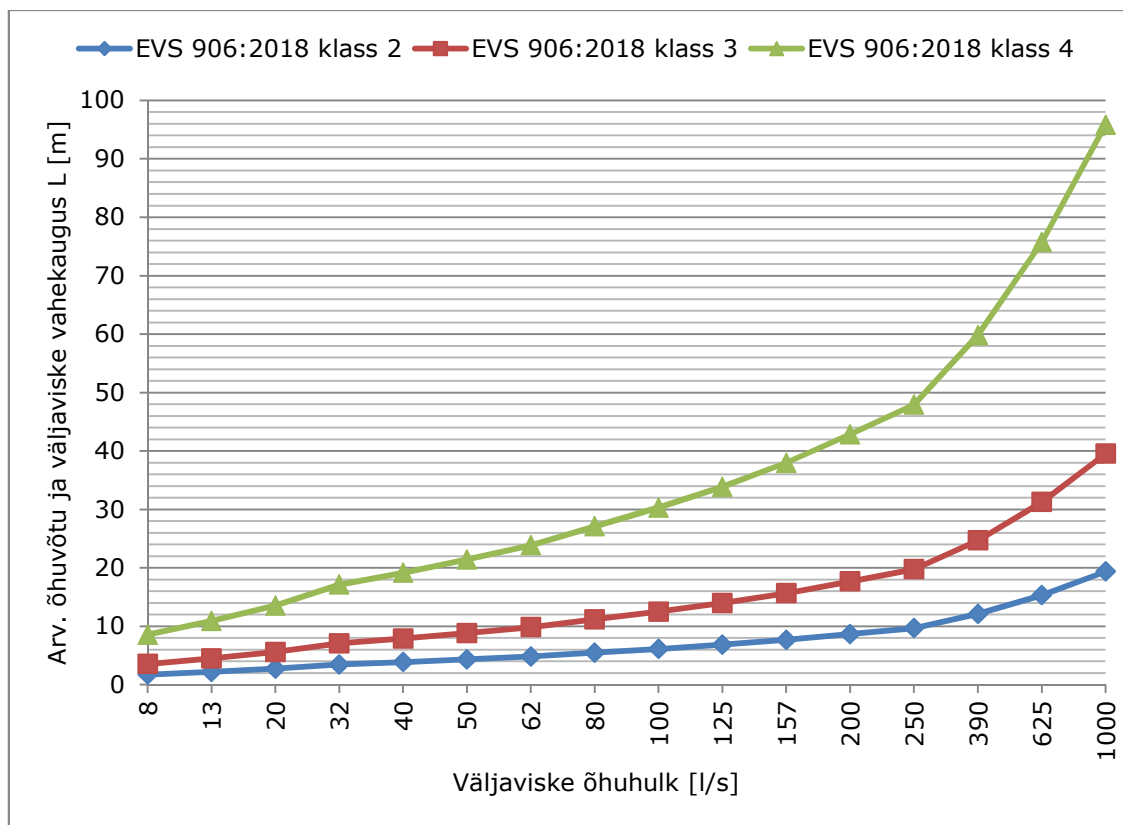
Joonis 3.1 Väljaviske- ja õhuvõturesti vahekaugus vastavalt EVS-EN 13779:2007 klass 2 ja klass 3

3.1.2 EVS 906:2018

Arvutustulemused heitõhuklassi 2, 3 ja 4 kohta on esitatud tabelis 3.2 ja joonisel 3.2.

Tabel 3.2 Väljaviske- ja õhuvõturesti vahekaugus vastavalt EVS 906:2018 klass 2, klass 3, klass 4.

Nr	Õhuhulk [l/s]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus [m]		
		EVS 906:2018 klass 2	EVS 906:2018 klass 3	EVS 906:2018 klass 4
1	8	1,73	3,54	8,57
2	13	2,21	4,51	10,92
3	20	2,74	5,59	13,55
4	32	3,47	7,07	17,14
5	40	3,88	7,91	19,16
6	50	4,33	8,84	21,43
7	62	4,83	9,84	23,86
8	80	5,48	11,18	27,10
9	100	6,13	12,50	30,30
10	125	6,85	13,98	33,88
11	157	7,68	15,66	37,97
12	200	8,67	17,68	42,85
13	250	9,69	19,76	47,91
14	390	12,11	24,69	59,84
15	625	15,33	31,25	75,75
16	1000	19,38	39,53	95,82



Joonis 3.2 Väljaviske- ja õhuvõturi arvutuslik vahekaugus vastavalt EVS 906:2018 klass 2, klass 3, klass 4.

Võrdleme valikugraafikut (joonis 2.1) arvutusega olukorras, kus õhuvõtu ja väljaviske rest paiknevad seinal samas tasapinnas ehk $\Delta h=0$. Tabelis 3.3 toodud arvutuslikud vahekaugused klass 4 heitõhu puhul. Arvutustulemused näitavad, et väiksematel õhuhulkadel langevad tulemused valiku graafikuga suhteliselt hästi kokku väljaviske õhukiirustel 1,5, 3 ja 6 m/s. Suurematel õhuhulkadel on erinevused suured. Võib eeldada, et valiku graafiku aluseks olnud arvutusvalem ei ole sama, mis standardis väljatoodud valem 2.5.

Tabel 3.3 Standardi EVS 906:2018 klass 4 vahekaugused

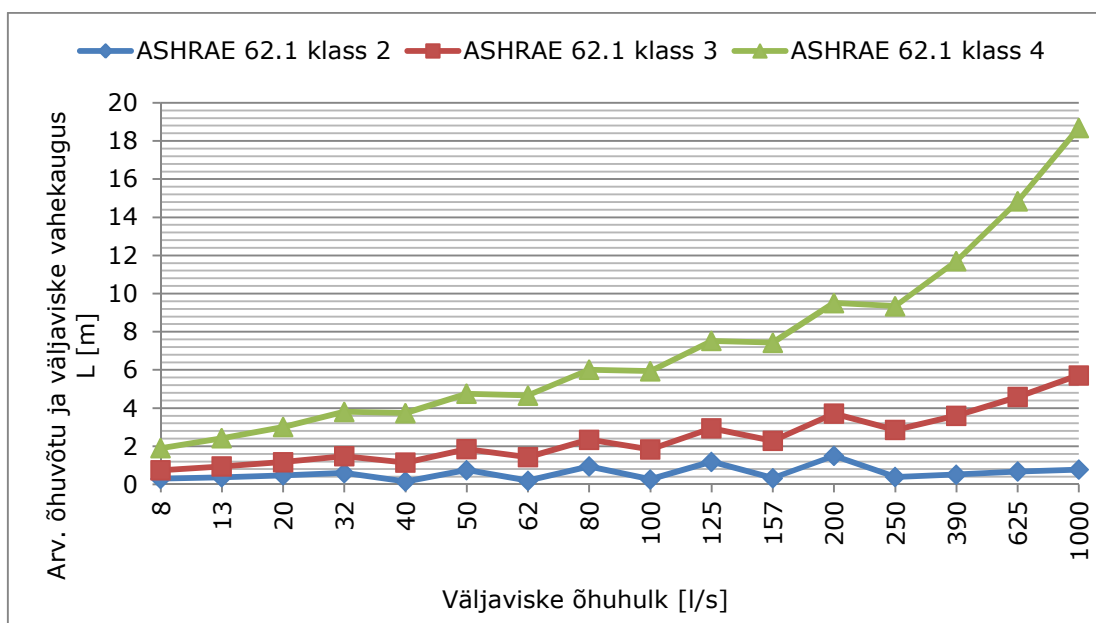
Nr	Toru Ø [mm]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus klass 4			
		Õhu kiirus väljaviskes [m/s]			
		0,3	1,5	3	6
1	100	4,79	10,50	14,84	20,99
2	125	5,25	13,21	18,43	26,07
3	160	7,42	16,60	23,47	33,19
4	200	9,58	20,77	29,53	38,33
5	250	11,74	26,24	37,11	52,04

3.1.3 ASHRAE 62.1

Väljaviske- ja õhuvõtturesti arvutatud vahekaugused on toodud tabelis 3.4 ja joonisel 3.3

Tabel 3.4 Väljaviske- ja õhuvõtturesti vahekaugus vastavalt ASHRAE 62.1 2019 klass 2, kalss 3 ja klass 4

Nr	Toru \varnothing [mm], õhuhulk [l/s], õhukiirus torus [m/s]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus [m]		
		ASHRAE 62.1 klass 2	ASHRAE 62.1 klass 3	ASHRAE 62.1 klass 4
1	\varnothing 100, 8 l/s, 1,02 m/s	0,30	0,74	1,90
2	\varnothing 100, 40 l/s, 5,1 m/s	0,16	1,14	3,74
3	\varnothing 125, 13 l/s, 1,06 m/s	0,38	0,94	2,42
4	\varnothing 125, 62 l/s, 5,05 m/s	0,20	1,43	4,66
5	\varnothing 160, 20 l/s, 1, m/s	0,48	1,18	3,01
6	\varnothing 160, 100 l/s, 4,98 m/s	0,27	1,83	5,93
7	\varnothing 200, 32 l/s, 1,02 m/s	0,60	1,48	3,80
8	\varnothing 200, 157 l/s, 5 m/s	0,33	2,29	7,43
9	\varnothing 250, 50 l/s, 1,02 m/s	0,75	1,86	4,75
10	\varnothing 250, 250 l/s, 5,1 m/s	0,39	2,86	9,34
11	\varnothing 315, 80 l/s, 1,03 m/s	0,95	2,35	6,01
12	\varnothing 315, 390 l/s, 5,01 m/s	0,52	3,61	11,70
13	\varnothing 400, 125 l/s, 1 m/s	1,19	2,94	7,52
14	\varnothing 400, 625 l/s, 4,98 m/s	0,67	4,58	14,83
15	\varnothing 500, 200 l/s, 1,02 m/s	1,50	3,71	9,51
16	\varnothing 500, 1000 l/s, 5,1 m/s	0,78	5,72	18,69



Joonis 3.3 Väljaviske- ja õhuvõtturesti vahekaugus vastavalt ASHRAE 62.1 2019 klass 2, kalss 3 ja klass 4

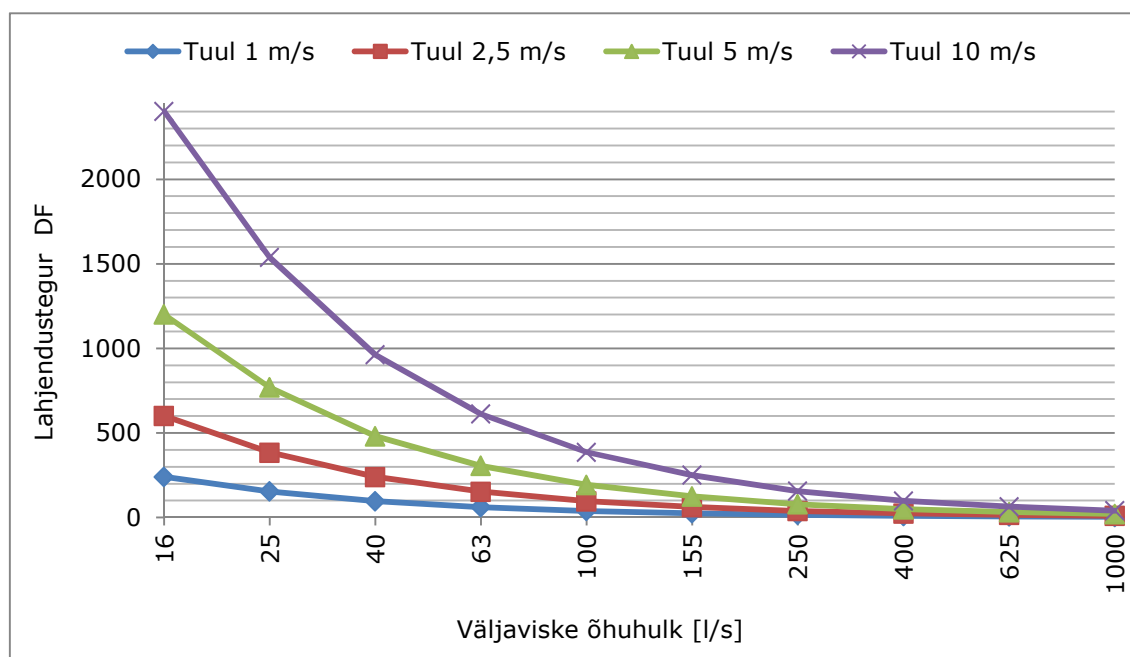
Kuna valemis esineb ka õhukiiruse komponent on õhuhulgad valitud selliselt, et ühel juhul oleks tagatud soovituslik 5 m/s ja teisel juhul 1 m/s väljaviske kiirus väljendab vähendatud õhuhulka näiteks töövälisel ajal.

3.1.4 ASHRAE Handbook

Tabelis 3.5 ja joonisel 3.4 esitatud arvutuse väärtused erinevate tuule kiiruste juures. Kõrgus maapinnast võetud 3 m ja $z_0=2$. Mida suurem tuule kiirus seda suurem lahjendustegur.

Tabel 3.5 ASHRAE Handbook lahjendusteguri sõltuvus tuule kiirusest $z=3, z_0=2 L=1$

nr	Ø [mm]	Õhuhulk [l/s]	Õhukiirus [m/s]	Lahjendustegur DF			
				Tuule kiirus [m/s]			
				1	2,5	5	10
1	100	16	2,04	240	600	1201	2402
2	125	25	2,04	154	385	769	1538
3	160	40	1,99	96	241	481	962
4	200	63	2,01	61	153	306	612
5	250	100	2,04	39	97	193	387
6	315	155	1,99	25	63	125	250
7	400	250	1,99	16	39	78	156
8	500	400	2,04	10	25	49	99
9	630	625	2,01	6	16	32	64
10	800	1000	1,99	4	10	21	41

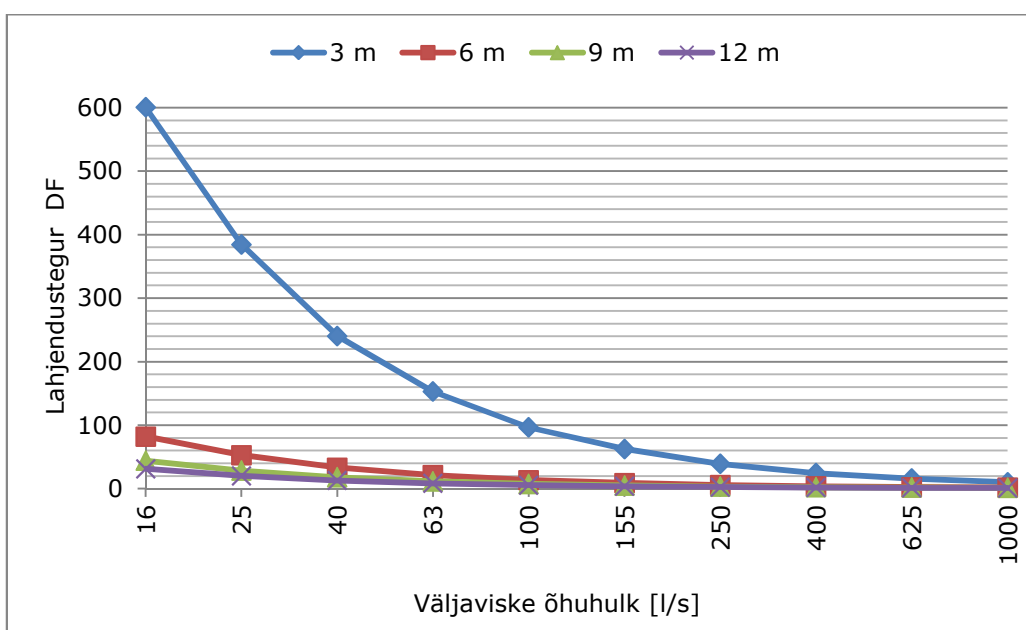


Joonis 3.4 ASHRAE Handbook lahjendusteguri sõltuvus tuule kiirusest $z=3, z_0=2 L=1$

Arvutustes mõjutab lahjendusteguri väärtust ka väljaviskeresti kõrgus maapinnast. Mida kõrgemal väljaviskerest asub, seda väiksem on lahjendustegur. Tulemused esitatud tabelis 3.6 ja joonisel 3.5.

Tabel 3.6 ASHRAE Handbook lahjendusteguri sõltuvus väljaviske resti kõrgusest maapinna suhtes, $UH=2,5$, $z_0=2$ ja $L=1$

nr	\varnothing [mm]	Õhuhulk [l/s]	Õhukiirus [m/s]	Lahjendustegur DF			
				Väljaviske kõrgus maapinnast [m]			
				3	6	9	12
1	100	16	2,04	600	82	44	31
2	125	25	2,04	385	53	29	20
3	160	40	1,99	241	33	18	13
4	200	63	2,01	153	21	12	8
5	250	100	2,04	97	14	8	6
6	315	155	1,99	63	9	5	4
7	400	250	1,99	39	6	3	3
8	500	400	2,04	25	4	2	2
9	630	625	2,01	16	3	2	1
10	400	1000	1,99	10	2	1	1

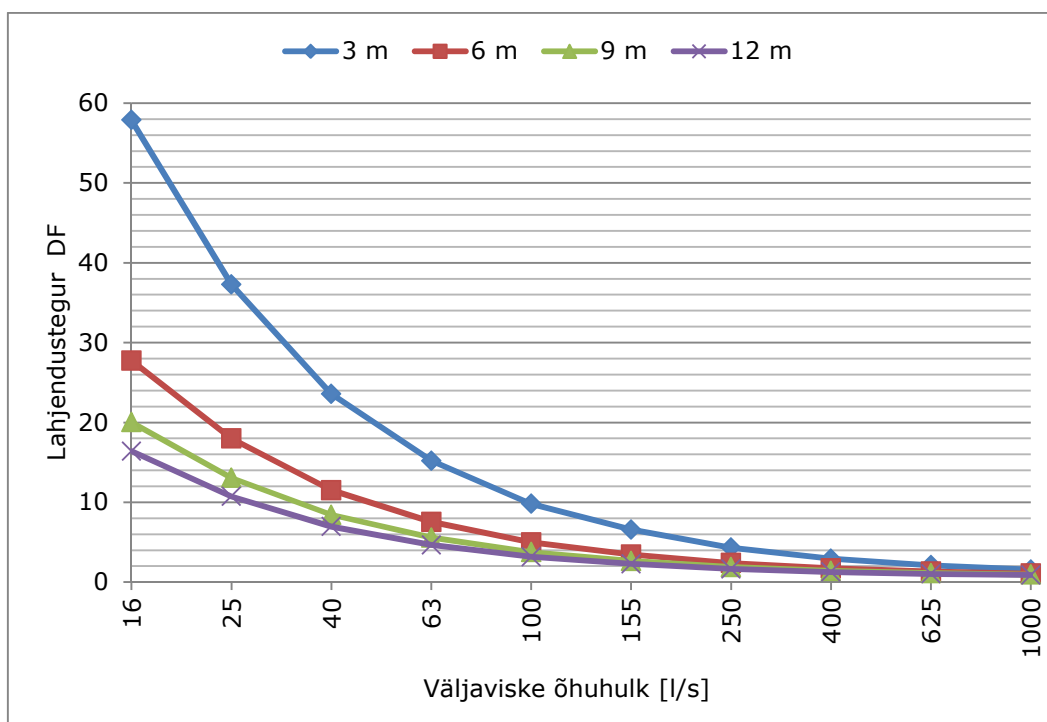


Joonis 3.5 ASHRAE Handbook lahjendusteguri sõltuvus väljaviske resti kõrgusest maapinna suhtes, $UH=2,5$, $z_0=2$ ja $L=1$

All järgnevas tabelist 3.7 ja joonisest 3.6 selgub, et z_0 kareduskõrguse väärtuse vähenedes väheneb oluliselt ka lahjendustegur.

Tabel 3.7 ASHRAE Handbook lahjendusteguri sõltuvus väljaviske resti kõrgusest maapinna suhtes, $UH=2,5$, $z_0=0,65$ ja $L=1$

nr	\varnothing [mm]	Õhuhulk [l/s]	Õhukiirus [m/s]	Lahjendustegur DF			
				Väljaviske kõrgus maapinnast [m]			
				3	6	9	12
1	100	16	2,04	58	28	20	16
2	125	25	2,04	37	18	13	11
3	160	40	1,99	24	12	8	7
4	200	63	2,01	15	8	6	5
5	250	100	2,04	10	5	4	3
6	315	155	1,99	7	3	3	2
7	400	250	1,99	4	2	2	2
8	500	400	2,04	3	2	1	1
9	630	625	2,01	2	1	1	1
10	400	1000	1,99	2	1	1	1



Joonis 3.6 ASHRAE Handbook lahjendusteguri sõltuvus väljaviske resti kõrgusest maapinna suhtes, $UH=2,5$, $z_0=0,65$ ja $L=1$

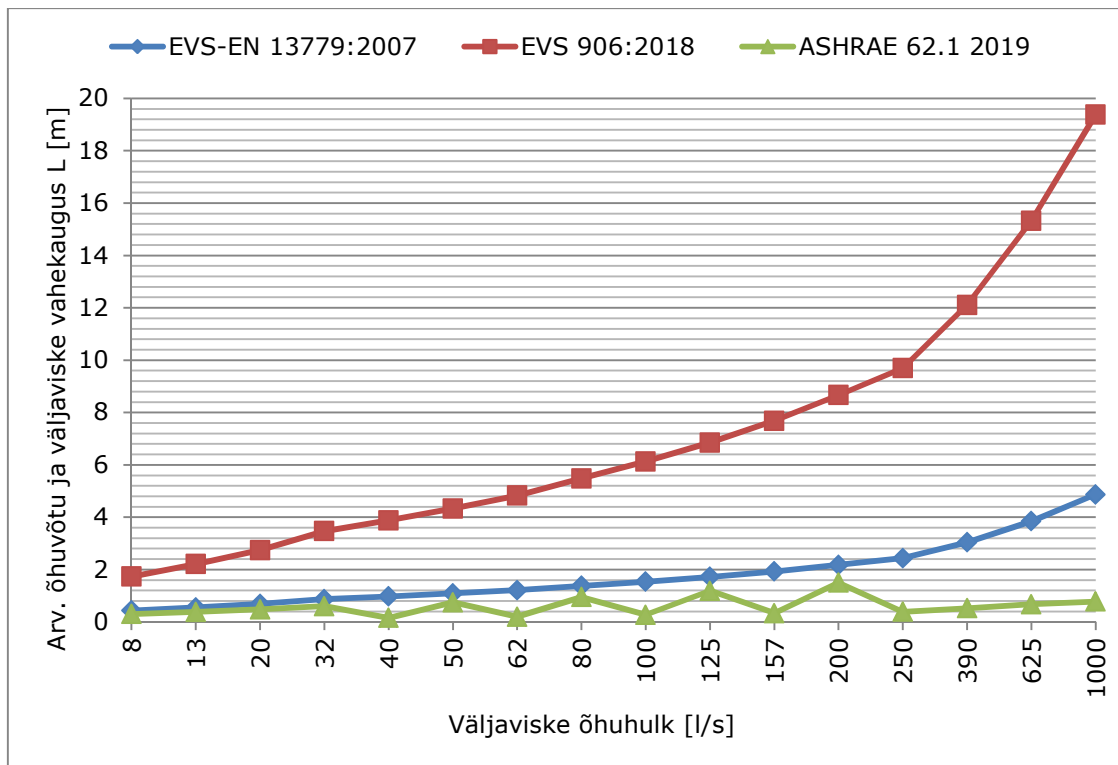
3.2 EVS ja ASHRAE arvutusmetoodite võrdlus

Järgnevalt on esitatud erinevate arvutusmetoodikate võrdlus heitõhuklasside kaupa tabelites 3.8 -3.10 ja joonistel 3.7-3.9. Kuna ASHRAE Building intake and exhaust design (handbook) arvutus on rohkemate muutujatega, on selle meetodi võrdlemiseks teistega lähtunud järgmistest põhimõtetest ja lihtsustustest:

- Väljaviskeresti kõrgus maapinnast on 3 m.
- Õhuvõtu- ja väljaviske element asuvad samal kõrgusel.
- Vahekaugusena on arvutuses kasutatud standardite meetodikate põhjal leitud minimaalset vahekaugust, mis on tähistatud rasvaselt.
- Lahjendustegurid, mis vastavad antud heitõhuklassi nõuetele on toodud rohelise tekstiga.

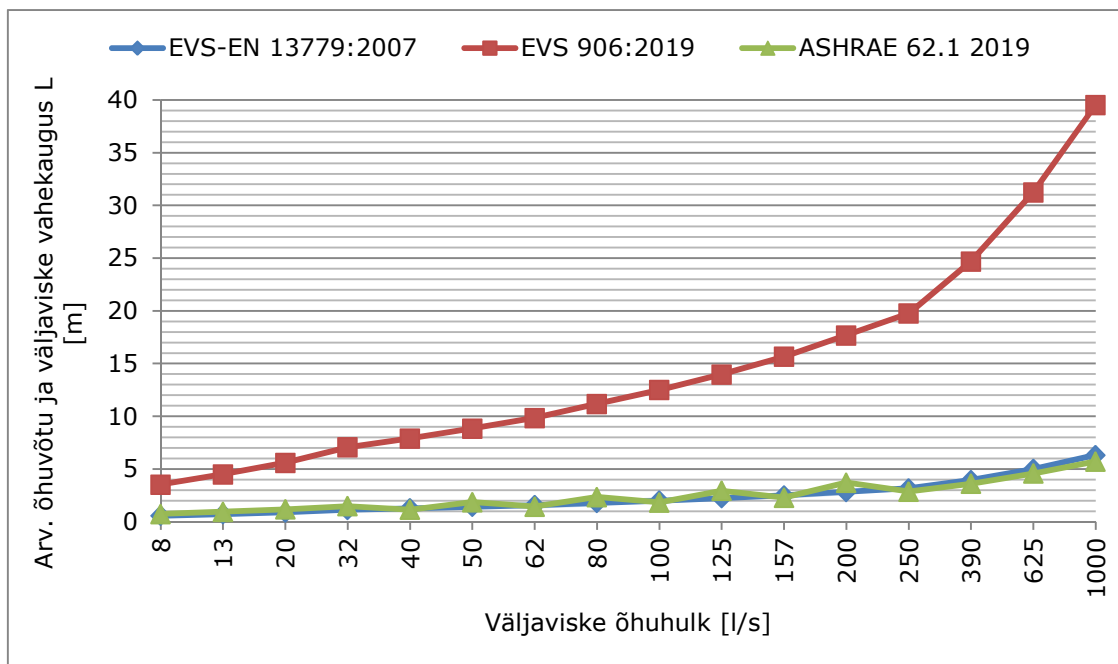
Tabel 3.8 Väljaviske- ja õhuvõturesti vahekaugused klass 2

Nr	Toru Ø [mm], õhuhulk [l/s], õhukiirus torus [m/s]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus [m]			Lahjendustegur			
		EVS-EN 13779:2 007	EVS 906:201 8	ASHRAE 62.1 2019	ASHRAE EXHAUST DESIGN			
					z ₀ =2		z ₀ =0,65	
					Tuul [m/s]			
2,5	10	2,5	10					
1	Ø100, 8 l/s, 1,02 m/s	0,44	1,73	0,30	109	437	12	46
2	Ø100, 40 l/s, 5,1 m/s	0,97	3,88	0,16	6	26	1	3
3	Ø125, 13 l/s, 1,06 m/s	0,56	2,21	0,38	108	431	11	46
4	Ø125, 62 l/s, 5,05 m/s	1,21	4,83	0,20	6	26	1	3
5	Ø160, 20 l/s, 1, m/s	0,69	2,74	0,48	112	448	12	47
6	Ø160, 100 l/s, 4,98 m/s	1,54	6,13	0,27	7	29	1	4
7	Ø200, 32 l/s, 1,02 m/s	0,87	3,47	0,60	109	437	12	46
8	Ø200, 157 l/s, 5 m/s	1,93	7,68	0,33	7	28	1	4
9	Ø250, 50 l/s, 1,02 m/s	1,09	4,33	0,75	109	437	12	46
10	Ø250, 250 l/s, 5,1 m/s	2,43	9,69	0,39	6	24	1	3
11	Ø315, 80 l/s, 1,03 m/s	1,38	5,48	0,95	110	438	12	46
12	Ø315, 390 l/s, 5,01 m/s	3,04	12,11	0,52	7	28	1	4
13	Ø400, 125 l/s, 1 m/s	1,72	6,85	1,19	110	440	12	47
14	Ø400, 625 l/s, 4,98 m/s	3,85	15,33	0,67	7	29	1	4
15	Ø500, 200 l/s, 1,02 m/s	2,18	8,67	1,50	109	437	12	46
16	Ø500, 1000 l/s, 5,1 m/s	4,87	19,38	0,78	6	24	1	3



Joonis 3.7 Väljaviske- ja õhuvõtresti vahekaugused klass 2

Joonisel 3.7 esitatud ASHRAE 62.1 meetodikaga arvatud vahekauguste graafiku joone kõikumine tuleneb õhukiiruse muutusest. EVS standardis kasutatav arvutusmetoodika ei võta arvesse väljaviske kanalis liikuva õhu kiirust.

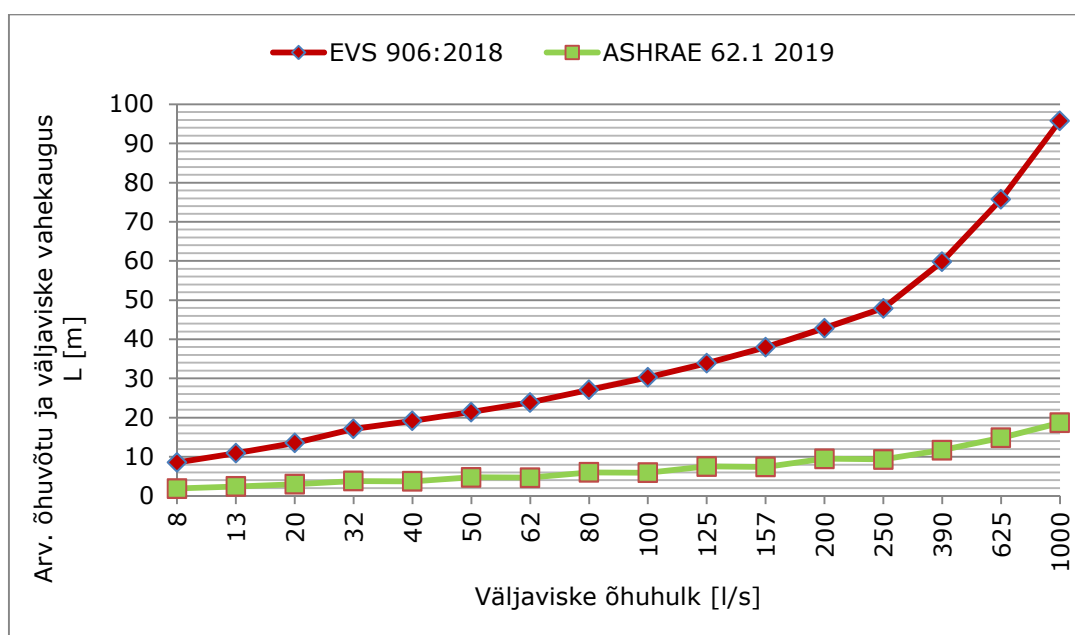


Joonis 3.8 Väljaviske- ja õhuvõtresti vahekaugused klass 3

Tabel 3.9 Väljaviske- ja õhuvõturesti vahekaugused klass 3 (DF≥50)

Nr	Toru Ø [mm], õhuhulk [l/s], õhukiirus torus [m/s]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus [m]			Lahjendustegur			
		EVS-EN 13779:2007	EVS 906:2018	ASHRAE 62.1 2019	ASHRAE EXHAUST DESIGN			
					z ₀ =2		z ₀ =0,65	
					Tuul [m/s]			
2,5	10	2,5	10					
1	Ø100, 8 l/s, 1,02 m/s	0,57	3,54	0,74	391	1564	38	154
2	Ø100, 40 l/s, 5,1 m/s	1,26	7,91	1,14	312	1248	30	120
3	Ø125, 13 l/s, 1,06 m/s	0,72	4,51	0,94	384	1536	38	151
4	Ø125, 62 l/s, 5,05 m/s	1,57	9,84	1,43	317	1267	30	122
5	Ø160, 20 l/s, 1, m/s	0,89	5,59	1,18	381	1526	38	150
6	Ø160, 100 l/s, 4,98 m/s	2,00	12,50	1,83	322	1287	31	124
7	Ø200, 32 l/s, 1,02 m/s	1,13	7,07	1,48	384	1537	38	151
8	Ø200, 157 l/s, 5 m/s	2,51	15,66	2,29	321	1283	31	123
9	Ø250, 50 l/s, 1,02 m/s	1,41	8,84	1,86	251	1003	25	100
10	Ø250, 250 l/s, 5,1 m/s	3,16	19,76	2,86	314	1257	30	121
11	Ø315, 80 l/s, 1,03 m/s	1,79	11,18	2,35	386	1543	38	152
12	Ø315, 390 l/s, 5,01 m/s	3,95	24,69	3,61	321	1284	31	123
13	Ø400, 125 l/s, 1 m/s	2,24	13,98	2,94	387	1546	38	152
14	Ø400, 625 l/s, 4,98 m/s	5,00	31,25	4,58	322	1290	31	124
15	Ø500, 200 l/s, 1,02 m/s	2,83	17,68	3,71	386	1543	38	152
16	Ø500, 1000 l/s, 5,1 m/s	6,32	39,53	5,72	314	1257	30	121

EVS-EN 13779:2007 standardis puudub valem vahekauguse määramiseks klass 4 heitõhu puhul. Klass 4 arvutuslikud vahekaugused toodud tabelis 3.10 ja joonisel 3.9.



Joonis 3.9 Väljaviske- ja õhuvõturesti vahekaugused klass 4

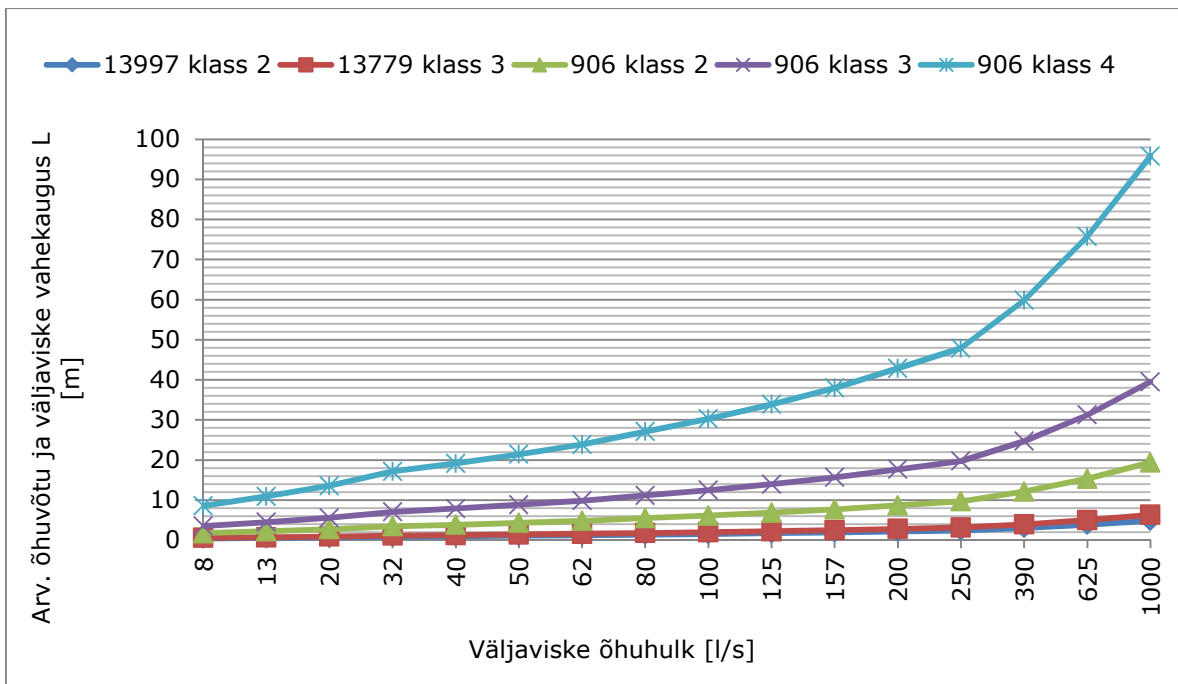
Tabel 3.10 Väljaviske- ja õhuvõtturesti vahekaugused klass 4 (DF≥300)

Nr	Toru Ø [mm], õhuhulk [l/s], õhukiirus torus [m/s]	Arvutuslik ÕV ja VV vahekaugus [m]		Lahjendustegur			
		EVS 906:2018	ASHRAE 62.1 2019	ASHRAE EXHAUST DESIGN			
				z ₀ =2		z ₀ =0,65	
				Tuul [m/s]			
2,5	10	2,5	10				
1	Ø100, 8 l/s, 1,02 m/s	8,57	1,90	4332	17329	415	1658
2	Ø100, 40 l/s, 5,1 m/s	19,16	3,74	3356	13426	320	1282
3	Ø125, 13 l/s, 1,06 m/s	10,92	2,42	4325	17299	414	1655
4	Ø125, 62 l/s, 5,05 m/s	23,86	4,66	3362	13447	321	1284
5	Ø160, 20 l/s, 1, m/s	13,55	3,01	4349	17396	416	1665
6	Ø160, 100 l/s, 4,98 m/s	30,30	5,93	3375	13501	322	1289
7	Ø200, 32 l/s, 1,02 m/s	17,14	3,80	4332	17329	415	1658
8	Ø200, 157 l/s, 5 m/s	37,97	7,43	3375	13500	322	1289
9	Ø250, 50 l/s, 1,02 m/s	21,43	4,75	4332	17329	415	1658
10	Ø250, 250 l/s, 5,1 m/s	47,91	9,34	3349	13397	320	1279
11	Ø315, 80 l/s, 1,03 m/s	27,10	6,01	4335	17338	415	1659
12	Ø315, 390 l/s, 5,01 m/s	59,84	11,70	3369	13476	322	1287
13	Ø400, 125 l/s, 1 m/s	33,88	7,52	4343	17373	416	1662
14	Ø400, 625 l/s, 4,98 m/s	75,75	14,83	3377	13510	322	1290
15	Ø500, 200 l/s, 1,02 m/s	42,85	9,51	4341	17365	415	1662
16	Ø500, 1000 l/s, 5,1 m/s	95,82	18,69	3353	13411	320	1281

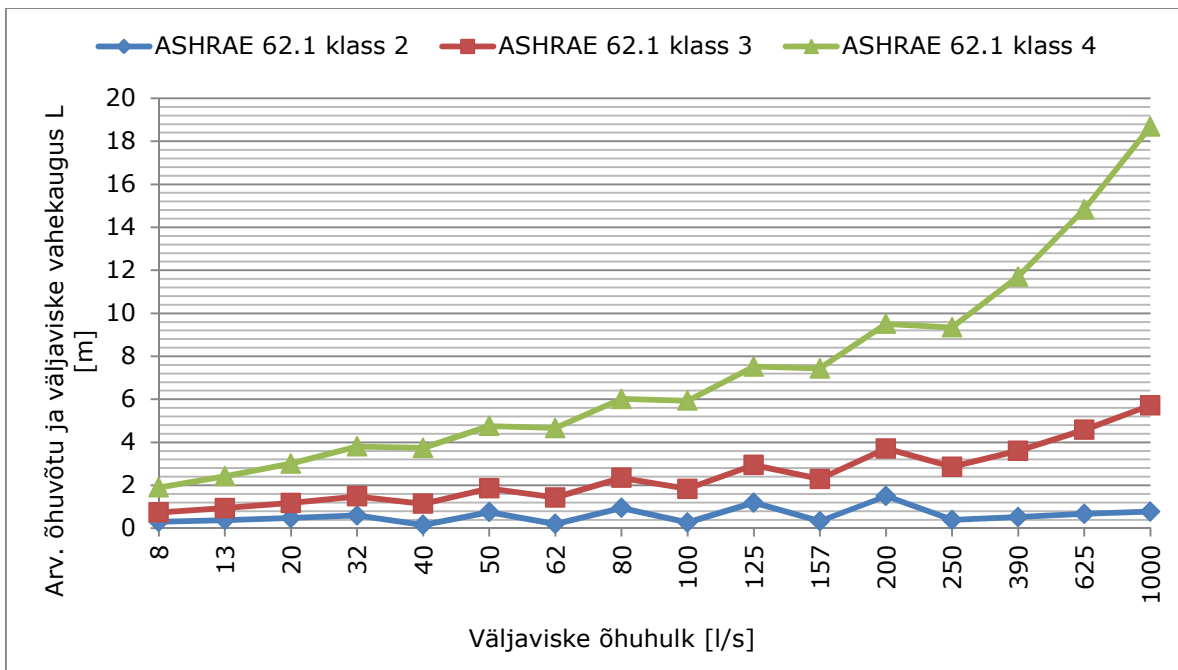
Standardite EVS 906:2018, EVS-EN 13779:2007 ja ASHRAE 62.1 standardite arvutustulemuste alusel saab teha järgnevad järeldused:

- EVS 906:2018 puhul väljaviske elementide arvutuslik vahekaugus oluliselt suurem
- EVS-EN 13779:2007 ja ASHRAE 62.1 arvutus meetodikad annavad sarnaseid tulemusi.

Järgnevatel graafikutel 3.10 ja 3.11 toodud arvutuslikud vahekaugused klasside kaupa EVS ja ASHRAE standardite puhul.



Joonis 3.10 Arvutuslik õhuvõtu ja väljaviske vahekaugus EVS standard



Joonis 3.11 Arvutuslik õhuvõtu ja väljaviske vahekaugus ASHRAE 62.1 standard

3.3 Mõõtetulemused

Erinevate katsete mõõtetulemused normaliseeriti, et tagada mõõtetulemuste võrreldavus. Kontsentratsiooni hindamiseks ruumis on kasutatud järgnevaid valemeid:

$$DF\% = 100 - \left(\frac{\text{mõõtepunkt ruumis} - \text{CO}_2 \text{ taustkontsentratsioon}}{\text{väljviske kontsentratsioon} - \text{CO}_2 \text{ taustkontsentratsioon}} \cdot 100 \right) \quad (3.1)$$

$$DF = \frac{\text{väljviske kontsentratsioon}}{\text{kontsentratsioon ruumis olevas mõõtepunktis}} \quad (3.2)$$

3.3.1 Staatiline olukord

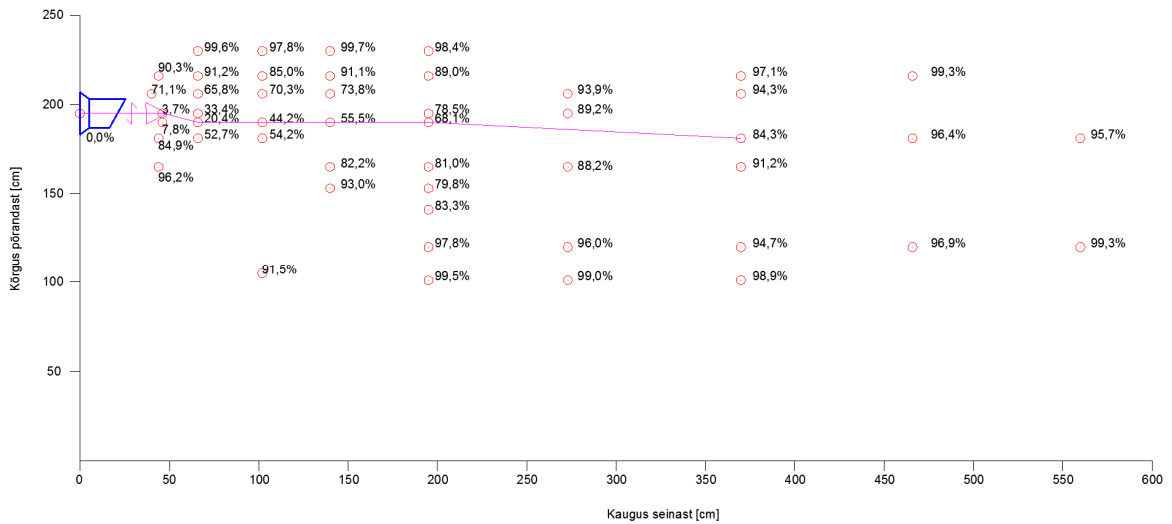
NPC 160 tuuleta olukord mõõdetud kolmel õhuhulgal. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonistel 3.6, 3.7 ja 3.8.

NPC tüüpi väljaviske elemendi puhul ei ole väljaviske ava ribitatud ning õhujuga saab vabalt levida otse. Õhujuga levib alates õhuhulgast 51 l/s vähemalt 7,5 m kaugusele, kui ei ole segavaid õhuvoolusi või objekte.

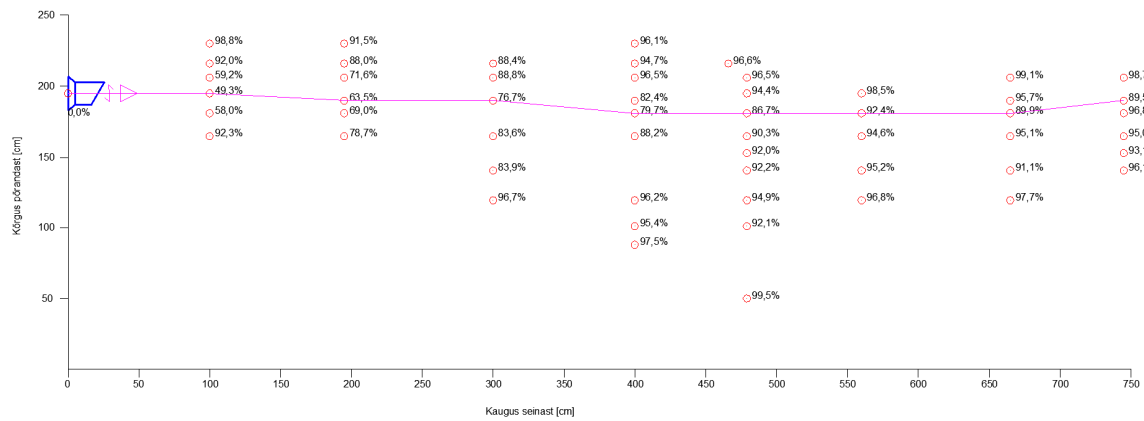
Suitsukatse külgvaade 94 l/s esitatud joonisel 3.5.



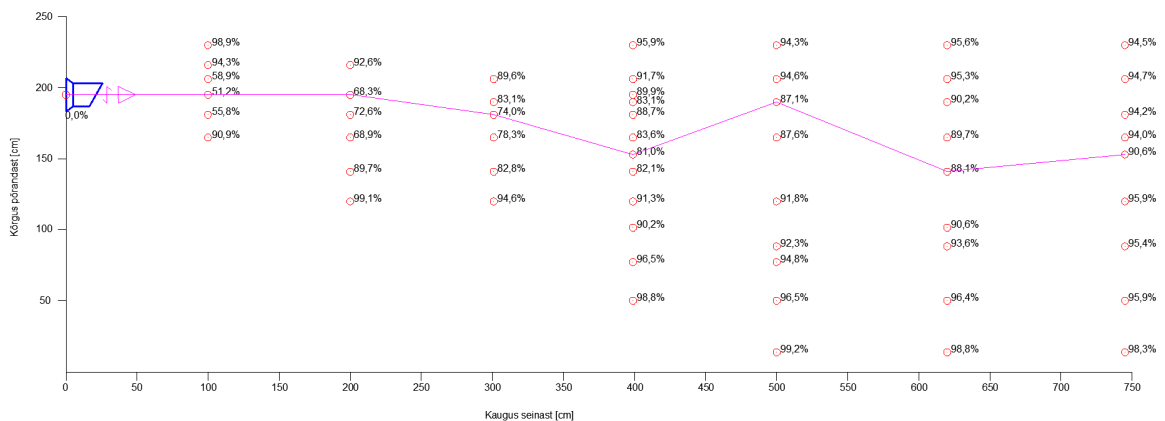
Joonis 3.12 NPC 94 l/s suitsukatse külgvaade



Joonis 3.13 NPC 28 I/s staatiline olukord



Joonis 3.14 NPC 51 I/s staatiline olukord



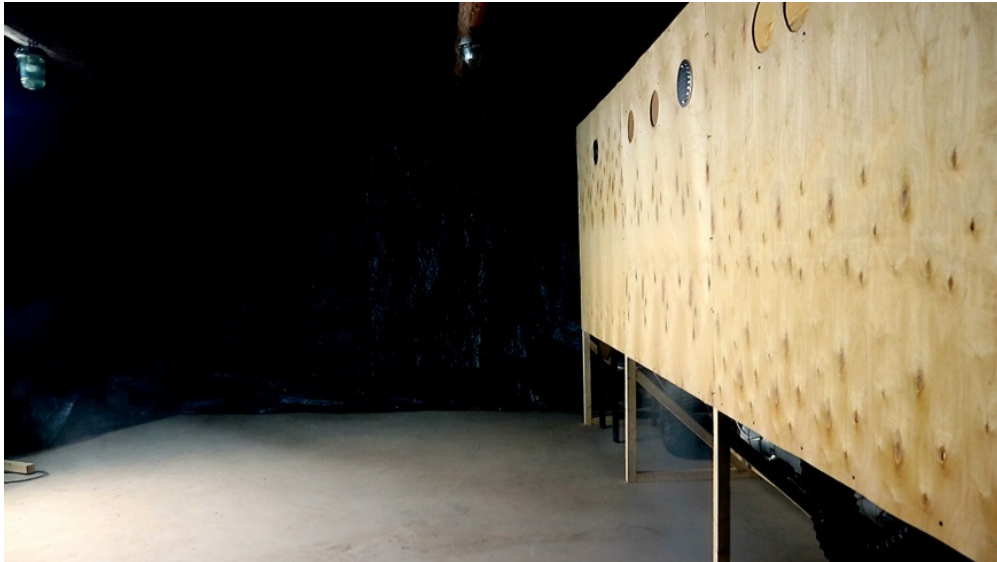
Joonis 3.15 NPC 94 I/s staatiline olukord

USSV 160 tuuleta olukord mõõdetud kahel õhuhulgal. Väljaviske resti aerodünaamiline takistus on suur ja seetõttu ei olnud võimalik antud mõõtestendiga

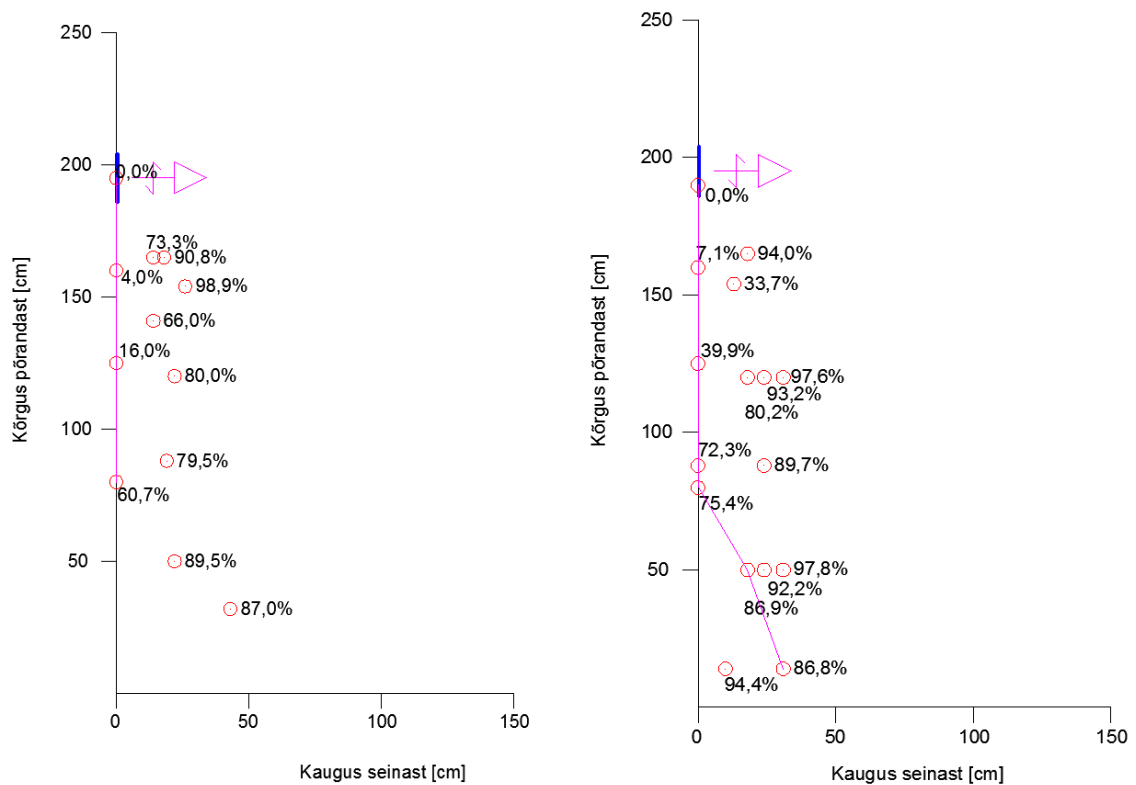
õhuhulka ~100 l/s saavutada. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonisel 3.9.

Väljaviske resti ribistatus on suunatud otse alla ja seetõttu liigub ka õhujuga otse mööda seina alla jäädes seina lähedale.

Suitsukatse külgsuuna 52 l/s esitatud joonisel 3.8.



Joonis 3.16 USSV 52 l/s staatiline olukord



Joonis 3.17 USSV 27 l/s ja 52 l/s staatiline olukord

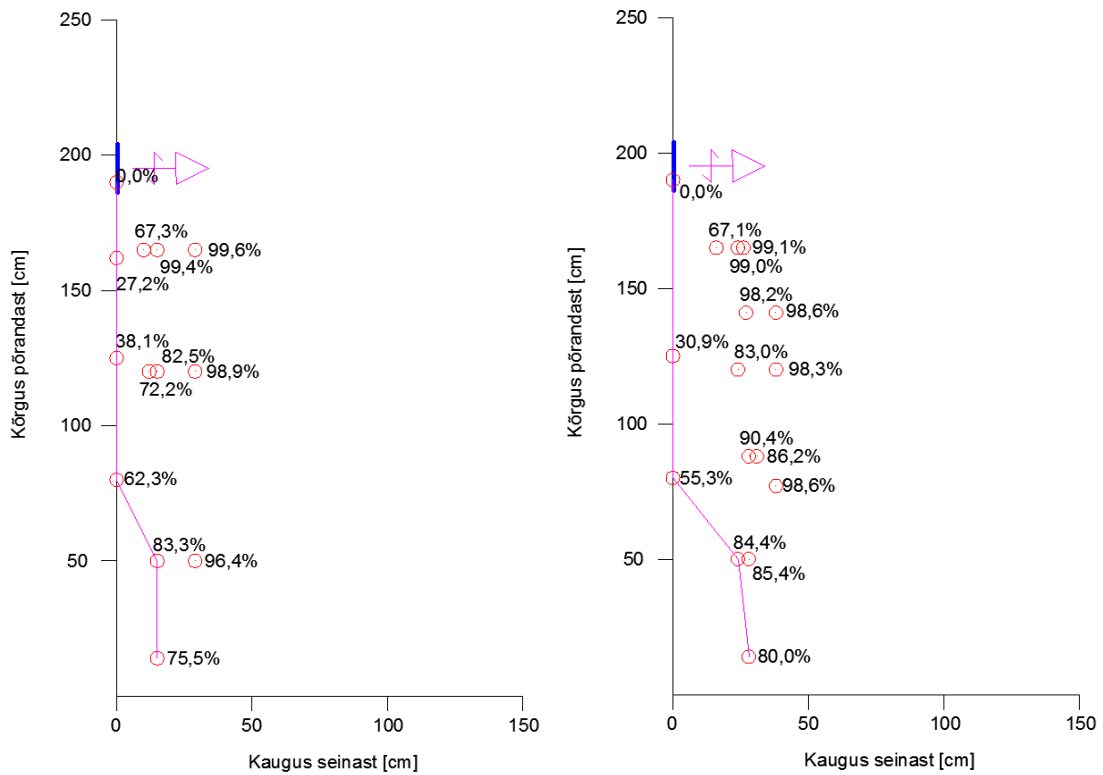
VK 15 tuuleta olukord mõõdetud kolmel õhuhulgal. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonisel 3.11 ja 3.12.

Oma olemuselt on tegemist raskusrestiga, kus ventilaatori mitte töötamisel on resti ava suletud. Mida väiksem on õhuhulk seda vähem labad avanevad ja õhujuga on suunatud alla ja jääb sina lähedale. Suurema õhuhulga juures avanevad resti labad rohkem ja õhujuga on suunatud rohkem seinast eemale. Väiksema õhuhulgaga on väljaviske õhujuga sarnane USSV restiga ja suurema õhuhulgaga USAV restiga, aga ei levi seejuures nii kaugemale, kui USAV resti puhul.

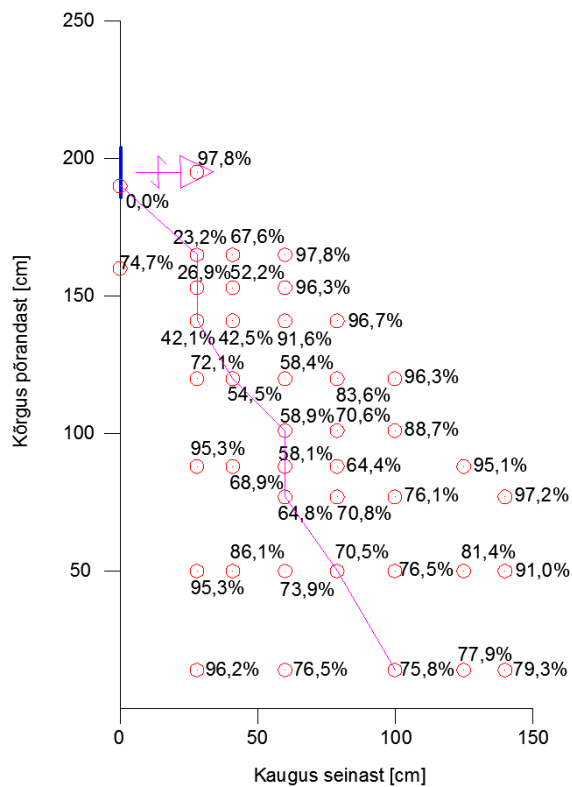
Suitsukatse külgvaade 94 l/s esitatud joonisel 3.10.



Joonis 3.18 VK 94 l/s staatiline olukord



Joonis 3.19 VK 27 l/s ja 52 l/s staatiline olukord



Joonis 3.20 VK 94 l/s staatiline olukord

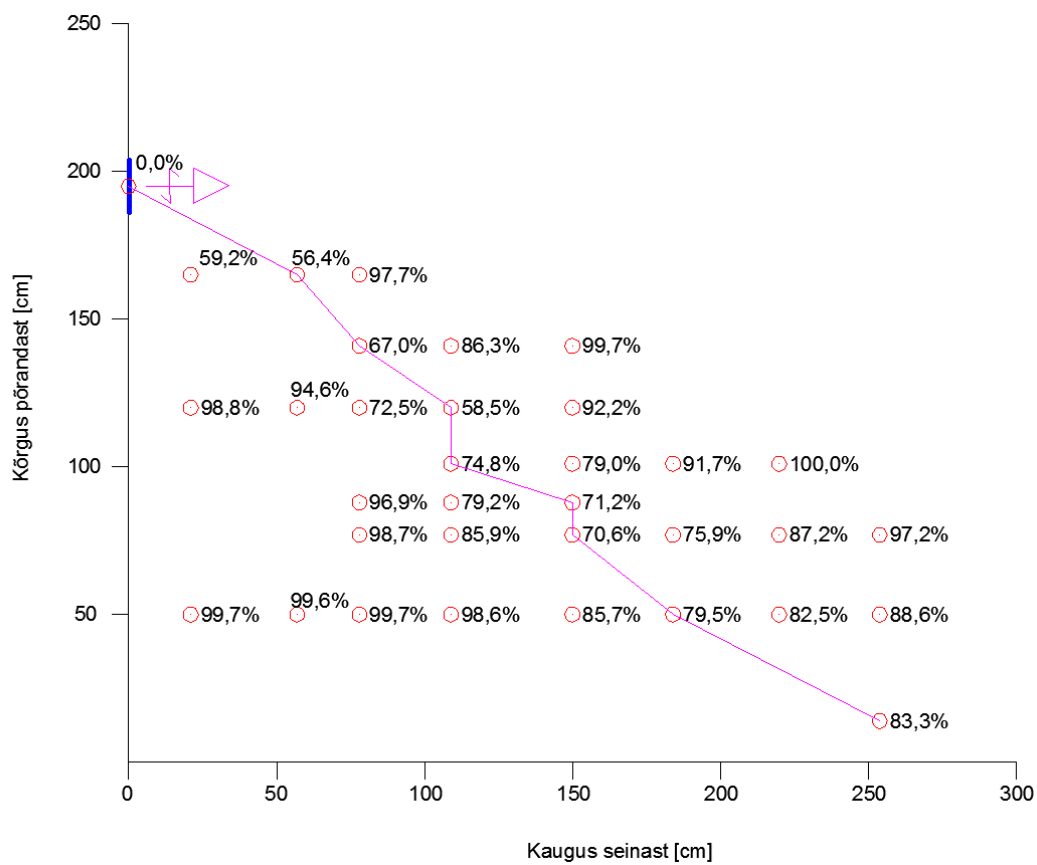
USAV 160 tuuleta olukord mõõdetud kolmel õhuhulgal. Mõõtetulemused on esitatud lahendusena (DF%) joonisel 3.14, 3.15 ja 3.16.

Väljaviske restil on ribistatus $\sim 30^\circ$ nurga all, õhujuga jõuab 2,5-3 m kaugusele seinast.

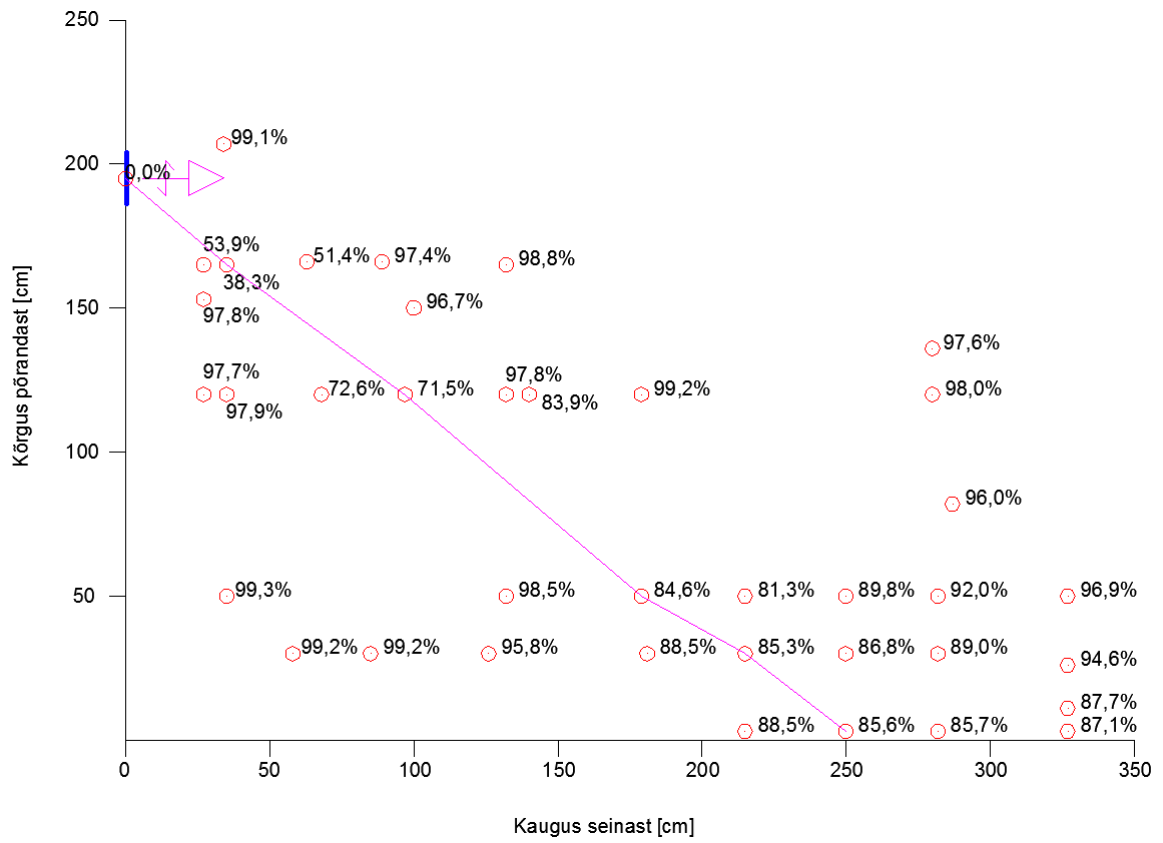
Suitsukatse külgsuuna 91 l/s esitatud joonisel 3.13



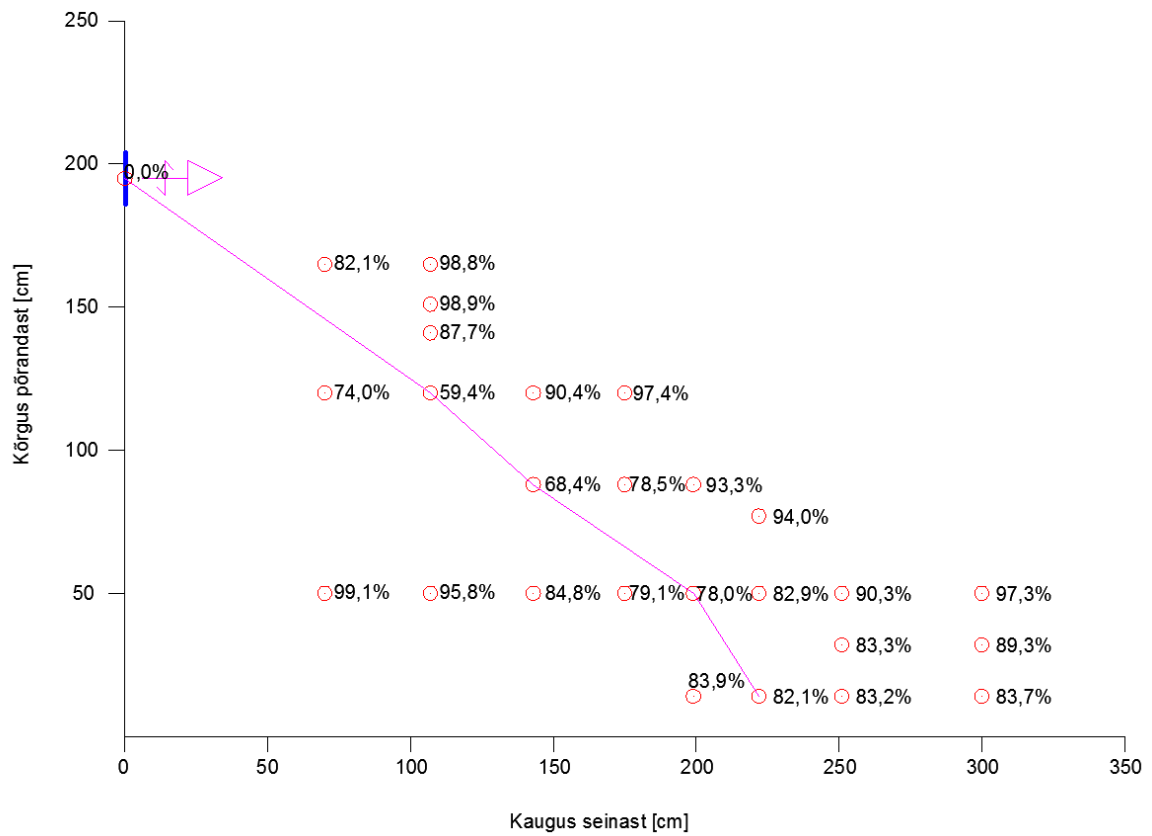
Joonis 3.21 USAV 91 l/s staatiline olukord



Joonis 3.22 USAV 27 l/s staatiline olukord



Joonis 3.23 USAV 52 I/s staatiline olukord



Joonis 3.24 USAV 91 I/s staatiline olukord

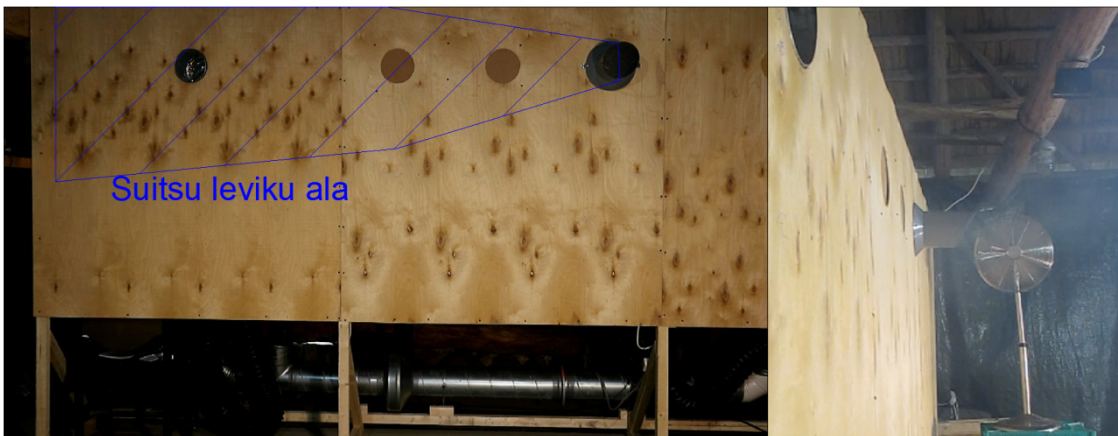
3.3.2 Imiteeritud tuulega olukord

NPC 160 tuulega olukord on mõõdetud kahe erineva õhuhulgaga ja kahe erineva tuule kiirusega. Tuule kiiruse andmed on toodud tabelis 2.1. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonisel 3.27, 3.28 ja väljaviskeõhu kandumise kohta õhuvõttu on esitatud tabelis 3.11 ja joonisel 3.26.

Tuulega suitsukatse vaade esitatud joonisel 3.25

Antud mõõtmistest saab järeldada:

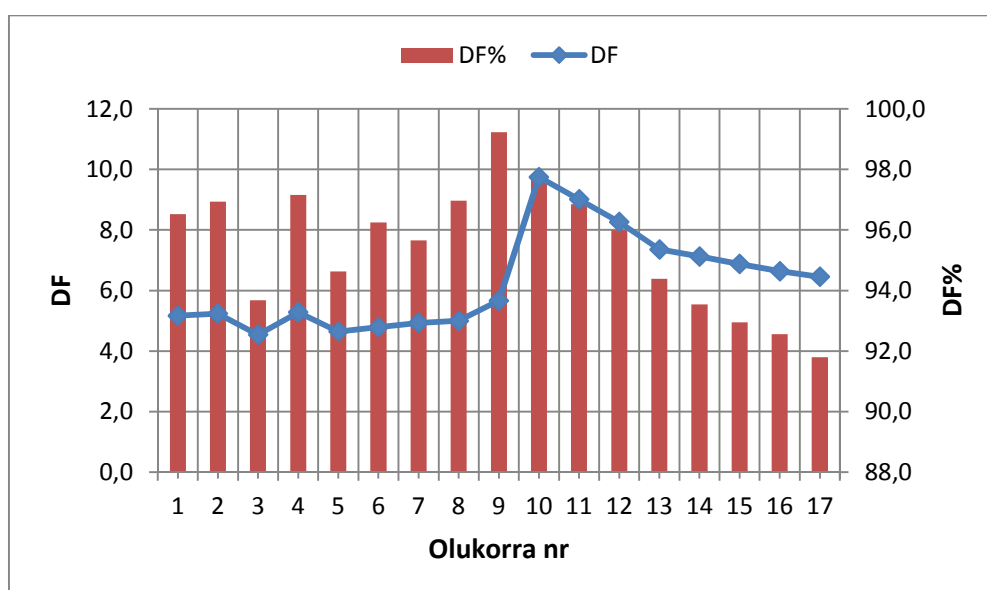
- Õhujuga ei levi enam vabalt nii kaugele, kui ilma tuuleta olukorras, vaid lõhutakse tuule mõjul ära ja see hajub suhteliselt ühtlaselt laiali.
- Väiksema õhuhulgaga puhul õhuvõtu- ja väljaviskeelemendi vahelise vahemaa vähenedes, väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu suurenes (olukord 10-17) tabel 3.11 ja joonis 3.26. Suurema õhuhulga puhul seda üldistust teha ei saa.
- Tuule mõjule on üheselt raske hinnangut anda, kuna erineva õhuhulgaga saadi erinevad tulemused. 27 l/s õhuhulga juures saab öelda, et suurema tuulega oli õhuvõttu kandumine väiksem.



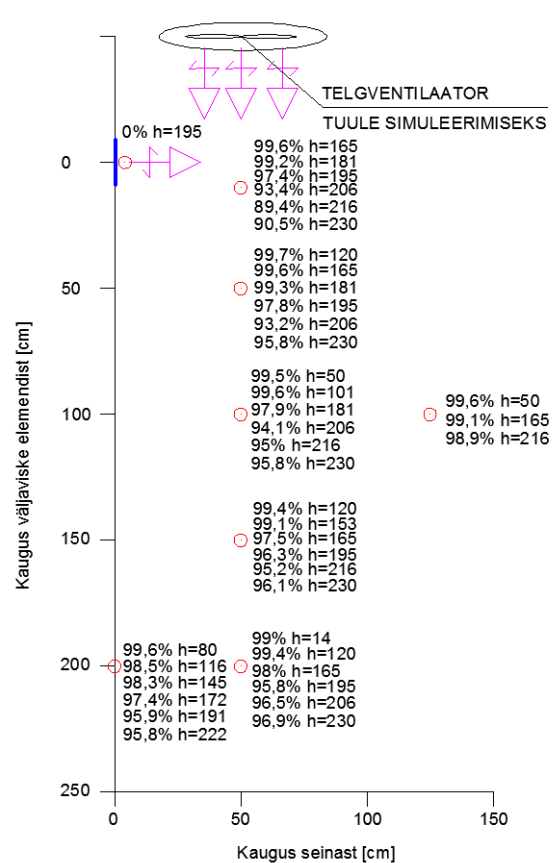
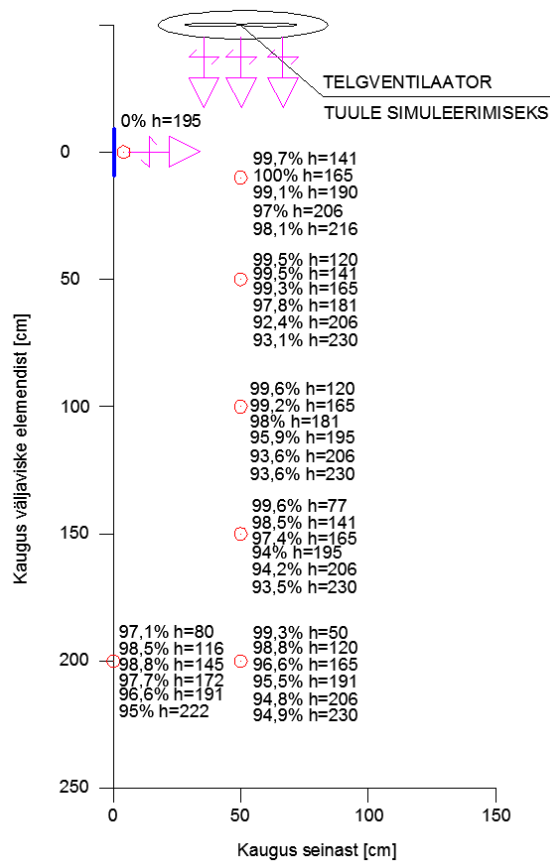
Joonis 3.25 NPC suitsukatse tuulega eest ja küljelt vaade

Tabel 3.11 NPC 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord

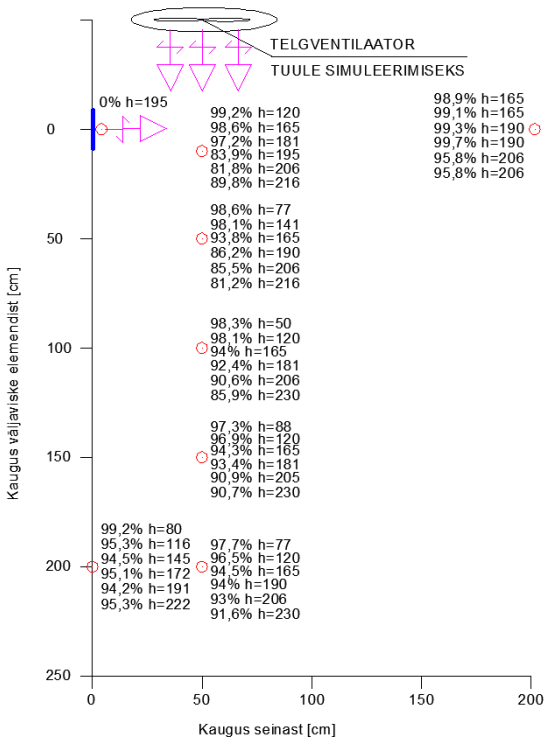
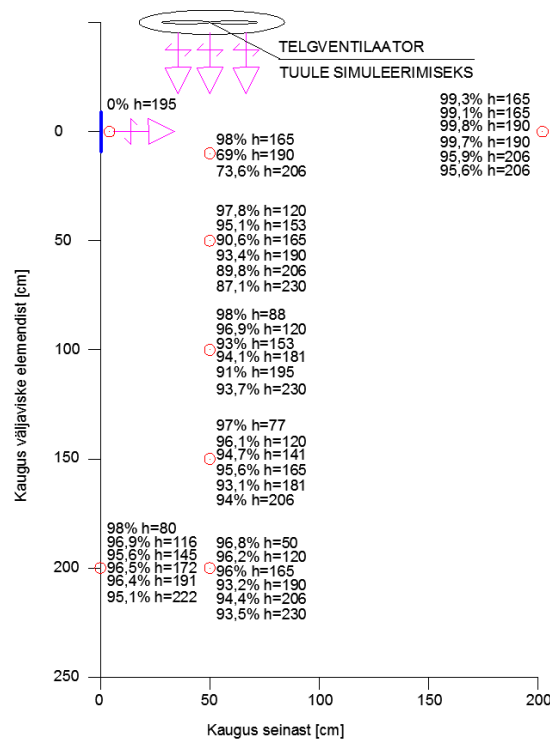
Nr	Olukord	Mõõtepunkt õhuvõtus				
		max-min	min [ppm]	max [ppm]	DF	DF%
1	94 l/s tuul=3, vahe 3 m	62	351	413	5,2	96,5
2	94 l/s tuul=1, vahe 3 m	55	356	411	5,2	96,9
3	94 l/s tuul=3, vahe 2 m	107	341	448	4,5	93,7
4	94 l/s tuul=3, vahe 2 m 45°	48	336	384	5,3	97,2
5	94 l/s tuul=3, vahe 1 m	89	341	430	4,6	94,6
6	94 l/s tuul=1, vahe 1 m	60	347	407	4,8	96,3
8	94 l/s tuul=3, vahe 0,5 m	75	345	420	4,9	95,7
7	94 l/s tuul=1, vahe 0,5 m	49	343	392	5,0	97,0
9	94 l/s tuul=3, vahe 0,5 m 45°	13	345	358	5,7	99,2
10	27 l/s tuul=3, vahe 3 m	95	357	452	9,7	97,7
11	27 l/s tuul=1, vahe 3 m	126	358	484	9,0	96,9
12	27 l/s tuul=3, vahe 2 m	148	341	489	8,3	96,0
13	27 l/s tuul=1, vahe 2 m	213	351	564	7,4	94,4
15	27 l/s tuul=3, vahe 1 m	251	343	594	7,1	93,5
14	27 l/s tuul=1, vahe 1 m	277	345	622	6,9	93,0
16	27 l/s tuul=3, vahe 0,5 m	289	348	637	6,6	92,6
17	27 l/s tuul=1, vahe 0,5 m	333	350	683	6,5	91,8



Joonis 3.26 NPC 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord



Joonis 3.27 NPC 27 I/s tuul=1 ja tuul=3



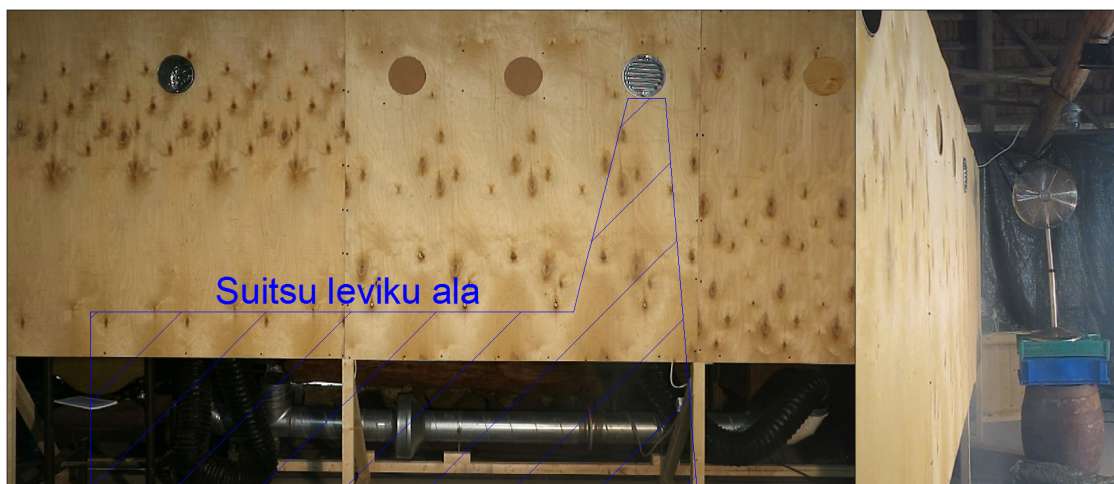
Joonis 3.28 NPC 94 I/s tuul=1 ja tuul=3

USSV 160 tuulega olukord on mõõdetud kahe erineva õhuhulgaga ja kahe erineva tuule kiirusega. Tuule kiiruse andmed on toodud tabelis 2.1. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonisel 3.31, 3.32 ja väljaviskeõhu kandumise kohta õhuvõttu on esitatud tabelis 3.12 ja joonisel 3.30.

Tuulega suitsukatse vaade esitatud joonisel 3.29

Antud mõõtmistest saab järeldada:

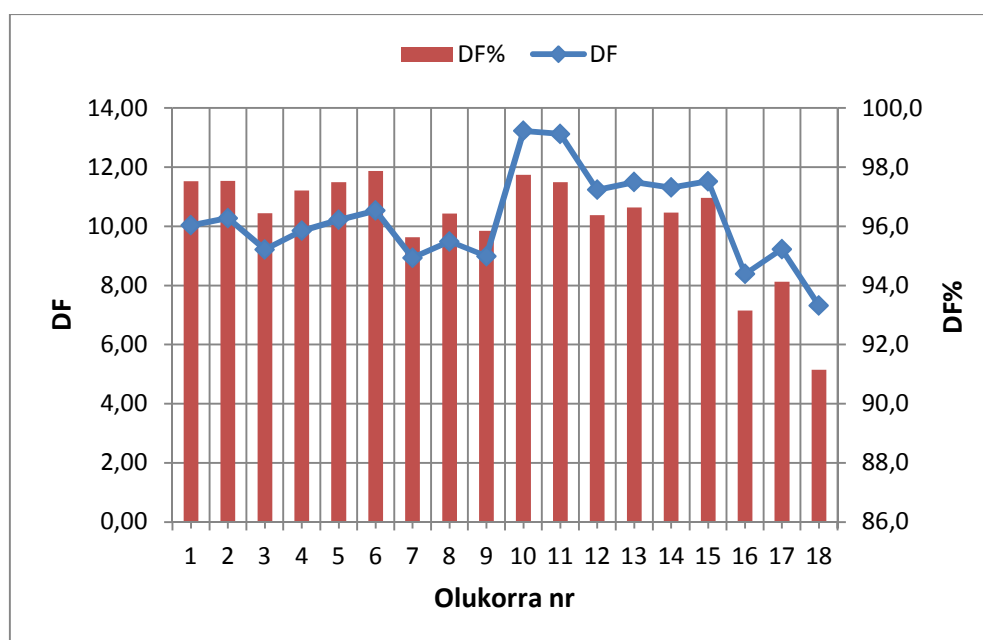
- Õhujuga jääb seina lähedale.
- Õhuvõtu- ja väljaviskeelemendi vahelise vahemaa vähenedes, väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu suurenes (olukord 7-9 ja 16-18) tabel 3.12 ja joonis 3.30. Iga vahekauguse puhul seda üldistust teha ei saa, aga on näha erinevus suurima ja vähima vahekauguse vahel mõlema õhuhulga juures. Selle väljaviskeresti puhul võiks märkida, et pigem on õhuvõttu kandumine tingitud sellest, et õhujuga jääb seina lähedale ja tõuseb sealt õhuvõtu resti kõrgusele üles.
- Tuule mõju osutus antud väljaviske elemendi puhul selliseks, kus suurema tuulega oli kandumine õhuvõttu valdavalt suurem, välja arvatud olukord 1 ja 11 puhul. Kui tuule suund oli 45° seina poole, oli kandumine õhuvõttu suurem (olukord 9 ja 18).



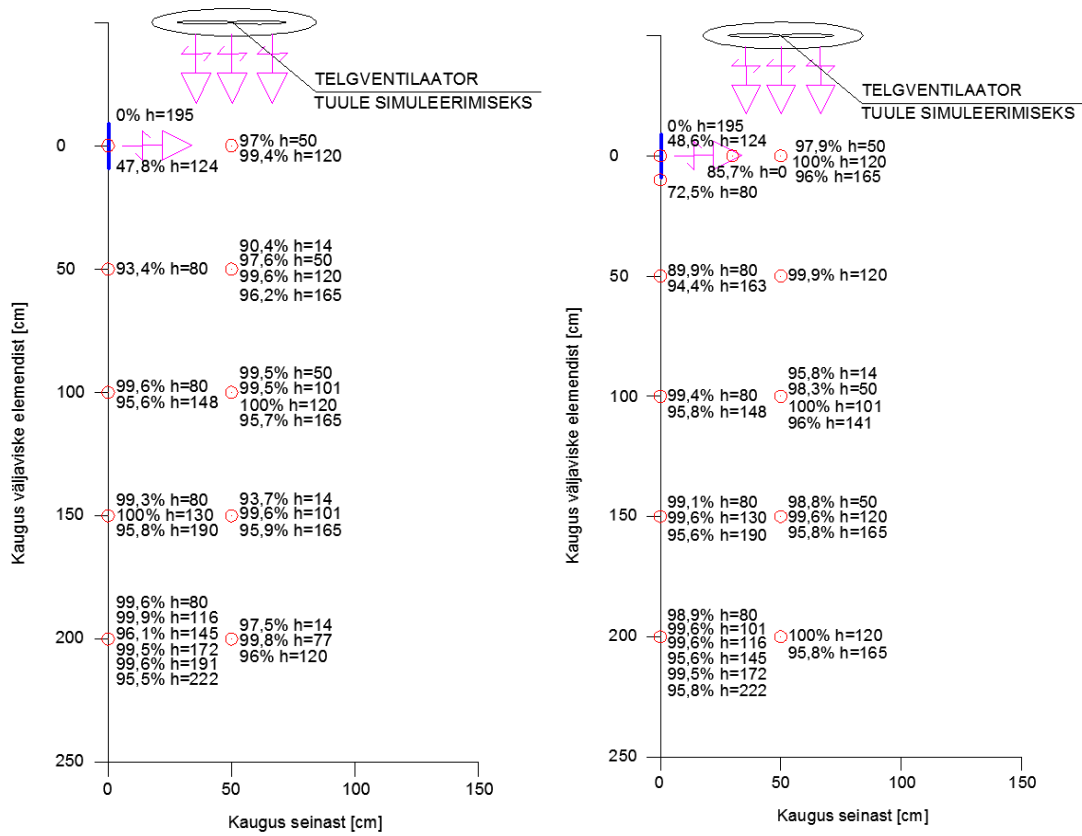
Joonis 3.29 USSV suitsukatse tuulega eest ja küljelt vaade

Tabel 3.12 USSV 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord

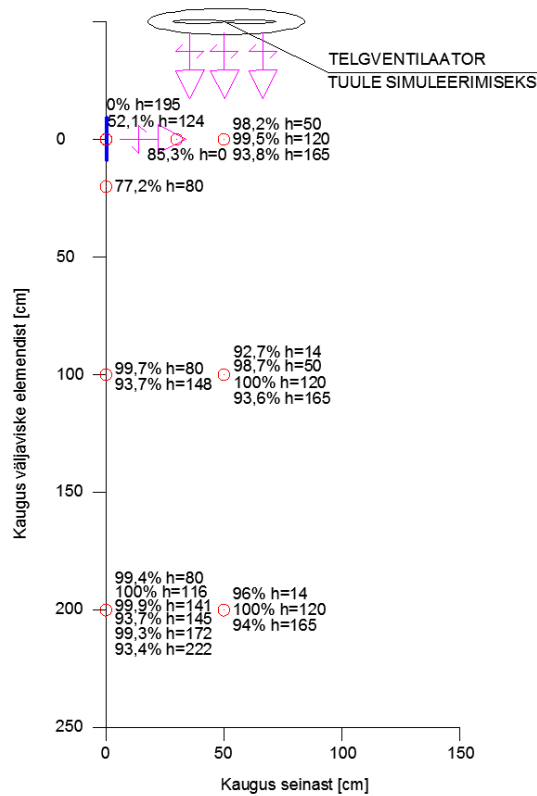
Nr	Olukord	Mõõtepunkt õhuvõtus				
		max-min	min [ppm]	max [ppm]	DF	DF%
1	50 l/s tuul=3 vahe 3 m	83	279	362	10,03	97,5
2	50 l/s tuul=1 vahe 3 m	82	268	350	10,28	97,5
4	50 l/s tuul=3 vahe 2 m	121	278	399	9,22	96,4
3	50 l/s tuul=1 vahe 2 m	94	276	370	9,85	97,2
5	50 l/s tuul=3 vahe 1 m	86	276	362	10,22	97,5
6	50 l/s tuul=1 vahe 1 m	73	279	352	10,53	97,9
8	50 l/s tuul=3 vahe 0,5 m	157	276	433	8,93	95,6
7	50 l/s tuul=1 vahe 0,5 m	128	279	407	9,48	96,4
9	50 l/s tuul=3 vahe 0,5 m 45°	147	278	425	8,99	95,8
11	25 l/s tuul=3 vahe 3 m	107	271	378	13,23	97,7
10	25 l/s tuul=1 vahe 3 m	119	262	381	13,12	97,5
12	25 l/s tuul=3 vahe 2 m	171	274	445	11,24	96,4
13	25 l/s tuul=1 vahe 2 m	159	276	435	11,49	96,6
15	25 l/s tuul=3 vahe 1 m	167	275	442	11,31	96,5
14	25 l/s tuul=1 vahe 1 m	143	291	434	11,52	97,0
16	25 l/s tuul=3 vahe 0,5 m	324	272	596	8,39	93,1
17	25 l/s tuul=1 vahe 0,5 m	278	264	542	9,23	94,1
18	25 l/s tuul=3 vahe 0,5 m 45°	419	264	683	7,32	91,2



Joonis 3.30 USSV 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord



Joonis 3.31 USSV 25 l/s tuul=1 ja tuul=3



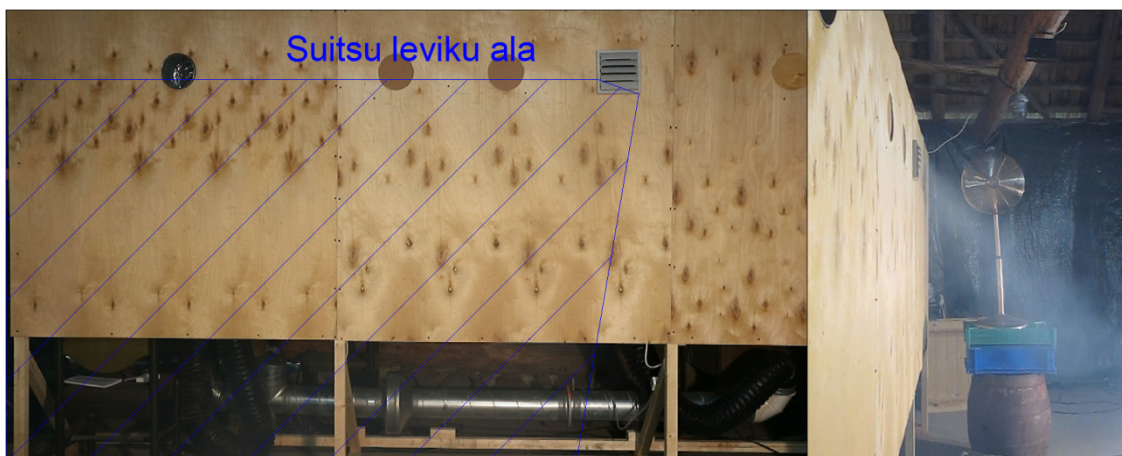
Joonis 3.32 USSV 50 l/s tuul=3

VK 15 tuulega olukord on mõõdetud kahe erineva õhuhulgaga ja kahe erineva tuule kiirusega. Tuule kiiruse andmed on toodud tabelis 2.1. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonisel 3.35, 3.36 ja väljaviskeõhu kandumise kohta õhuvõttu on esitatud tabelis 3.13 ja joonisel 3.34.

Tuulega suitsukatse vaade esitatud joonisel 3.33

Antud mõõtmistest saab järeldada:

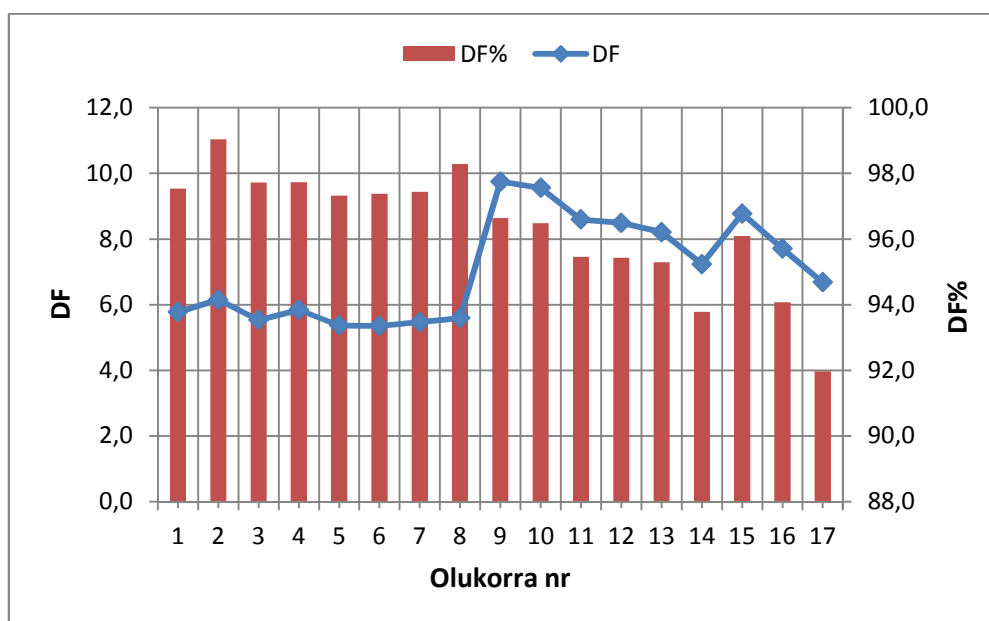
- Õhujuga hajub väiksema õhuhulgaga seina lähedal.
- Õhuvõtu- ja väljaviskeelemendi vahelise vahemaa vähenedes, väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu suurenes väiksema õhuhulgaga olukordade puhul (olukord 9-17) tabel 3.13 ja joonis 3.34. Iga vahekauguse puhul seda üldistust teha ei saa, aga on näha erinevus suurima ja vähima vahekauguse vahel väiksema õhuhulga juures. Suurema õhuhulgaga tulemuste põhjal seda üldistust teha ei ole võimalik.
- Tuule kiiruse mõju selle väljaviskeelemendi puhul on raske hinnata, kuna ühest seaduspärasust katsetest välja ei joonistu.
- Kui tuule suund oli 45° või 90° seina poole, oli kandumine õhuvõttu suurem (olukord 5 ja 14).



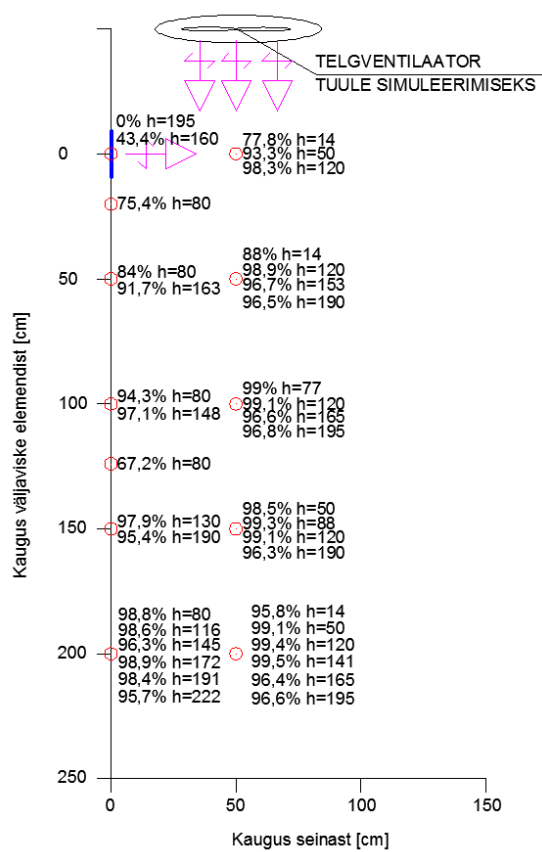
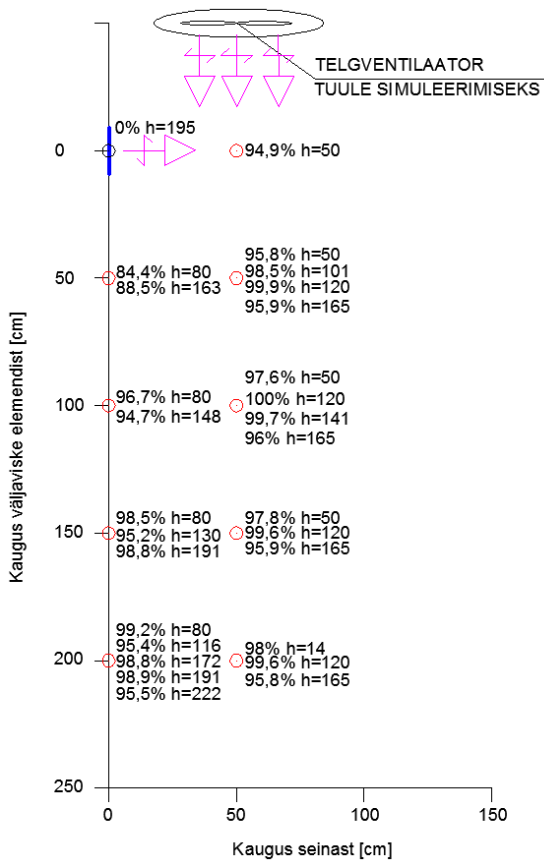
Joonis 3.33 VK suitsukatse tuulega, eest ja küljelt vaade

Tabel 3.13 VK 15 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord

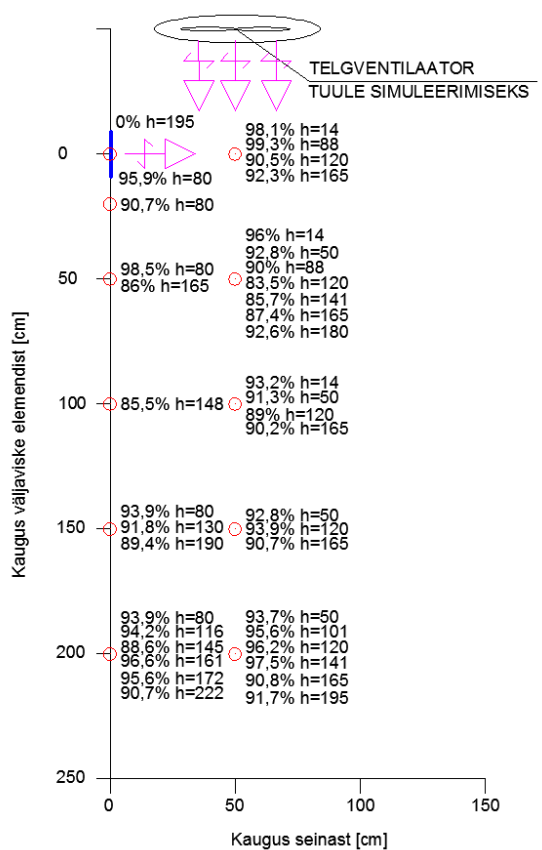
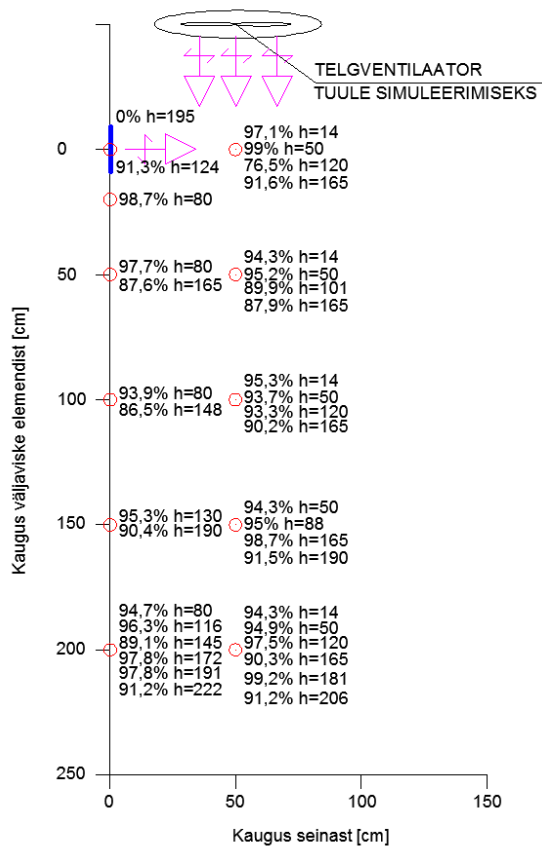
Nr	Olukord	Mõõtepunkt õhuvõtus				
		max-min	min [ppm]	max [ppm]	DF	DF%
1	90 l/s tuul=3 vahe 3 m	50	364	414	5,8	97,5
2	90 l/s tuul=1 vahe 3 m	19	361	380	6,2	99,0
3	90 l/s tuul=3 vahe 2 m	45	381	426	5,5	97,7
4	90 l/s tuul=1 vahe 2 m	45	355	400	5,8	97,7
5	90 l/s tuul=3 vahe 1 m 90°	52	380	432	5,4	97,3
6	90 l/s tuul=1 vahe 1 m	51	384	435	5,4	97,4
7	90 l/s tuul=3 vahe 0,5 m	51	384	435	5,5	97,4
8	90 l/s tuul=1 vahe 0,5 m	34	390	424	5,6	98,3
9	27 l/s tuul=3 vahe 3 m	156	357	513	9,7	96,6
10	27 l/s tuul=1 vahe 3 m	163	360	523	9,6	96,5
11	27 l/s tuul=3 vahe 2 m	210	372	582	8,6	95,5
12	27 l/s tuul=1 vahe 2 m	211	378	589	8,5	95,4
13	27 l/s tuul=3 vahe 1 m	217	392	609	8,2	95,3
14	27 l/s tuul=3 vahe 1 m 45°	273	388	661	7,2	93,8
15	27 l/s tuul=1 vahe 1 m	180	390	570	8,8	96,1
16	27 l/s tuul=3 vahe 0,5 m	274	375	649	7,7	94,1
17	27 l/s tuul=1 vahe 0,5 m	371	377	748	6,7	92,0



Joonis 3.34 VK 15 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord



Joonis 3.35 VK 25 l/s tuul=1 ja 3



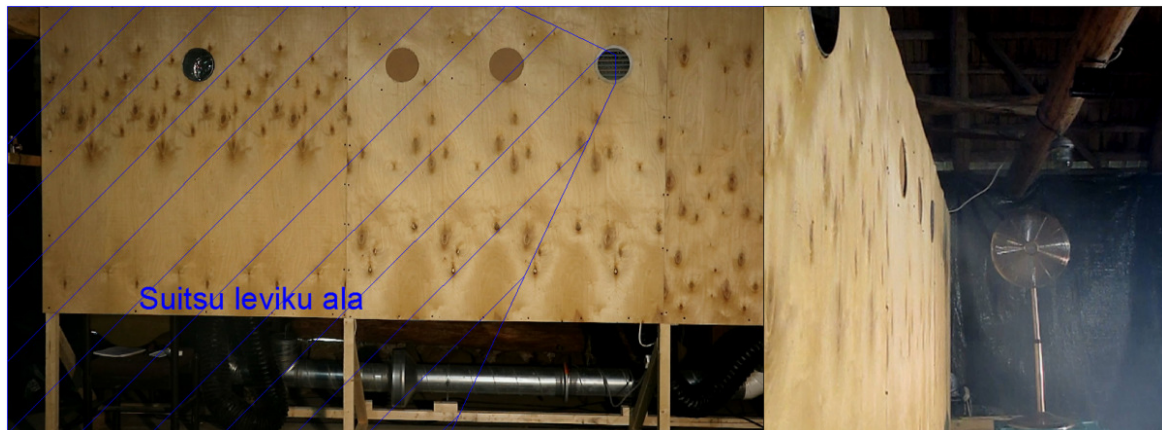
Joonis 3.36 VK 91 l/s tuul=1 ja 3

USAV 160 tuulega olukord on mõõdetud kahe erineva õhuhulgaga ja kahe erineva tuule kiirusega. Tuule kiiruse andmed on toodud tabelis 2.1. Mõõtetulemused on esitatud lahjendusena (DF%) joonisel 3.39 - 3.41 ja väljaviskeõhu kandumise kohta õhuvõttu on esitatud tabelis 3.14 ja joonisel 3.38.

Tuulega suitsukatse vaade esitatud joonisel 3.37.

Antud mõõtmistest saab järeldada:

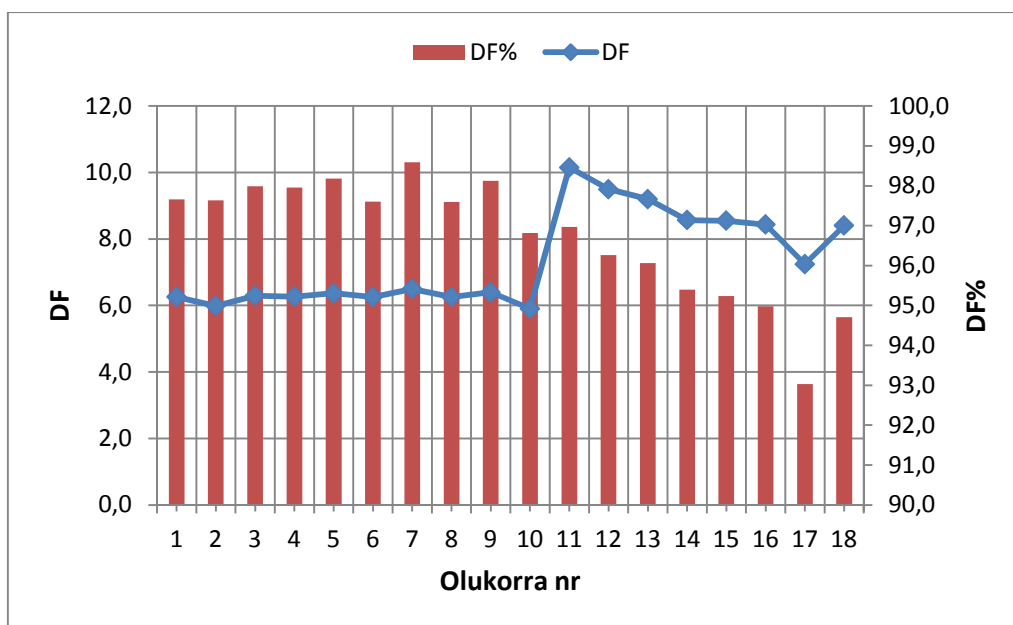
- Õhujuga hajub väiksema õhuhulgaga seinale lähedal.
- Õhuvõtu- ja väljaviskeelemendi vahelise vahemaa vähenedes, väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu suurenes väiksema õhuhulgaga olukordade puhul (olukord 11-18) tabel 3.14 ja joonis 3.38. Suurema õhuhulgaga tulemuste põhja seda üldistust teha ei ole võimalik.
- Tuule kiiruse mõju selle väljaviskeelemendi puhul on raske hinnata, kuna ühest seaduspärasust katsetest välja ei joonistu.
- Kui tuule suund oli 45° seinale poole, oli kandumine õhuvõttu suurem (olukord 10).
- $x=0$ olukord, kui ventilaator on küljega vastu seinale tasapinda, tulemus sellest oluliselt ei muutunud.



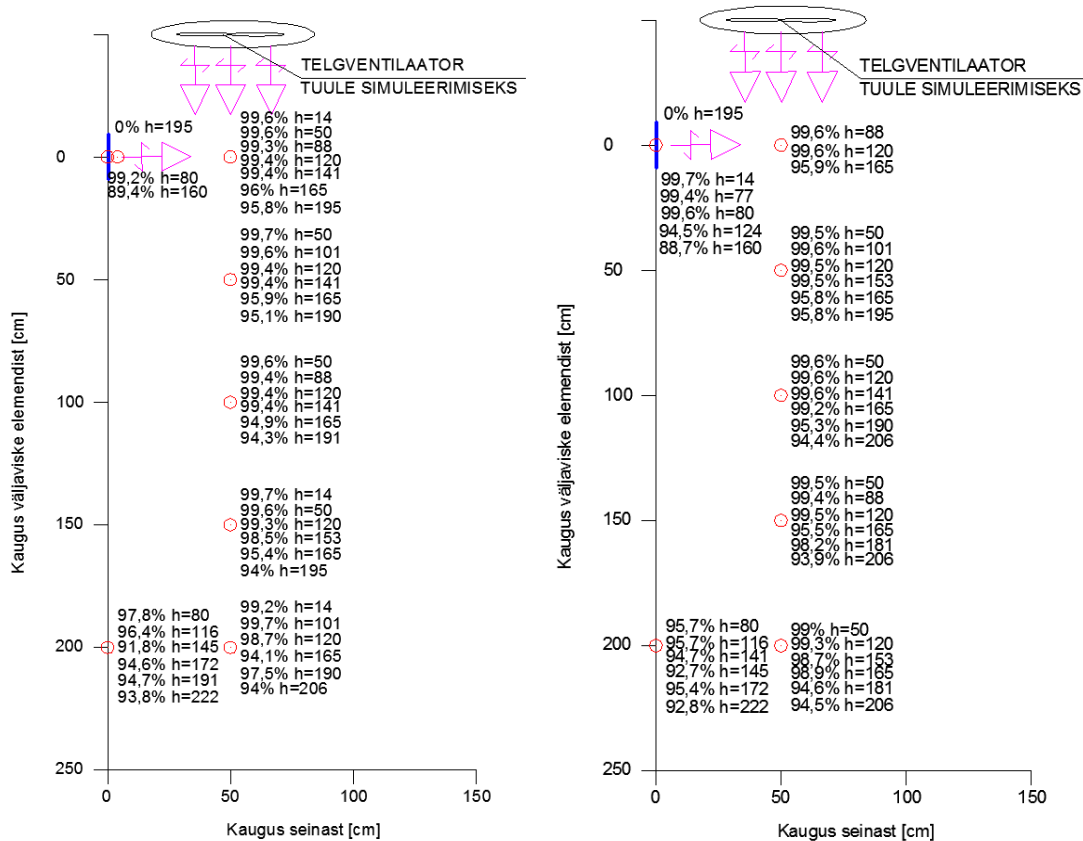
Joonis 3.37 USAV suitsukatse tuulega eest ja küljelt vaade

Tabel 3.14 USAV 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord

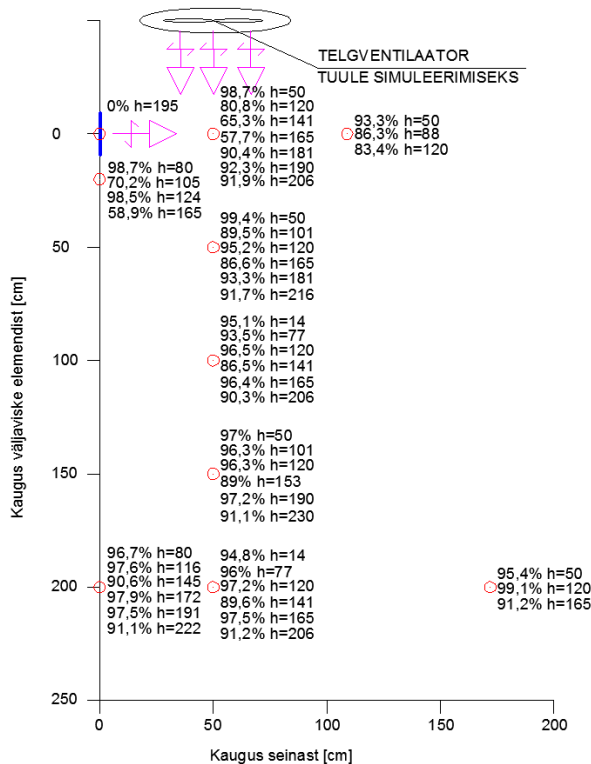
Nr	Olukord	Mõõtepunkt õhuvõtus				
		max-min	min [ppm]	max [ppm]	DF	DF%
1	90 l/s tuul=3 vahe 3 m	50	347	397	6,3	97,7
2	90 l/s tuul=1 vahe 3 m	45	328	373	6,0	97,6
3	90 l/s tuul=3 vahe 2 m	43	353	396	6,3	98,0
4	90 l/s tuul=1 vahe 2 m	43	348	391	6,3	98,0
5	90 l/s tuul=3 vahe 2 m x=0	38	344	382	6,4	98,2
6	90 l/s tuul=3 vahe 1 m	51	344	395	6,3	97,6
7	90 l/s tuul=1 vahe 1 m	30	352	382	6,5	98,6
8	90 l/s tuul=3 vahe 0,5 m	52	349	401	6,3	97,6
9	90 l/s tuul=1 0,5 m vahe	40	348	388	6,4	98,1
10	90 l/s tuul=3 0,5 m vahe 45°	68	354	422	5,9	96,8
11	27 l/s tuul=3 vahe 3 m	138	344	482	10,1	97,0
12	27 l/s tuul=1 vahe 3 m	172	349	521	9,5	96,3
13	27 l/s tuul=3 vahe 2 m	178	352	530	9,2	96,1
14	27 l/s tuul=1 vahe 2 m	210	365	575	8,6	95,4
15	27 l/s tuul=3 vahe 1 m	221	364	585	8,5	95,2
16	27 l/s tuul=1 vahe 1 m	233	360	593	8,4	95,0
17	27 l/s tuul=3 vahe 0,5 m	323	367	690	7,2	93,0
18	27 l/s tuul=1 vahe 0,5 m	246	349	595	8,4	94,7



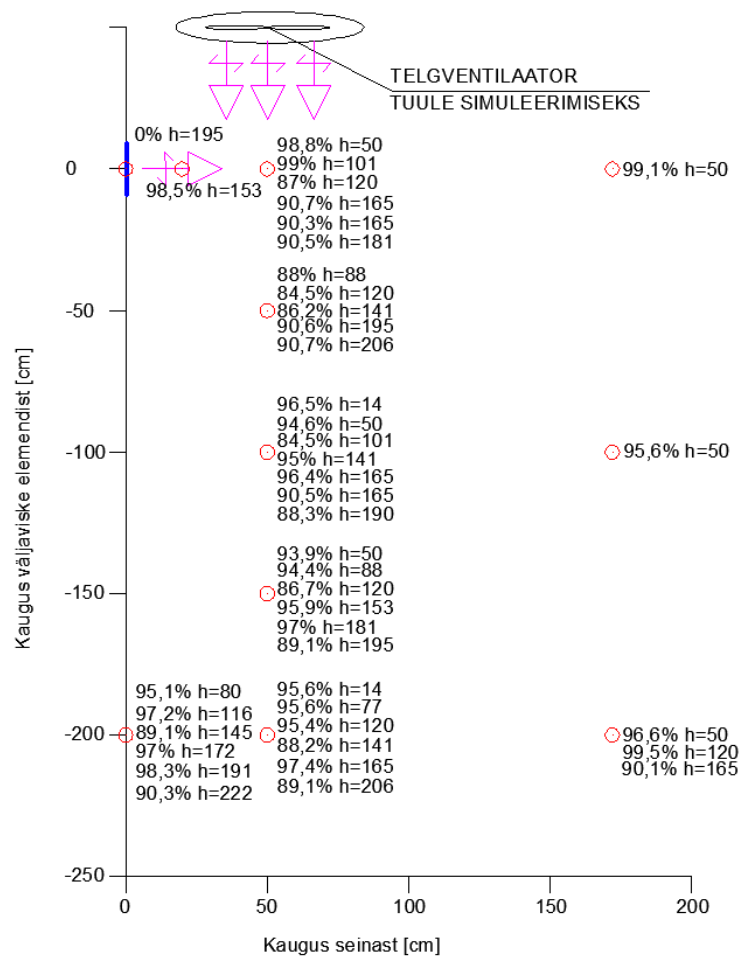
Joonis 3.38 USAV 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord



Joonis 3.39 USAV 27 l/s tuul=1 ja 3



Joonis 3.40 USAV 94 l/s tuul=1



Joonis 3.41 USAV 94 l/s tuul=3

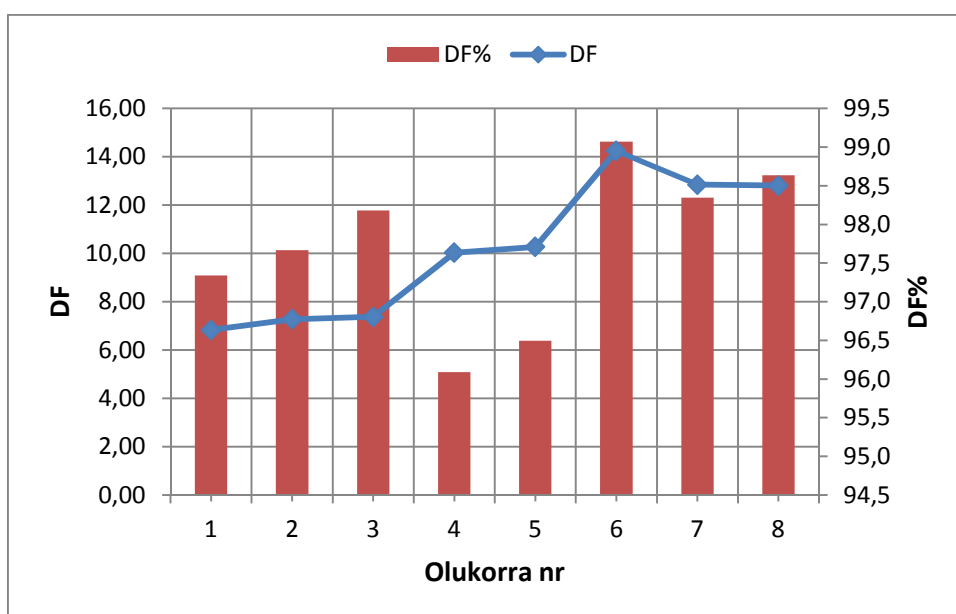
CVVX 160 tuulega olukord on mõõdetud ainult väljaviske kadumist õhuvõttu, ruumis hajumis mõõtmisi ei ole teostatud, kuna väljaviske element on sarnane NPC elemendiga ja võib eeldada, et väljuv õhujuga käitub sarnaselt. Tuule kiiruse andmed on toodud tabelis 2.1. Mõõtetulemused väljaviskeõhu kandumise kohta õhuvõttu on esitatud tabelis 3.15 ja joonisel 3.42.

Antud mõõtmistest saab järeldada:

- Väiksema õhuhulgaga kandub väljaviskeõhku rohkem õhuvõttu.
- Suurema tuulega on õhuvõttu kandumine suurem.
- Mõõdetud ka olukorras, kus tuule ventilaator puhus õhuvõttu poolt väljaviske poole (olukord 7 ja 8). Sellises olukorras vähenes õhuvõttu kandumine.
- Samuti vähenes õhuvõttu väljaviskeõhu kadumine, kui tuule suund oli 45° seinu poole.

Tabel 3.15 CVVX väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord

Nr	Olukord	Mõõtepunkt õhuvõtus				
		max-min	min [ppm]	max [ppm]	DF	DF%
1	90 l/s tuul=3	48	253	301	6,83	97,3
2	90 l/s tuul=1	42	238	280	7,28	97,7
3	90 l/s tuul=3 45°	33	246	279	7,38	98,2
4	25 l/s tuul=3	143	246	389	10,03	96,1
5	25 l/s tuul=1	127	250	377	10,27	96,5
6	25 l/s tuul=3 45°	34	240	274	14,24	99,1
7	25 l/s tuul=1 teiselt poolt	60	241	301	12,85	98,3
8	25 l/s tuul=3 teiselt poolt	49	251	300	12,81	98,6



Joonis 3.42 CVVX 160 väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu tuulega olukord

4. JÄRELDUSED

Vaatleme väljaviske elementide aerodünaamilist takistus, kui õhukiirus väljaviske õhukanalis on 2 ja 5 m/s, nii nagu standardis soovitatakse (vt. tabel 1.7). Aerodünaamilise takistuse andmed on koondatud tabelisse 4.1. Väljaviskekanalis õhukiiruse 5 m/s saavutamiseks tuleb väga hoolikalt valida väljaviske elementi. Väikse takistusega on elemendid, kus väljaviske ees on võrk ja puudub resti ribistatus. Väljaviskekanali õhukiiruse 2 m/s juures on kõigi elementide aerodünaamilised takistused väiksed v.a. USSV, mis oma olemuselt on suure aerodünaamilise takistusega välisrest.

Tabel 4.1 Väljaviske elementide aerodünaamilised takistused õhukiirusel 2 ja 5 m/s.

Väljaviske element	Õhuhulk Q [l/s]	Õhukiirus v [l/s]	Aero- dünaamiline takistus P [Pa]
NPC 160	100	4,98	20
USSV 160	100	4,98	>140*
VK 15	100	4,98	17
USAV 160	100	4,98	140
CVVX 160	100	4,98	22
NPC 160	40	1,99	3,5
USSV 160	40	1,99	100
VK 15	40	1,99	10
USAV 160	40	1,99	20
CVVX 160	40	1,99	3

*antud õhuhulga juures valiku karakteristik puudub

Mõõtmiste koha üldisemalt saab teha järgnevad tähelepanekud:

1. Simuleeritud tuule kiiruse mõju kohta ei saa anda ühest hinnangut. Tuule kiirused ei erinenud teineteisest väga suurel määral. Täpsema hinnangu andmiseks tuleks mõõtmisi korrata suurema arvu tuule kiirustega.
2. Väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu suurenes restide vahemaa vähenedes. Seda näitasid kõigi väljaviske elementide tulemused väiksema õhuhulga juures mõlemal tuule kiirusel. Suurema õhuhulga puhul olid tulemused erinevad ja sarnast seost ei tekkinud. Põhjuseks võib olla asjaolu, et suure õhuhulga puhul oli kiirus väljaviske torus suurem, kui tuule kiirus.
3. Välisrestide minimaalseks vahekauguseks seinal piisab standardis toodud kahest meetrist, aga vahemaa võiks olla ka lühem, tuginedes katsetulemustele. Väiksema vahekauguse puhul väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu vähesel

määral suureneb. Lõplike järelduste tegemiseks tuleks teostada täiendavaid tuulega saasteainete hajumise katseid.

4. Väljaviske element (v.a. kombineeritud õhuvõtu- ja väljaviske element) ei tohiks asuda õhuvõtu kohal, sellises olukorra on väljaviskeõhu sattumine õhuvõttu äärmiselt tõenäoline. Eriti, kui kasutatakse töös uuritud VK või USSV tüüpi väljaviske rest. Hoones, kus on mitmeid õhuvõtu ja väljaviske elemente, tuleks võimalusel väljavisked rajada hoone katusele. Mitmete õhuvõtu ja väljaviske restidega fassaadi olukorda tuleks võimalusel täiendavalt uurida, et hinnata seal väliselementide minimaalset vahekaugust.
5. Mõõtetulemuste kõrvutamisel arvutusmetoodikatega saadud tulemustega võib kindlalt väita, et hetkel kehtivas standardis EVS 906:2018 toodud arvutusmetoodika seinal paiknevate väliõhu elementide vahekauguse arvutamiseks on ebatäpne. EVS-EN 13779:2007 ja ASHRAE 62.1 2019 annavad arvutusel sarnaseid tulemusi. ASHRAE Intake and Exhaust design arvutuse puhul on vaja rohkem sisendandmeid. Kas see tagab täpsema ja õigema arvutuse, on raske öelda, kuna küsimusi tekitab välisrestri kõrguse mõju lahjendusteguri väärtusele. Töö autor eelistaks praktikas kasutada ASHRAE 62.1 toodud valemit, kuna valemis on lisaks kiiruse komponent ning arvestatakse väljaviske õhujoa suunda õhuvõtu suhtes.

Kokkuvõtlikud soovitused seinal asuvate õhuvõtu- ja väljaviske elementide paigutamiseks:

1. Seinal samal kõrgusel paiknevate õhuvõtu- ja väljaviskeelementide minimaalse vahekauguse määramisel tuleks võimalusel vältida EVS 906:2018 toodud arvutusmetoodikat.
2. Väljaviske ei tohi seinal paikneda õhuvõtu kohal.
3. Võimalusel viia väljaviske katusele, kuna seinal on lubatud standardiga juhtida heitõhuklassi 1 ja 2. WC ja eramu köögi õhk kuulub standardi järgi heitõhuklassi 3 ja selle peaks suunama katusele. Vaata töös tabel 1.1.

KOKKUVÕTE

Antud töös uuritakse seinal asuvate õhuvõtu ja väljaviske elementide vahekauguse nõuete erisusi ja katseliselt uuritakse heitõhu kandumise osakaalu õhuvõttu.

Õhuvõtu ja väljaviske elementide minimaalse vahekauguse määramise meetodikate osas võrreldi EVS 906:2018, EVS-EN 13779:2007, ASHRAE 62.1 2019 ning ASHRAE Intake and Exhaust design. EVS meetodikad on oma olemuselt sarnased, ASHRAE 62.1 meetodika võtab arvesse rohkem tegureid. EVS-EN 13779:2007 ja ASHRAE 62.1 2019 meetodikad annavad arvutusel sarnaseid tulemusi. EVS 906:2018 meetodika järgi leitud minimaalsed vahekaugused on oluliselt suuremad. ASHRAE Intake and Exhaust design meetodikaga arvutamine eeldab rohkemate sisendandmete olemasolu. Kui eelmised kirjeldatud meetodikad leidsid arvutuse käigus minimaalse välisrestide vahekauguse, siis see meetodika arvutab lahjendusteguri. Välisresti kõrgus maapinnast avaldab selle arvutusmeetodika puhul lahjendustegurile väga suurt mõju. Meetodikate võrdlemisel on lähtutud lihtsustusest, et väljaviskerest asub maapinnast 3 m kõrgusel. Eelneva kolme meetodika põhjal leitud minimaalne välisrestide vahekaugus kontrollitu üle ASHRAE Intake and Exhaust design meetodikaga ja võrreldi lahjendusteguri väärtust vastava heitõhuklassi väärtusega. Valdavalt oli sellise võrdluse puhul lahjendustegur tagatud.

Õhuvõtu- ja väljaviske elementide vahekauguse katselise uurimise tarbeks ehitati hoone seina imiteeriv katsestend, kus väliselemendid paiknesid ühel kõrgusel põrandast. Väljaviskeõhule lisati CO₂ gaasi ja markeeriti CO₂ mõõtmistega väljaviske õhujoa kuju väljaviskeelemendist väljudes. Lisaks uuriti tuule mõjul heitõhu kandumise osakaalu õhuvõttu erinevate välisrestide vahekauguste juures. Tuule imiteerimiseks kasutati telgventilaatorit, mis asus välisrestidega samal kõrgusel ning paiknes 1 m kaugusel väljaviskerestist ning 0,5 m kaugusel seinast.

Autori arvates oli antud mõõtemetodika väljaviske õhujoa markeerimiseks küllaltki hea, kuid tuulega olukorra mõõtmist saaks kindlasti oluliselt paremini läbi viia.

Väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu suurenes restide vahemaa vähenedes. Seda näitasid kõigi väljaviske elementide tulemused väiksema õhuhulga juures mõlemal tuule kiirusel. Suurema õhuhulga puhul olid tulemused erinevad ja sarnast seost ei tekkinud. Põhjuseks võib olla asjaolu, et suure õhuhulga puhul oli kiirus väljaviske torus suurem, kui tuule kiirus.

Välisrestide minimaalseks vahekauguseks seinale piisab standardis toodud kahest meetrist, aga vahemaa võiks olla ka lühem, tuginedes katsetulemustele. Väiksema vahekauguse puhul väljaviskeõhu kandumine õhuvõttu vähesel määral suureneb ning heitõhu klass 1 või 2 puhul ei tohiks see olla probleemiks.

Täpsema hinnangu andmiseks tuule mõjule, tuleks mõõtmisi korrata suurema arvu tuule kiirustega. Täiendavalt saaks uurida erinevate tuule suundade ja välisresti kõrguse mõju lahjendustegurile.

Täiendavalt saaks uurida mitme õhuvõtu ja väljaviske restiga fassaadi olukorda.

SUMMARY

In this thesis the differences in the requirements for the distance between the intake and exhaust elements on the wall are investigated. Experiments were performed to investigate how much exhaust air can get into the intake.

EVS 906: 2018, EVS-EN 13779: 2007, ASHRAE 62.1 2019 and ASHRAE Intake and Exhaust design were compared for the methodologies for determining the minimum distance between air intake and exhaust elements. EVS methodologies are similar in nature, the ASHRAE 62.1 methodology takes into account more factors. The methodologies of EVS-EN 13779: 2007 and ASHRAE 62.1 2019 give similar results in the calculation. The minimum distances found according to the methodology of EVS 906: 2018 are significantly larger. Calculation with the ASHRAE Intake and Exhaust design methodology requires more input data. If the previous described methods found the minimum distance of the external gratings during the calculation, then this methodology calculates the dilution factor. The height of the outdoor grille above the ground has a very large effect on the dilution factor in this calculation methodology. The comparison of methodologies is based on the simplification that the exhaust element is located 3 m above the ground. ASHRAE Intake and Exhaust design methodology was compared with previous three methodologies and the value of the dilution factor was compared with the value of the corresponding exhaust air class. For the most part, a dilution factor was guaranteed for such a comparison.

For the experimental study of the distance between the intake and exhaust elements, a test wall of the building was built, where the external elements were located at the same height from the floor. CO₂ gas was added to the exhaust air and the CO₂ emissions were marked with CO₂ measurements in the room. In addition, the CO₂ level of intake air at different distances of outdoor grilles was studied. An axial fan was used to simulate the wind, which was located at the same height as the outdoor grilles and was located 1 m from the exhaust element and 0.5 m from the wall.

In the author's opinion, this measurement methodology was quite good for marking the air stream, but the measurement of the wind situation could definitely be performed much better.

The transfer of exhaust air to the intake increased as the distance between the outdoor grilles decreased. This was shown by the results of all exhaust elements at lower air volumes at both wind speeds. For higher air volumes, the results were different and no similar relationship was found. This may be due to the fact that at high air volume, the speed in the exhaust pipe was higher than the wind speed.

Two meters is enough distance for the outdoor grilles on the wall as specified in the standard, but the distance could be shorter, based on the test results. At shorter distances, the transfer of exhaust air to the air intake increases slightly and should not be a problem for exhaust air class 1 and 2.

To provide a more accurate assessment of wind effects, measurements should be repeated at a higher number of wind speeds. The effect of different wind directions and the height of the outdoor grille on the dilution factor could be further investigated.

The situation of the building facade with several intake and exhaust grilles could be further investigated.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. ASHRAE Handbook Fundamentals 2013 chapter 24 Airflow Around Buildings (2013)
2. B. Hajr, T. Stathopoulos, A. Bahloul. A wind tunnel study of the effects of adjacent buildings on near-field pollutant dispersion from rooftop emissions in an urban environment. 2013
3. ASHRAE Standard 62.2-2019 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. (2019)
4. EVS-EN 16798-1 2019 Standard. Hoonete energiatõhusus. Hoonete ventilatsioon. Osa 1: Sisekeskkonna lähteandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust keskkonnast, valgustusest ja akustikast. Moodul M1-6 (2019)
5. ASHRAE Handbook Fundamentals chapter 45 Building air intake and exhaust design. (2011)
6. Ron L. Petersen, J. Ritter. Simplified Procedure for Calculating Exhaust/Intake Separation Distances. ASHRAE 2016
7. EVS 906:2018 Standard Mitteleuhoonete ventilatsioon. Üldnõuded ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele. Eesti rahvuslik lisa standardile EVS-EN 16798-3:2017 (2018)
8. YGC. [veebilehekülg] Kättesaadav: <http://www.lindab.com/global/pro/products/pages/ygc.aspx?refpageid=edec1f15-85f2-4022-b554-81272cdc0f93>
9. RV välisrest. [veebilehekülg] Kättesaadav: <https://www.etsnord.ee/product/rv-valisrest/>
10. VHL roof hood. [veebilehekülg] Kättesaadav: <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/lindab/technical/vhl.pdf>
11. HKOMR roof hood. [veebilehekülg] Kättesaadav: <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/lindab/technical/hkomr.pdf>
12. Uponori maa-alune ventilatsioon. Juhendmaterjal (2017)
13. Systemair, CVVX seinaelement. [veebilehekülg] Kättesaadav: <https://shop.systemair.com/et-EE/cvvx--160--seinaelement--must/p120566>
14. ASHRAE Standard 62.1-2019 Ventilation for acceptable indoor air quality.(2019).
15. REHVA Guidebook No. 25 Residential Heat Recovery Ventilation. (2019)
16. EVS-EN 13779:2007 Standard. Mitteleuhoonete ventilatsioon. Üldnõuded

ventilatsiooni- ja ruumiõhu konditsioneerimissüsteemidele (2007)

17. "Keskmine tuule kiirus." [veebilehekülg]. Kättesaadav:
<https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/tuul/>.
18. NPC Välisseina paigaldatav väljavisketoru. [veebilehekülg] Kättesaadav:
<https://www.etsnord.ee/product/npc-valisseina-paigaldatav-valjavisketoru/>
19. USSV Circular Louvre. [veebilehekülg] Kättesaadav:
<https://www.flaktgroup.com/en/products/air-management-atds/external-louvres-cowls/air-intake-exhaust-air-louvres/ussv-circular-louvre/>
20. VK 15 raskusrest. [veebilehekülg] Kättesaadav: <https://shop.systemair.com/et-EE/vk--15--raskusrest/p116983>

LISAD

Suitsukatsete videod ja pildid SD kardil.