



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Tolmu kontsentratsiooni määramine suitsugaasides
ISO 9096 standardi alusel tsükloni abil**

**Determination of the concentration of dust in the flue gases with
cyclone according to the Standard ISO 9096.**

KÜTUSTE KEEMIA JA TEHNOLOOGIA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Jelena Kavrus

Üliõpilaskood: 211264RAKM

Juhendaja: Anna Smirnova,
keemiainsener

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.

“3” juuni 2021a

Autor: Jelena Kavrus / */allkirjastatud digitaalselt/*

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele
“....” 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“....” 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Jelena Kavrus (sünnikuupäev: 21.12.1973)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Tolmu kontsentratsiooni määramine suitsugaasides ISO 9096 standardi alusel tsükloni abil mille juhendaja on Anna Smirnova,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas 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 punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Jelena Kavrus, 211264RAKM

Õppekava, peeriala: RAKM11/18 Kütuste keemia ja tehnoloogia

Juhendaja(d): Anna Smirnova, keemiainsener, anna.smirnova@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tolmu kontsentratsiooni määramine suitsugaasides ISO 9096 standardi alusel tsükloni abil

(inglise keeles) Determination of dust concentration in emission gases by the standard ISO 9096 with a cyclone

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Standardite uurimine
2. Seadmetega tutvumine
3. Metoodikat kirjutamine ja arvutuste tegemine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Standardite uurimine	Märts
2.	Seadmetega tutvumine	Aprill
3.	Metoodikat kirjutamine ja arvutuste tegemine	Mai

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg:

"3" juuni 2021a

Üliõpilane:
/allkiri/

"....." 20.....a

Juhendaja:
/allkiri/

"....." 20.....a

Programmijuht:
/allkiri/

"....." 20.....a

SISUKORD

EESSÕNA	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	8
1. PÕHIOOSA.....	9
1.1 Сравнение технологий.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.1.1 VKG Oil AS – Petroter tehnoloogia	10
1.1.2 Eesti Energia AS – Enefit tehnoloogia.....	11
1.1.3 KKT Oil OÜ – TSK-500 tehnoloogia	11
1.2 Keskkonnakompleksload	12
2. ОСНОВЫ ОПРОБИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ.....	13
2.1 Обзор международных стандартов.....	14
2.1.1 EVS-EN 15259	14
2.1.2 EVS-EN 13284 и ISO 9096	18
2.1.3 ISO 9096	20
3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	27
3.1 Описание оборудования	27
3.1.1 STL Combi Dust Sampler.....	27
3.1.2 Газоанализатор TESTO 350	33
3.1.3 Прибор для определения скорости потока TESTO 440.....	35
3.2 Метод определения	36
3.2.1 Подготовка к измерениям	36
3.2.2 Определние характеристик газового потока.....	37
3.3 Отбор проб	Ошибка! Закладка не определена.
3.3.1 Нулевая проба	40
3.3.2 Проведение измерений.....	40
4 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	41
4.1 Характеритистика пылегазового потока.....	41
4.2 Изакинетический расход.....	42
4.3 Концентрация пыли.....	44
KOKKUVÕTE	47
SUMMARY.....	48
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	49
LISAD	50

EESSÕNA

Töö suitsugaaside osas ISO 9096:2017 standardi alusel tsükloni abil tolmu kontsentratsiooni määramises oli läbi viidud KKT Oil OÜ tööstuse laboratooriumis TSK-500 seadmes.

Suured tänud KKT Oil OÜ juhtkonnale ja Anna Smirnovale kaasabi eest.

Tolm, ISO 9096, EVS-EN 15259, ISO 13027, STL Combi Dust Sampler, Testo 350, Testo 440 dp, tsüklon

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

PVT – parim võimalik tehnoloogia

TSK – tahke soojuskandja seade

SISSEJUHATUS

Seoses keemiatööstuse heitgaaside kvaliteetnõuete karmistamisega on vaja puhastusseadmete tõhususe paremat kvaliteedikontrolli. Keemiatööstuse heitgaaside koostis sisaldab selliseid komponente nagu H_2S , NO_x , SO_x , CO , CO_2 ja selliseid peenosi nagu tolm. Selles töös käsitletakse tolmu kontsentratsiooni määramist tolmuvoodes, et kontrollida tolmu puhastusseadmete tõhusust põlevkivitööstusega seotud ettevõtetes.

Parim võimalik tehnoloogia (PVT) andmetel peaks heitgaaside tolmusisaldus jääma vahemikku 40 kuni 200 mg/Nm^3 . See tähendab, et põlevkivi keemiatehastes tolmuvoogudest tolmu eemaldamise seadmed peavad töötama tõhusalt. Tolmuseadmete efektiivsuse kontrollimiseks võetakse tolmu kontsentratsiooni tolmuvooludest enne ja pärast seadme paigaldamist.

Töös kasutati tolmuvoogudest tolmu eemaldamise seadmeid STL Combi Dust Sampler firmalt Metlab Moljö AB koos lisakomplektiga - tsüklon. Standardseks filtreerimiseks muidu kasutatakse gravimeetodit, kus kasutatakse filtrit. Antud seadmed on väljatöötatud standardi EVS-EN 13284-1: 2017 põhjal. Kõrge tolmusisaldusega tolmu- ja gaasivoogudes ülalmainitud filtrid ei ole nii efektiivsed.

Selles töös tolmu määramiseks kontsentratsiooniga üle 3000 mg / Nm^3 rakendatakse tsüklonit. Tsüklon ei ole standardseade. Selle testimiseks kasutatakse standardit ISO 9096: 2017.

Samuti jälgitakse ja arvestatakse statsionaarsetest allikatest pärit heitmete kontrolli standart EVS-EN 15259: 2007 järgi.

Kehtivad tolmu- ja gaasivoogude tolmu proovivõtmise standardid ISO 9096: 2017 ja EVS-EN 13284-1: 2017 filtrite kasutamisel on mõjusad tolmu proovide võtmisel vaid õhufiltreerimise teel.

Nendel eesmärkidel selles töös käsitletakse nimelt tsüklonit.

Töö käigus kasutati gaasikanalites gaasianalüsaatori Testo 350 sondi ja seadet voolukiiruse määramiseks ettenähtud Pitot testo 440 dp toru abil.

Tsüklon haarab tolmu kontsentratsiooniga üle 3000 mg , mis annab võimaluse laiendada tolmu kogumist tolmu kontsentratsiooni määramiseks tolmu ja gaasivoogudes tootmisest.

Selle töö eesmärgiks oli uurida tsükloni tõhusust tolmu eraldamisel tolmu-gaasivoolust tahke soojuskandjaga põlevkivi tööstustehases kasutades ISO 9096: 2017.

1. PÕHIOSA

Käesoleval ajal on ohtlike ainete väljaheidet atmosfääri normaliseeritud tänu atmosfääri õhu hügieenkriteeriumite kvaliteedi järgimisega. Koosluses rida uuringutega atmosfääri õhu erinevad saastetasemed erinevalt mõjuvad erinevatele ökosüsteemidele. Samal ajal, nagu näitavad mitmete uuringute tulemused, mõjutab õhusaaste erinev tase ökosüsteemi erinevaid komponente (taimestik ja metsaistandused, erinevat tüüpi põllumajandusmaa, pinnas, vesi, loomastik jne) erinevalt. Põlevkivikeemiatahased ja soojuselektrijaamad reostavad atmosfääri põlemisproduktide, samuti mürgiste ainetega, mis sisalduvad originaalkütuses või tekivad selle käigus - suitsugaasidest ehk heitgaasidest. Teatud tingimustel toimub õhupinna ülemise kauglevi tõttu saasteallikate asukoha piirkonnast märkimisväärse kauguses asuvates piirkondades märkimisväärne lokaalne suurenenud maalähedase õhukihi reostus. Lisaks mõjutavad tööstusalasid ja nende lähiümbrust ebakorrapärased ja väikesemahulised heiteallikad.

Tööstuskeskuste mõjuvööndi atmosfääriõhu koostise muutuse määrab ka erinevat tüüpi tehnoloogiate kasutamine ja nende heitgaaside puhastamise tase.

Atmosfääri paisatavate saasteainete hulgas on summeerimiseefekt: vääveldioksiid ja lämmastikdioksiid, vääveldioksiid, lämmastikoksiid ja tuhk, vääveldioksiid ja vesinikfluoriid, erineva settimiskoeffitsiendiga tolm.

Energeetika ja tööstuse intensiivne areng põhjustab paratamatult süsivesinikkütuste tarbimise kasvu, mis omakorda suurendab selle töötlemisel atmosfääri paisatavate kõrvalsaaduste hulka.

Õhusaaste tekib seadmete konstruktsiooni, heitgaaside puhastussüsteemide ebatäiuslikkuse või vananemise, käituseeskirjade rikkumise, seadmete vähese hoolduse tõttu ja mõnikord õnnetuste või hädaolukordade tagajärjel.

Välisõhku paisatavate, ära kasutatud suitsugaaside mürgisus sõltub peamiselt põletatud süsivesinikkütuse kvaliteedist, sordist ja tüübist, töötlemisprotsessi korraldamise tingimustest ja käitise tehnilisest seisukorrast.

On teada, et koos looduslike õhusaaste allikatega on ka inimtekkelisi või kunstlikke. Antropogeensed suitsugaaside õhusaaste allikad - töötlemisproduktid on peaaegu kõik süsivesinikkütuseid töötlevad soojusrajatised. Kunstlikud saasteallikad klassifitseeritakse tavaliselt järgmiselt:

- liikuvuse aste (statsionaarne ja liikuv);
- heitmete intensiivsus (võimas, keskmine, nõrk);

- heitkoguste ulatus (suured, keskmised, väikesed);
- kontsentratsiooni aste alal (punkt, tasapinnaline, mahuline);
- kahjulike mõjude aeg (lühiajaline, süsteemne, püsiv);
- heitkoguste agregaatoleku järgi (gaasiline, vedel, tahke).

Käitiste suitsugaasid sisaldavad kümneid tuhandeid kemikaale, ühendeid ja elemente, millest enam kui kakssada on väga mürgised (ülitoksilised) ja mürgised.

Suitsugaasidel on ebameeldiv lõhn ning neil on kahjulik ja mõnikord surmav mõju inimese kehale, taimestikule ja loomastikule. Õhubasseini gaasi- ja soojusreostus aitab kaasa happevihmade, suitsu tekkele atmosfääris, muudab pilvisuse olemust, mis viib kasvuhooneefekti suurenemiseni.

Energia- ja põlevkivitöötlemistehaste gaasid reostavad õhku ja territooriumi nende alade piirkonnas, kus need asuvad. Olulised kahjulike komponentide emissioonid atmosfääri tekivad käivitamisel, soojendamisel ja töörežiimide muutmisel.

Õhu puhtus on tööstuslinnade üks olulisemaid probleeme. Kirde-Eestis kuuluvad nende hulka Kohtla-Järve, Narva, Kiviõli. Just nendesse linnadesse on koondunud põlevkivi töötlemise, elektri ja soojuse tootmise seotud tööstus. Saastekeskonnaks on õhk, vesi ja maakera pind. Selles artiklis käsitletakse ühte keskkonda - õhku koos saastekomponendiga - peeni tahkeid osakesi või tolmu.

1.1 Tehnoloogiate võrdlus

Ida-Virumaal töödeldakse põlevkivi termiliselt tahketes soojuskandjaseadmetes (TSK) VKG OIL AS-is, KKT Oil OÜ-s, Eesti Energia AS-is.

1.1.1 VKG Oil AS – Petroter tehnoloogia

Petroter-tehnoloogia on välja töötanud VKG insenerid ja see on patenteeritud põlevkivi töötlemise meetod, mida on kontsernis kasutatud alates 2009. aastast. Mitmeaastane kogemus on tõestanud selle tehnoloogia usaldusväärsust ja tõhusust [1].

Petroter-tehnoloogia põhineb kuumtöötlusprotsessil (pürolüüs), mille käigus kasutatakse tahket soojuskandjat, see tähendab peeneteralist põlevkivi (0–25 mm), mis on segatud kuumaga. Põlevkivi ja kuum tuhk segatakse pöörlevas reaktoris, kuhu ei pääse õhku, ja neid kuumutatakse. Temperatuuril 450–500 °C eraldub põlevkivi orgaanilise osa vedelateks ja gaasilisteks aineteks [1].

Pürolüüsiprotsessi tulemusena reaktoris tekkiv auru ja gaasi segu puhastatakse tuhast ja mehaanilistest lisanditest ning läheb destilleerimisele, kus moodustuvad vedelad tooted ja kõrge kütteväärtusega gaas. Vedelad tooted saadetakse teistesse

osakondadesse mahalaadimiseks, valmistooted saadetakse müügiks ja vahesaadused saadetakse edasiseks töötlemiseks. Gaas tarnitakse soojuselektrijaama soojuse ja elektri tootmiseks. Siin toodetakse elektrit aurust. Protsessi kõrvalproduktideks on termilise töötlemise fenoolvesi, suitsugaasid ja tuhk [1].

1.1.2 Eesti Energia AS – Enefit tehnoloogia

Peeneteraline põlevkivi juhitakse aerofontaansesse kuivatisse. Kuivatist juhitakse see segisti kaudu trumlitüüpi pürolüüsireaktorisse, kuhu tuleb ka tahke soojuskandja aerofontaanses koldest. Tahke soojuskandja ringleb mööda kontuuri: aerofontaanne kolle – soojuskandja bypass – soojuskandja tsüklonid - segisti - reaktor - tolmuammer – aerofontaanne kolle.. Tolmunud suitsugaasid saadetakse pärast tahke faasi eraldamist läbi tsüklonite ja elektrostaatiline sade juhitakse atmosfääri. Reaktoris moodustunud auru ja gaasi segu suunatakse sisseehitatud tsüklonitega tolmu koguva kambri kaudu fraktsioneerivasse kondensatsioonisüsteemi, kust saadakse kaubanduslikud tooted [2].

1.1.3 KKT Oil OÜ – TSK-500 tehnoloogia

TSK kasutab horisontaalset pöörlevat silindrilist retorti, kus toormena kasutatakse peenfraktsioonilist (kuni 25 mm) põlevkivi ja kus orgaanilise aine termilist lagundamist saavutatakse kuuma põlevkivituha otsesel segamisel põlevkiviga. Protsessi tulemusel saadakse õliauru ja kõrge kütteväärtusega gaasi [3].

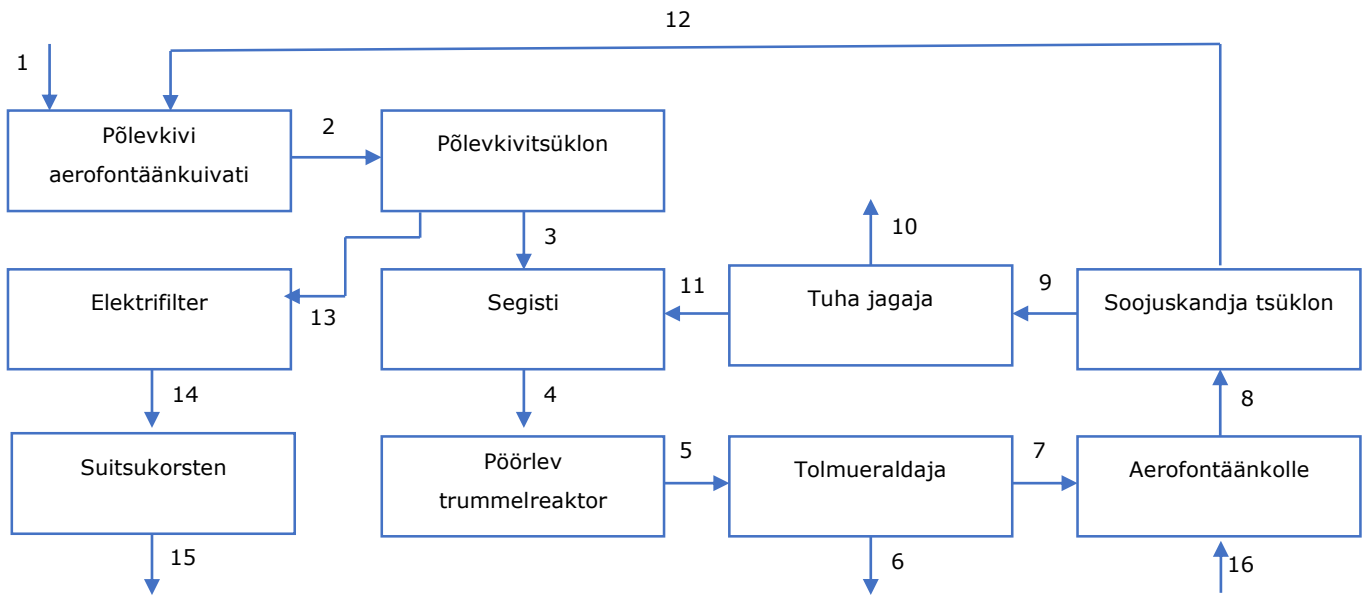
Soojus- ja elektrienergia tootmisüksuses töötab viis aurukatelt ja kaks turbogeneraatorit. Ettevõtte varustab soojusenergiaga ka Kiviõli linna [3].

Kiviõli Keemiatööstuses toodetakse soojust ja elektrienergiat koostootmise protsessis ning selleks kasutatakse põlevkivi, uttegaasi ja põlevkiviõli. Soojusenergiat kasutatakse põlevkiviõli tootmisprotsessis ja müüakse ka kohalikule kaugkütte võrguettevõtjale edasimüümiseks tarbijatele [3].

Ettevõtte soojuselektrijaam ei ole orienteeritud ainult elektri- ja soojuse koostootmisele, selle põhieesmärk on utiliseerida uttegaas selle õhku paiskamise asemel ning saada gaasi põletamisest soojus- ja elektrienergiat. Põlvkivi tootmisel tekkiva uttegaasi kogus on aastaringset konstantne. Selle utiliseerimiseks tuleb suvise soojustarbimise miinimumi ajal toota enam elektrienergiat ning talvise koormusmaksimumi ajal rohkem soojusenergiat [3].

1.1.4 TSK plokk skeem

TSK plokk skeem on kujundatud Joonisel 1.1



Joonis 1.1 TSK plokk skeem: 1 - põlevkivi, 2 - kuiv põlevkivi ja tehnoloogiline gaas, 3 - kuiv põlevkivi, 4 - põlevkivi ja kuum tuhk, 5 - poolkoks, 6 - auru ja gaasi segu, 7 - poolkoks, 8 - tuhk ja tehnoloogiline gaas, 9 - tuhk, 10 - tuhk protsessist, 11 - tuhk (soojuskandja), 12 - tehnoloogiline gaas, 13 - suitsugaas, 14 - suitsugaas (emissioon), 16 - õhk.

1.2 Keskkonnakompleksload

Keskkonnakaitse lubadeks on keskkonnavalua, keskkonnakompleksluba ning muu luba, mille nõue nähakse ette seadusega, selleks et vähendada keskkonnariske teatud tegevusaladel tegutsemiseks [4].

Keskkonnakompleksloa eesmärk on tagada vee, õhu ja pinnase kaitse ning vähendada saastatuse kandumist ühest keskkonnaelemendist teise. Keskkonnakompleksluba antakse suure keskkonnohuga tööstuslikele tegevustele. See asendab keskkonnavalua ning erineb selle poolest, et kohustab kasutama parimat võimalikku tehnikat (PVT) [4].

Eespool nimetatud tööstusharude komplekslubades määratletud heitgaaside tolmu kontsentratsiooni load on toodud tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Tolmu kontsentratsioon PVT alusel

Ettevõtte nimetus	Protsessi nimetus	Tehnoloogia	Tolmu kontsentratsioon PVT alusel
Enefit Energiatootmine AS (KKL/176540) [5]	Pürolüüsi protsess	Enefit 140 (2 tk) (trummelreaktor, aerofontäänkolle); Enefit 280 (1 tk) seade (trummelreaktor ja keevkihtkatel).	Tahked osakesed 40-200 mg/nm ³ (3% O ₂)

Ettevõtte nimetus	Protsessi nimetus	Tehnoloogia	Tolmu kontsentratsioon PVT alusel
		Põlevkivi pürolüüsi protsessis tekivad atmosfääriheitmeid.	
KKT Oil OÜ (L.KKL.IV-171223) [6]	Pürolüüsi protsess	TSK-500 seadmed	Tahkete osakeste saavutatav heitetase utilisaatorkatla kasutamisetel on 40...200 mg/nm ³ (kuukeskmise väärtus 3% O ₂ sisaldusel)
VKG Oil AS (L.KKL.IV-198338) [7]	Pürolüüsi protsess	Petroter-1, Petroter-2, Petroter -3 (katel-utilisaator, multitsüklonid, elektrifilter, suitsukorsten)	Tolm 40-200 mg/nm ³ (kuukeskmise väärtus 3% O ₂ sisaldusel)

Tabeli 1.1 kohaselt on näha, et suitsugaasides on vaja kontrollida tolmusisaldust. Puhastusseadmete efektiivsuse jälgimiseks on vaja kontrollida tolmu sisalduse sisend- ja väljundväärtust.

Järgnevas käsitletakse suitsugaaside tolmu sisalduse proovide võtmise põhitõdesid.

2. TOLMUKONTSENTRATSIOONI PROOVIVÕTMISE ALUSED

Proovide võtmine tolmu sisaldavatest gaasivoogudest ja tolmusisalduse kontsentratsiooni määramine voogudes on üks meetoditest, mis tuleb läbi viia põlevkivikeema tootmisel tekkiva peendisperse tolmu heitmete kontrollimiseks. Nende tehnoloogiate hulka kuulub TSK seade. Nendes protsessides kasutatakse kolmanda sordi põlevkivi, tükisuurusega kuni 25 mm.

TSK-s toimub põlevkivi pürolüüs, saadud poolkoks põletakse aerofontäänkoldes tuha ja tehnoloogilise gaasi moodutades. Aurusegu, mis saadud trummelreaktoris, läheb edasi kondensaadi seadme edasi töötlemiseks. Tehnoloogilise gaasi ja tuha voog tuleb tsüklonide läbi, kus eraldatakse kaheks vooks: tehnoloogilise gaasi voog ja tuha voog. Tuhk kasutatakse protsessis mitmekordselt tahke soojuskandjana. Tehnoloogiline gaas tuleb aerofontäänkuivatisse põlevkivi kuivatamiseks. Saadud voog tuleb edasi põlevkivi tsüklonidesse, kus gaasi vood eraldatakse põlevkivist. Gaasi voog tuleb elektrifiltritesse, kus puhastakse tolmust, ja edasi suitsugaasina atmosfäärisse. Kuid väike osa tuhast võib pärast puhastamist jääda tolmu ja gaasivoo koosseisu.

Puhastusseadmete efektiivsuse kontrollimiseks, kasutatakse sellist analüüsimeetodit nagu tolmu sisalduse määramine tolmu- ja gaasivoogudes. Efektiivsuse all mõistetakse sel juhul puhastust läbiva gaasivoo puhastusastet enne ja pärast puhastusseadet. Tolmu- ja gaasivoogude tolmusisaldus määratakse gravimeetrilise

meetodi abil, proovid võetakse spetsiaalsete seadmetega, mis koosnevad spetsiaalsest sondist, filtritest, pumbast, manomeetrite ja temperatuuri (termo)anduritega mõõtesüsteemist. Peamised standardid on:

- EVS-EN 15259 Air quality - Measurement of stationary source emissions - Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report;
- EVS-EN 13284 Stationary source emissions - Determination of low range mass concentration of dust - Part 1: Manual gravimetric method;
- ISO 9096 Stationary source emissions — Manual determination of mass concentration of particulate matter.

Standardite määratlusest lähtuvalt on tahked osakesed (tolm), proovivõtutingimustes, gaasi faasis jaotunud, mis tahes kuju, struktuuri ja tihedusega osakesed.

Proovivõtumetoodikas mõistetakse tahkete osakeste all ainet, mis kogutakse proovivõtusüsteemi filtrileja enne seda, kindlaksmääratud temperatuuritingimustes.

Tolmu kontsentratsiooni määramisel gaasivoos on vaja kindlaks määrata ka:

- suitsugaasi komponentne koostis, selleks kasutatakse Testo 350 gaasianalüsaatorit;
- gaasi voolukiirus Pito torukese abil, selleks kasutatakse Testo 440 seadet.

Selle töö eesmärk on uurida tsükloni kasutamise standardiseerimise võimalust, tolmusisalduse määramiseks, tolmu- ja gaasivoogudes, algtolmusisaldusega 3000 mg/m³.

2.1 Ülevaade rahvusvahelistest standarditest

2.1.1 EVS-EN 15259

EVS-EN 15259 standard määratleb nõuded mõõtelõikude ja mõõtepunktide valimiseks, eesmärgi ja mõõteplaani ning aruandluse statsionaarsetest allikatest pärinevate heitmete kontrollimiseks.

Statsionaarsete allikate hulka kuuluvad hingamissüsteemid, ventilaatorid, ventilatsioon, korstnad ja nendeni viivad torujuhtmed. Selles dokumendis käsitletakse suitsukorstent ja TSK seame elektrifilter. Skeem on kujundatud lisas L2.1.

EVS-EN 15259 standard seab nõuded:

- mõõtelõikudele ja kohtadele heitkoguste mõõtmisel;

- mõõtmiste eesmärkidele;
- tööstusettevõtete väljuvate gaaside gaasikäikudes õhusaasteainete ja muude abisuuruste mõõtmise aruande kavandamisele ja koostamisele.

Käesolevat rahvusvahelist standardit kohaldatakse perioodiliste mõõtmiste puhul, käsitsi või automatiseeritud referentsmeetodite kasutamisel [8]. Antud töös vaadetakse käsitsi referentsmeetodit.

Standard kehtestab meetodid heitgaaside väljuvate gaaside tüüpiliste proovide võtmiseks suitsugaasikanalites ning üldpõhimõtted, mida rakendatakse heitkoguste mõõtmisel erinevat tüüpi ettevõtetes ja erinevate mõõtmiseesmärkide saavutamiseks [8]. Selles töös käsitletakse põlevkivi töötlemise ettevõtet.

2.1.1.1 Eesmärk ja mõõteplaan

Mõõtmiste eesmärk määrab kindlaks:

- tehtavate tööde mahu;
- ettevõtte töötingimused, kus mõõtmisi teostatakse;
- kogu vajalik teave ettevõtte või tehnoloogilise protsessi kohta;
- rakendatud töömeetodid ja muud asjakohased nõuded.

Selle eeluuringu tulemusi kirjeldatakse mõõteplaanis. Mõõtmisplaani otstarbekohasuse tagamiseks on oluline hinnata mõõtmislõiku (seksiooni) ja võtta arvesse kõiki kõrvalekaldeid standardkonfiguratsioonist. Mõõtmisi peaks läbi viima vastava kvalifikatsiooniga personal kogenuma personali järelevalve all. [8]

See meetod on akrediteeritud KKT Oil OÜ laboris ja seda kasutavad kogunud, kvalifitseeritud töötajad.

2.1.1.2 Valimi moodustamise meetodika

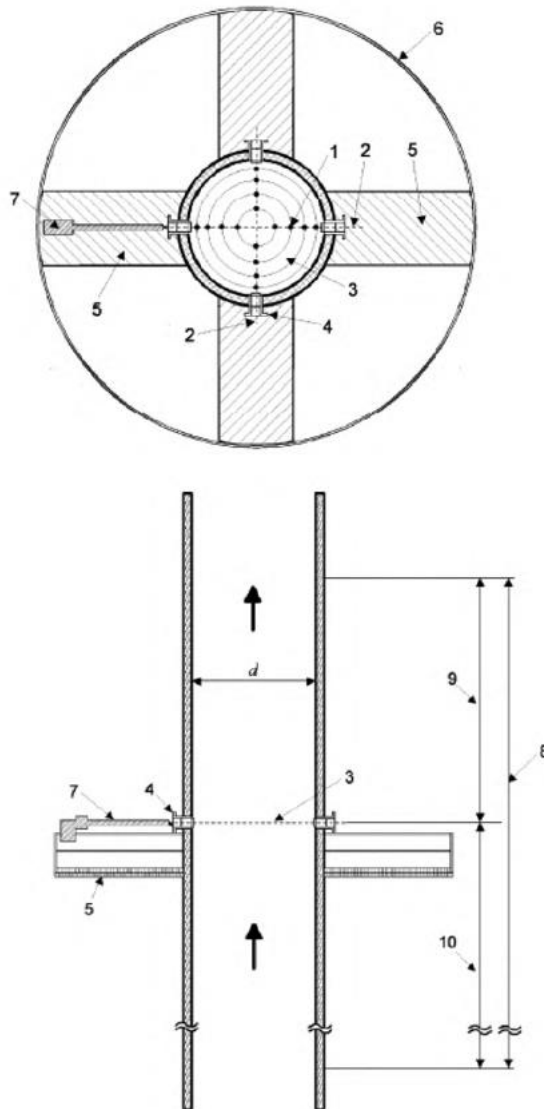
Valimi moodustamise meetodika tagab esindusliku valimi võtmise. Meetodikad valitakse selleks, et saavutada mõõdetava suuruse jaotuse ühtluse etteantud aste ja ajas oodatav kõikumine. Meetodid seavad nõuded proovivõtukohtade arvu ja asukoha ning igas punktis proovivõtmise kestuse määramiseks [8].

2.1.1.3 Mõõtmisaruanne

Mõõtmisaruanne sisaldab vajalikul arvul mõõtmistel saadud mõõtmistulemusi, samuti eesmärgi kirjeldust ja mõõteplaani. Samuti annab protokoll üksikasjalikku teavet põhiandmete ja tehnoloogilise protsessi tingimuste kohta, mis on vajalik nende mõõtmisel arvestamiseks [8].

2.1.1.4 Mõõteseksiooni ja mõõtmiskohtade üldsätted

Usaldusväärsete ja võrreldavate heitemõõtmiste saamiseks on vaja sobivaid mõõtelõike ja mõõtekohti. Seega tuleb tehase kavandamisel kavandada vastavad mõõtmislõigud ja mõõtmiskohad [8]. Mõõtekoha ja mõõteseksiooniga seotud elemendid on näidatud Joonisel 2.1. [8].



Joonis 2.1 Mõõtekoha ja mõõteseksiooniga seotud elementide illustratsioon [8].

Joonisel 2.1 on esitatud järgmised elemendid:

- 1 - mõõtepunkt;
- 2 - mõõteliin;
- 3 - mõõtepind;
- 4 - mõõteport;
- 5 - vabatsoon;
- 6 - mõõtmiste koht;
- 7 - liin käsitsi proovide võtmiseks;
- 8 - mõõteseksioon;

9 - toruosa pärast mõõtetasapinda;

10 - toruosa piki mõõtetasapinda.

Heitkoguste mõõtmise läbiviimiseks on vaja jälgida mõõtetasandil teatud gaasivoolu režiimi. See tähendab etteantud ja stabiilset gaasivooluprofiili ilma pöörete ja tagasivooluta, nii et saab määrata määratletava aine voolukiiruse ja masskontsentratsiooni heitgaasis. Sellised nõuded põhinevad vajadusel määrata keskmine sisalduvus. See on ainus viis, kuidas näiteks erinevates mõõtmiskohtades saadud erinevaid mõõtmisi, saab omavahel võrrelda [8].

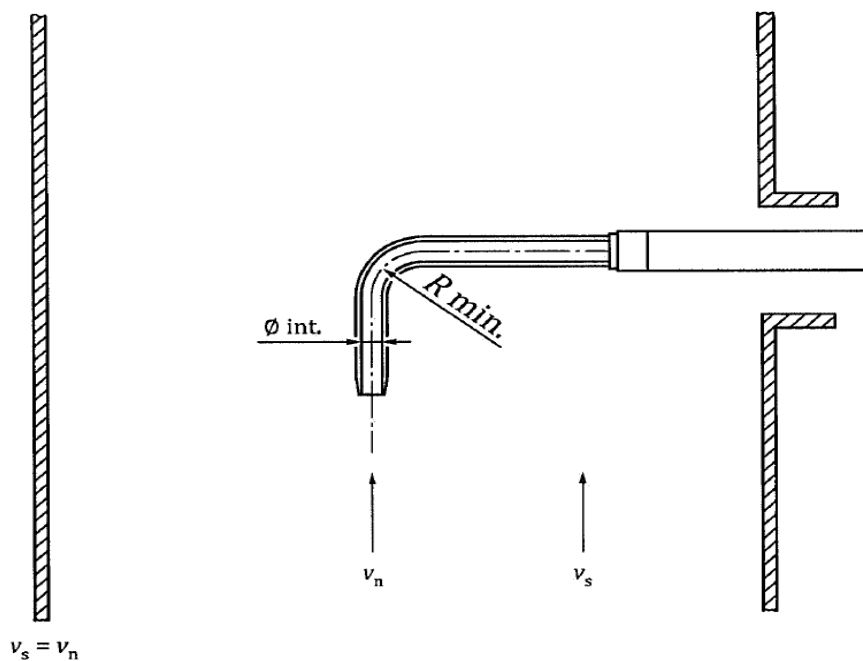
Mõõtelõikude ja muudatuste kohtade valimisel ja määratlemisel tuleks arvestada regulatiivsete ja seadusandlike dokumentide tehnilisi nõudeid.

2.1.1.5 Proovivõtu metodoloogia tahkete osakeste ja väljalaskegaaside muude komponentide määramiseks mõõtmisvõrgu punktides

Tolmu või muude tahkete osakeste või veepiiskade olemasolul, viiakse mõõtmised mõõtevõrgu punktides läbi isokineetilise proovivõtu režiimis.

Mõõtevõrk on mõõdetud väärtuse määramine mõõtetasandi mõõtepunktide etteantud võrgus.

Isokineetiline proovivõtu hulka kuulub proovivõtt voolukiirusel, mis tagab proovivõtudüüsisse v_n siseneva tolmu- ja gaasivoolu kiiruse ja suuna, samuti ka voo kiiruse ja suuna torus proovivõtukohtades v_s (vt Joonis 2.2).



Joonis 2.2 Isokineetiline proovivõtt [8].

Joonis 2.2 näitab järgmisi positsioone:

v_s –gaasi kiirus gaasikanalis;

v_n – gaasi kiirus sisenemisel;

R_{\min} – düüsi põlve minimaalne painderaadius;

\varnothing_{int} – düüsi siseläbimõõt (diameeter).

Kiiruste suhe v_n/v_s väljendatuna protsentides, iseloomustab kõrvalekallet isokineetilistest proovivõtutingimustest.

Kui suitsugaasi gaasisarnaseid komponente mõõdetakse paralleelselt tahkete ainetega, mille proovide võtmiseks on vaja isokineetilist proovivõtmist, peaks sekundaarsetes mõõteliniides olev gaasivooluhulk olema proportsionaalne kogu vooluhulgaga (mahuga). Lisaks tuleb gaasiliste komponentide püüdmise materjali neeldumis- või adsorptsioonivõime hoida konstantsena [8].

Proovivõtutasandi suurus määrab minimaalse proovivõtukohtade arvu. Tavaliselt suureneb see arv gaasikäigu mõõtude suurenemisega [8].

Standard käsitleb ümmarguste ja ristkülikukujuliste gaasikäikude proovivõtukohtade minimaalset arvu. Käesolevas töös kaalutakse ümmarguste gaasikanalite proovivõtukohtade valimist. Proovivõtukohtad peaksid asuma proovivõtutasandi võrdsete alade keskpunktides [8].

Proovivõtukohtad asuvad kas üle 3% proovivõtutoru pikkusest või 5 cm kaugusel gaasikäigu siseseinast, olenevalt sellest, kumb nendest näitajatest on suurem [8].

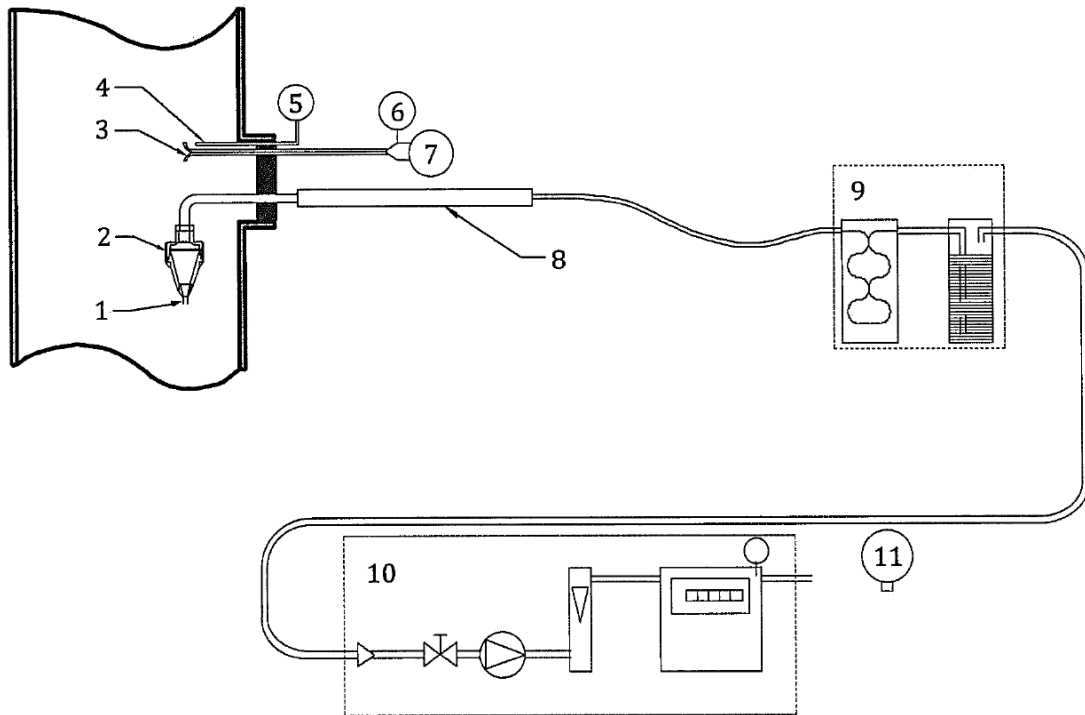
Proovivõtutasandite valimist ja proovivõtukohtade arvu määramist käsitletakse üksikasjalikult töös allpool, tuginedes ISO 9096 standardile, kuna see sisaldab täpsemaid kriteeriume tasapindade valimiseks ja proovivõtukohtade arvu määramiseks.

2.1.2 EVS-EN 13284 ja ISO 9096

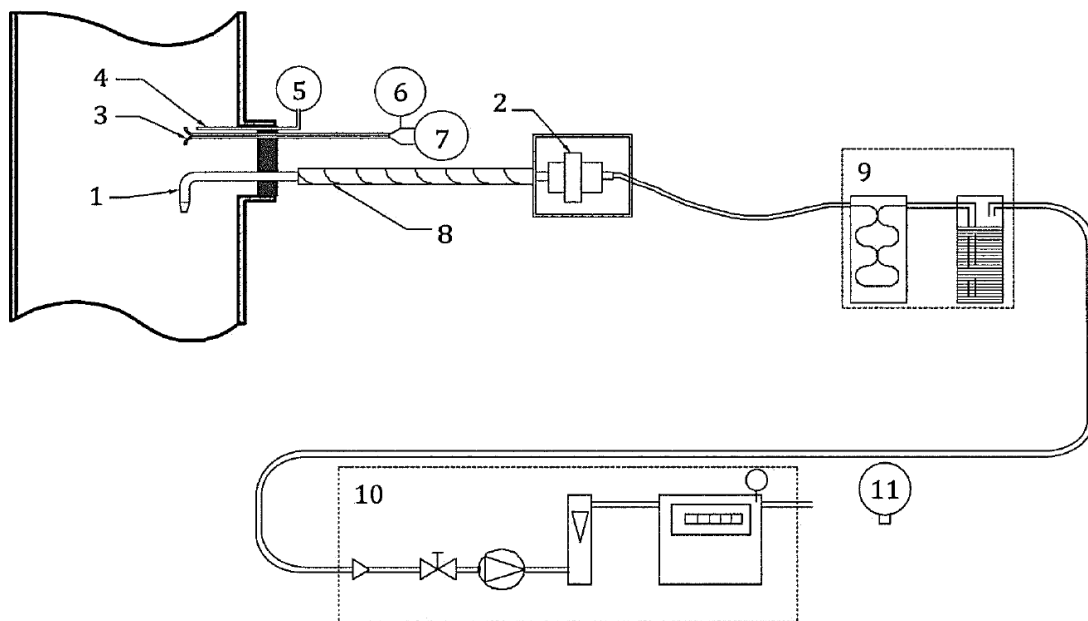
Standarditega EVS-EN 13284 ja ISO 9096 tutvumine näitas, et need standardid on identsed, välja arvatud üks - nende määratlemispiir on erinev. EVS-EN 13284 standard võimaldab töötada vahemikus alla 50 mg/m^3 [9]. ISO 9096 standardi tööpiirkond on vahemikus 20 kuni 1000 mg/m^3 [10].

Mõlemas standardis määratletakse isokineetilises režiimis proovivõtmise tingimused, kaks filtreerimise viisi, aga samuti proovivõtukohtade määramise reegleid kasutatakse analoogseid.

EVS-EN 13284 ja ISO 9096 standardid võimaldavad filtreerimist kasutada nii torujuhtme sees kui ka väljaspool. Joonisel 2.3 on kujutatud sisemine filtreerimisskeem, joonisel 2.4 on kujutatud välise filtreerimise skeem.



Joonis 2.3 Sisemise filtratsiooni skeem [9].



Joonis 2.4 Väline filtreerimisskeem [9].

Positsioonid, mis on toodud Joonisel 2.3 ja 2.4 on toodud tabelis 2.1

Tabel 2.1 Positsioonid, mis on toodud Joonisel 2.3 ja 2.4 [9].

Positsiooni number	Positsiooni nimetus
1	sisselaskeotsik

Positsiooni number	Positsiooni nimetus
2	filtrihoidja
3	Pitot toru
4	temperatuuriandur
5	termomeeter
6	staatilise rõhu mõõtja
7	diferentsiaالرõhumõõtur
8	proovivõttursond
9	jahutus- ja kuivatussüsteem
10	imemisseade ja gaasiarvesti
11	baromeeter

Tolmu sisaldava voo filtreerimisskeemid erinevad ainult filtrihoidja pos. 2, milles asub filter. Selles töös käsitletakse tolmu- ja gaasivoolust proovivõtmise skeemi, välise filtrimisega .

Allpool käsitletakse ainult ISO 9096 standardit, kuna see annab laiemat kontsentratsioonivahemiku. Tsükloni töö, standardiseerimise võimalust, proovide võtmiseks, käsitletakse selles töös, tuginedes standardile ISO 9096. Järgnevalt vaatleme seda standardit üksikasjalikumalt.

2.1.3 ISO 9096

Selle standardiga kehtestatakse standardmeetod tahkete osakeste (tolmu) massikontsentratsiooni mõõtmiseks heitgaaside tolmu- ja gaasivoogudes vahemikus 20 kuni 1000 mg/m³ normaalsetes tingimustes [10].

Tavalised tingimused on gaasi rõhu ja temperatuuri konstantsed väärtused ning tingimused, millele arvatud mahud tuleks viia: rõhk 101,3 kPa, temperatuur 273,15 K [11].

2.1.3.1 Üldised seisukohad

Analüüsitud tolmu- ja gaasivool võetakse kindlaksmääratud proovivõtukohtades , peavoolust, mõõdetud aja jooksul, kontrollitud isokineetilise voolukuluga. Mõõdetakse tolmu- ja gaasivoost võetud proovi maht. Eelkaalutud filter, mis seejärel kuivatatakse ja uuesti kaalutakse, eraldab proovis sisalduvad tahked osakesed (tolm) [10].

Filtrist ülesvoolu proovivõttuseadmetesse ladestunud tolmu võetakse samuti üles ja kaalutakse. Filtri massi ja filtrist ülesvoolu ladestunud tolmu massi suurenemine omistatakse proovis sisalduvatele tahketele osakestele. Kogutud tahkete osakeste massi suhe, võetud prooviga, võimaldab arvutada tahkete osakeste kontsentratsiooni tolmu- ja gaasivoos [10].

Usaldusväärseid mõõtmisi on võimalik saavutada, kui:

- a) proovide võtmisel kogutakse piisav hulk tolmu, mis ületab nullproovi vastava väärtuse vähemalt viis korda;
- b) tolmu- ja gaasivoolul gaasikanalis proovivõtupunktis on ligikaudu ühtlane ja teadaolev kiirus, temperatuur, rõhk ja homogeenne koostis;
- c) tolmu- ja gaasivoolu suund düüsi teljega paralleelselt;
- d) proovivõtt toimub tolmu ja gaasi voolu häirimata, kasutades vastuvoolu suunatud terava otsikuga düüsi;
- e) katse ajal säilivad isokineetilised proovivõtutingimused;
- f) Proovid võetakse proovivõtutasandi kindlaksmääratud punktides (ettemääratud punktide arvuga), et tagada tüüpiline (esinduslik) proov tahkete osakeste ebaühtlase jaotumisega gaasikäigus või torus;
- g) proovivõtusüsteem on kavandatud ja töötab ilma kondenseerumise ja lekketa;
- h) täidetakse kalibreerimise nõudeid;
- i) filtrist ülesvoolu ladestunud tolmu eemaldatakse ja võetakse arvesse;
- j) Proovivõtu- ja kaalumisprotseduurid on kohandatud eeldatava tolmu kogusega, vastavalt käesolevas standardis [10] sätestatule.

2.1.3.2 Mõjutavad tegurid

On nii positiivseid kui ka negatiivseid mõjutavaid tegureid.

Positiivsete tegurite hulka kuulub näiteks teatud gaasiliste ainete mõju filtrimaterjalile. Mõned tolmu- ja gaasivoogudes sisalduvad gaasilised ained võivad reageerida, põhjustades proovivõtusüsteemis tahkete osakeste moodustumist, mis võib viia mõõtmistulemuse ülehindamiseni. Näited hõlmavad väveldioksiidi (SO_2) võimalikke reaktsioone, mis põhjustavad lahustumatu sulfaadi moodustumist süsteemi selles osas, kus täheldatakse kõrget õhuniiskust. Näiteks kaltsiumsulfaadi (CaSO_4 - kui SO_2 interakteerub lubjakiviga, peale heitgaaside niiske tolmu-gaasivoo desulfuriseerimissüsteemi või ammoniumsulfaadi (NH_4SO_4 - gaasilise ammoniaagiga (NH_3) vastasmõjus - moodustumist) [10].

Negatiivsete tegurite hulka kuuluvad:

- 1) mõned gaasilised happed võivad filtrimaterjali hävitada, mis põhjustab mõõtetulemuse alahindamist (alanemist). Näitena võib tuua vesinikfluoriidi (HF) reaktsiooni proovivõtusüsteemis, klaasist valmistatud komponentidega;

- 2) Heitgaasis sisalduvad lenduvad ained, nii tahked kui vedelad, võivad aurustuda pärast proovivõtusüsteemi filtrikeskkonnale sadestumist pideva kokkupuute tõttu kuuma proovivooga proovivõtmisel. See võib viia ka mõõtmistulemuse (tahkete osakeste massikontsentratsiooni) alahindamiseni (alanemiseni) [10].

Esindusliku proovi võtmine on võimalik, kui on ligipääsetav sobiv koht, kus voolukiirus proovivõtutasandil on suhteliselt ühtlane. Proovide võtmine peaks toimuma piisava arvu proovivõtukohtadega, mis asuvad tavaliselt mitmel proovivõtuliinil. Testimiseks tuleks ette näha mugavad juurdepääsupordid ja töökohad.

2.1.3.3 Proovivõtutasand

Proovivõtutasand peaks asuma kanali sirgjoonelises osas (eelistatult vertikaalses), püsiva kuju ja ristlõikepinnaga. Proovivõtutasand peaks olema võimalikult voogu mööda, kõrgemal või madalamal, mistahes takistustest, mis võivad voolu suunda häirida või muuta. Häireid, mida põhjustavad näiteks käänakud, ventilaatorid või puhastusseadmed [10].

2.1.3.4 Nõuded proovivõtukohtadele

Esialgused mõõtmised kõigis proovivõtukohtades peaks kinnitama, et tolmu- ja gaasivool proovivõtutasandil vastab järgmistele nõuetele:

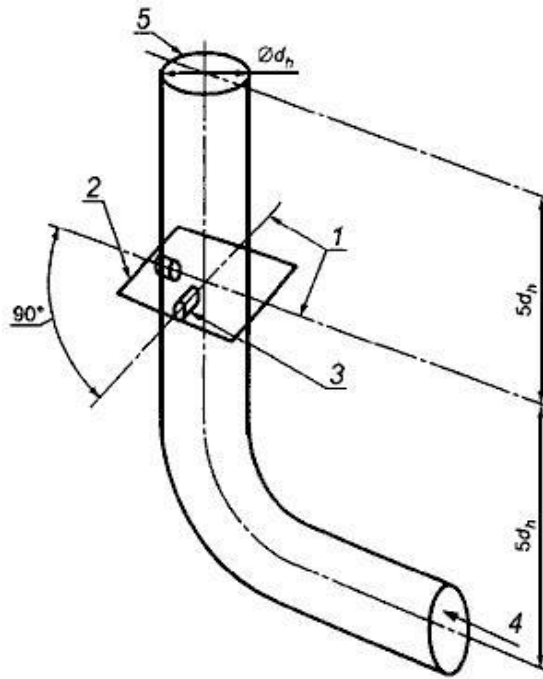
- a) tolmu- ja gaasivoolu suuna ning suitsutoru telje vaheline nurk on väiksem kui 15° ;
- b) puudub kohalik negatiivne voog;
- c) minimaalne voolukiirus on suurem kui voolukiiruse mõõtmiseks kasutatud meetodi avastamispiir (Pitot` torude jaoks on rõhkude erinevus suurem kui 5 Pa);
- d) suurima voolukiiruse ja minimaalse voolukiiruse suhe proovivõtukohas on väiksem kui 3:1.

Eespool nimetatud nõuded on tavaliselt täidetud gaasikäigu osades, kus sirge osa proovivõtutasandist ülesvoolu on vähemalt viis hüdraulilist läbimõõtu, sellest allavoolu kaks hüdraulilist läbimõõtu (või viis hüdraulilist läbimõõtu toru ülaosast). Seetõttu on tungivalt soovitatav valida proovivõtukohad vastavalt nendele nõuetele [10].

2.1.3.5 Proovivõtukoha valik

2.1.3.5.1 Proovivõtutasandi määramine

Proovivõtutasandiks nimetatakse proovivõtukoha tasapinda, mis on risti (perpendikulaarselt) gaasikäigu teljega (vt Joonis 2.5).



Joonis 2.5 Näide ümmarguse gaasikäigu proovivõtutasandi määramiseks [10].

Joonisel 2.5 tähistab järgmisi asendeid: 1 - proovivõtuliinid, 2 - proovivõtutasand, 3 - juurdepääsupesa ojale, 4 - voog, 5 - gaasikäigu ülemine osa.

Proovivõtuliin on proovivõtutasandil olev joon, mida mööda asuvad proovivõtukohtad ja mida piirab gaasikäigu sisesein [10].

Proovivõtutasand peaks asuma gaasikäigui sirgjoonelises osas (eelistatult vertikaalses), püsiva kuju ja ristlõikepinnaga. Proovivõtutasand peaks olema võimalikult voou mööda, kõrgemal või allpool mistahes takistustest, mis võivad voolu suunda häirida või muuta (nt. painded, ventilaatorid jne) [10].

Gaasikäigu sirge osa pikkus proovivõtutasandini peab olema vähemalt viis korda suurem kui gaasikäigu hüdrauliline läbimõõt.

Suitsukanali sirge osa pikkus pärast proovivõtutasandit peab olema vähemalt gaasikäigu kahe hüdraulilise läbimõõduga.

Gaasikanali sirge osa pikkus väljalaskekoha ees peab olema vähemalt viis gaasikanali hüdraulilist läbimõõtu [10].

2.1.3.5.2 Proovivõtukohtade arvu kindlaksmääramine

Proovivõtukoht - konkreetne asukoht proovivõtuliinil, kust proov võetakse.

Vastavalt proovivõtutasandi mõõtmetele valitakse minimaalne proovivõtukohtade arv. Tavaliselt suureneb see arv koos gaasikäigu mõõtmete suurenemisega.

Ümmarguste gaasikäikude proovivõtukohtade minimaalne arv on esitatud tabelis 2.2. Proovivõtukohtad peaksid asuma proovivõtutasandi võrdsete alade keskpunktides vastavalt tabelile 2.3 või 2.4.

Tabel 2.2 Ümmarguste gaasikäikude proovivõtukohtade miinimumarv [10].

Gaasikäigu diameeter, m	Proovivõtuliinide minimaalne arv (diameetreid)	Proovivõtupunktide minimaalne arv liinil		Proovivõtupunktide minimaalne arv tasapinnal	
		Tsentraalse punktiga	Ilma tsentraalse punktita	Tsentraalse punktiga	Ilma tsentraalse punktita
0,35...0,70	2	3	2	5	4
0,70...1,00	2	5	4	9	8
1,00...2,00	2	7	6	13	12

Kui proovivõtukohtade miinimumarvu arvutamine toimub keskpunkti arvestades, kasutatakse ümmarguste gaasikäikude üldist arvutusreeglit (vt Joonis 2.6, Tabel 2.3).

Kui proovivõtukohtade minimaalse arvu arvutamine toimub keskpunkti arvestamata, kasutatakse ümmarguste gaasikäikude tangentsiaalse arvutuse reeglit (vt Joonis 2.7, Tabel 2.4).

2.1.3.5.3 Ümmarguste gaasikäikude üldine konstruktsioonireegel

Üldjuhul jagatakse proovivõtutasand ümmarguste gaasikäikude korral võrdseteks aladeks. Proovivõtukohtad, üks iga ala keskel, peaksid asuma kahel või enamal läbimõõdul ja üks punkt peaks asuma gaasikäigu keskel (vt Joonis 2.6).

Järskude gaasikäikude korral piisab kahest proovivõtuliinist (diameetrist). Sellisel juhul saab gaasikäigu proovivõtukohta kauguse seinast arvutada järgmise valemi abil:

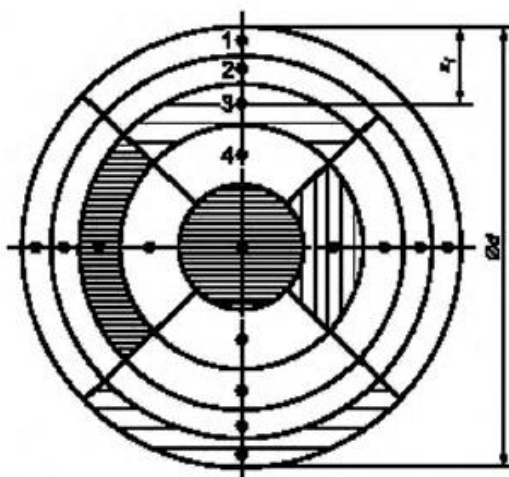
$$x_i = K_i d, \quad (2.1)$$

Kus:

x – kaugus gaasikäigu seinast igasse punkti, m;

K – koefitsient vastavalt tabelile 2, %;

d – gaasikanali läbimõõt, m.



Joonis 2.6 Proovivõtukohtade paigutamine ümmargustesse gaasikäikudesse vastavalt üldreeglile [10].

Tabel 2.3 Koeffitsiendi K väärtused vastavalt ümmarguste gaasikäikude üldreeglile [10].

Number (indeks i) eraldi punktiga proovivõttudeks piki diameetrit	K _i , kui			
	n _i =3	n _i =5	n _i =7	n _i =9
1	11,3	5,9	4,0	3,0
2	50,0	21,1	13,3	9,8
3	88,7	50,0	26,0	17,8
4		78,9	50,0	29,0
5		94,1	74,0	50,0
6			86,7	71,0
7			96,0	82,2
8				90,2
9				97,0

2.1.3.5.4 Ringgaasikanalite tangentsiaalreegel

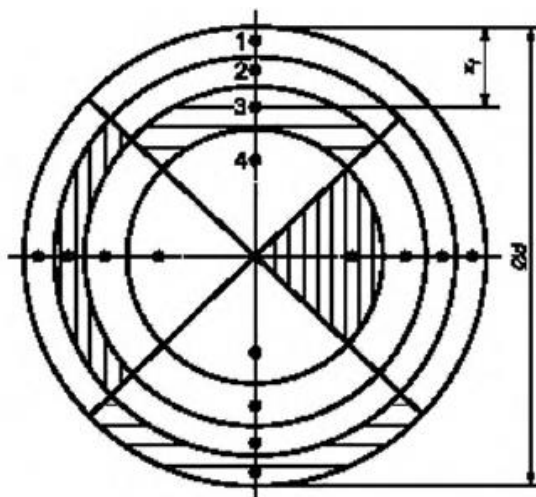
Tangentsiaalreegli kasutamisel ümmarguste gaasikäikude jaoks jagatakse proovivõtutasand võrdseteks piirkondadeks. Proovivõtukohtad, üks iga ala keskel, paiknevad kahel või enamal läbimõõdul, ilma et toru keskel oleks proovivõtukohti (vt Joonis 2.7).

Proovivõtukohtade paigutus igale läbimõõdule sõltub punktide arvust läbimõõdul, kuid ei sõltu valitud läbimõõtude arvust.

Ümmarguste gaasikäikude puhul, kus piisab kahest proovivõtujoonest (läbimõõdust), arvutatakse kaugus kanali seinast igasse punkti valemiga:

$$x_i = k_i d, \quad (2.2)$$

Kus k_i — on tabeli 3 kohane koeffitsient, %.



Joonis 2.7 Proovivõtukohtade paigutamine ümmargustesse gaasikäikudesse vastavalt tangentsiaalreeglile [10].

Tabel 2.4 Koeffitsiendi k väärtused vastavalt ringikujuliste gaasikäikude tangentsiaalreeglile [10].

Ühe proovivõtukohta arv (indeks i) läbimõõdu ulatuses	k_i , kui			
	$n_i=2$	$n_i=4$	$n_i=6$	$n_i=8$
1	14,6	6,7	4,4	3,3
2	85,4	25,0	14,6	10,5
3		75,0	29,6	19,4
4		93,3	70,4	32,3
5			85,4	67,7
6			95,6	80,6
7				89,5
8				96,7

Kuna tuvastatud suitsugaasikomponentide massikontsentratsioon sõltub ettevõtte hetkeseisust ja suitsugaaside juhtimistehnoloogiast, väljendatakse lubatud heitkoguste piirmäära sageli massi kontsentratsiooni väärtusena. See saavutatav heitmete massikontsentratsioon kehtestatud piirides, ei sõltu ettevõtte heitgaaside väljundist ega mahulisest kulust. Massikontsentratsioon heitkogustes on antud juhul kindlaksmääratud komponendi massikontsentratsioon, millest on võetud keskmine, gaasikäigu mõõtetasandi jaoks, heitmete allikast, määratletud, reglementeeritud perioodi jooksul [10].

See periood on tavaliselt pool tundi või tund, see tähendab, et massikontsentratsioon heitkogustes esitatakse väärtuste kujul, mis on keskmistatud poole tunni või tunni jooksul. Päeva keskmised arvutatakse tavaliselt nende keskmiste näitajate põhjal. Heitkoguste mõõtmisel tuleks arvestada tehniliste juhistega massi kontsentratsiooni ruumiliste ja ajaliste muutuste arvestamiseks gaasikäigu mõõtetasandil.

Gaasikäikude mõõtetasandil võib selle ruumilise muutuse tõttu toimuda aine koosseisu jaotumine. Lisaks võib aine koosseis aja jooksul muutuda. Eelkõige ei pruugi

erinevatest mõõtmispunktidest või -allikatest tulevad ja ühinevad ning koostiselt, temperatuurilt või tiheduselt erinevad heitgaasivood olla hästi segunenud, mis viib ebahomogeense voo moodustumiseni [10].

3 PRAKTILINE OSA

3.1 Seadmete kirjeldus

3.1.1 STL Combi Dust Sampler

STL Combi Dust Sampler on Rootsi ettevõtte METLAB Miljö AB seade tolmu proovivõtmiseks filtri ja tsükloniga sondi abil, mis paiknevad lõõrist ja kondensaatorisüsteemist väljaspool. METLAB Miljö AB töötab välja ja pakub seadmeid proovide võtmiseks ja heitmete mõõtmiseks. See seade on mõeldud tolmu kontsentratsiooni arvutamiseks manuaalse gravimeetrilise meetodi jaoks. Meetodit kasutatakse suitsugaaside heitkoguste kontrollimiseks näiteks tööstuslikest protsessidest, elektrijaamadest, põlevkivi töötlemisprotsessidest ja jäätmepõletusahjudest.

STL-kombineeritud tolmu proovivõtuvõtja on toodetud vastavalt Euroopa standardile EVS-EN 13284 Statsionaarsete allikate heitkogused - Tolmu madala massikontsentratsiooni määramine - Osa 1: Manuaalne gravimeetriline meetod, mis määrab kindlaks gravimeetrilise meetodi miinimumnõuded ja protseduuri. Käesolevas dokumendis käsitletakse seadme tööpõhimõtet Euroopa standardi ISO 9096 alusel. Paiksete heitmete heitkogused - tahkete osakeste massikontsentratsiooni käitsi määramine, kuna tolmu määramise vahemik heitgaaside tolmu ja gaasivoogudes on selles standardis kõrgem ja jääb vahemikku 20 mg kuni 1000 mg.

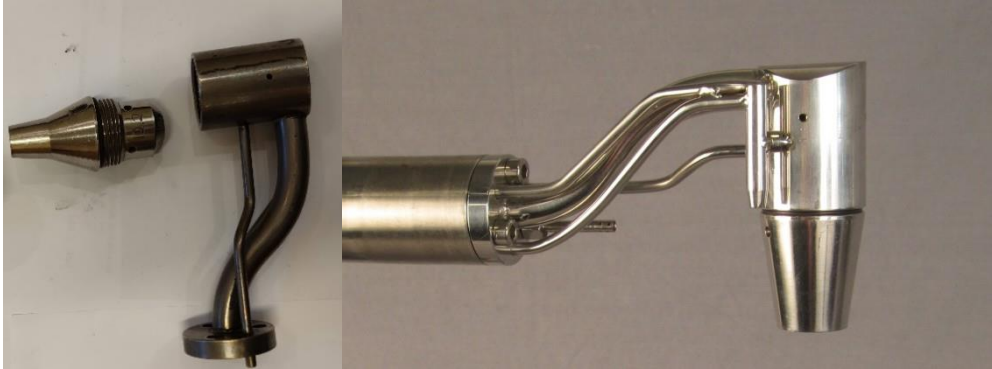
STL Combi Dust Sampleri tolmu- ja gaasivoogude võtmise süsteem tolmu- ja gaasivoogudest töötab välise filtreerimise põhimõttel ja koosneb järgmistest üksustest:

- proovivõtmise plokk;
- juhtplokk;
- ühenduste blokk.

Proovivõtuüksus koosneb omakorda järgmisest:

- sondist pikkusega 1800 mm;
- komplektist sissetulevatest erineva läbimõõduga düüse, vahemikus 6 kuni 20 mm ja tavalisest düüsipeast 90° paindenurgaga (vt Joonis 3.1);
- roostevabast terasest filtrikorpusest kahe 142 mm läbimõõduga kasseti jaoks (vt Joonis 3.2 - kokkupandud, Joonis 3.3 - lahti võetud, Joonis 3.4 - filtrid);

- isoleerivast kattest, mis hoiab proovivõtmise ajal ära temperatuuri languse ja kondenseerumise sadestumise filtri korpuses ning tagab mehaanilise kaitse;
- tööstuslikust föönist võimsusega 2200 W filtri korpuse soojendamiseks enne proovide võtmist;
- 400 mm pikkusest sondist, läbimõõduga 6 mm, temperatuuri mõõtmiseks.



Joonis 3.1 Düüs ja düüsipea



Joonis 3.2 Filtrihoidik



Joonis 3.3 Filtrihoodik lahtivõetud kujul

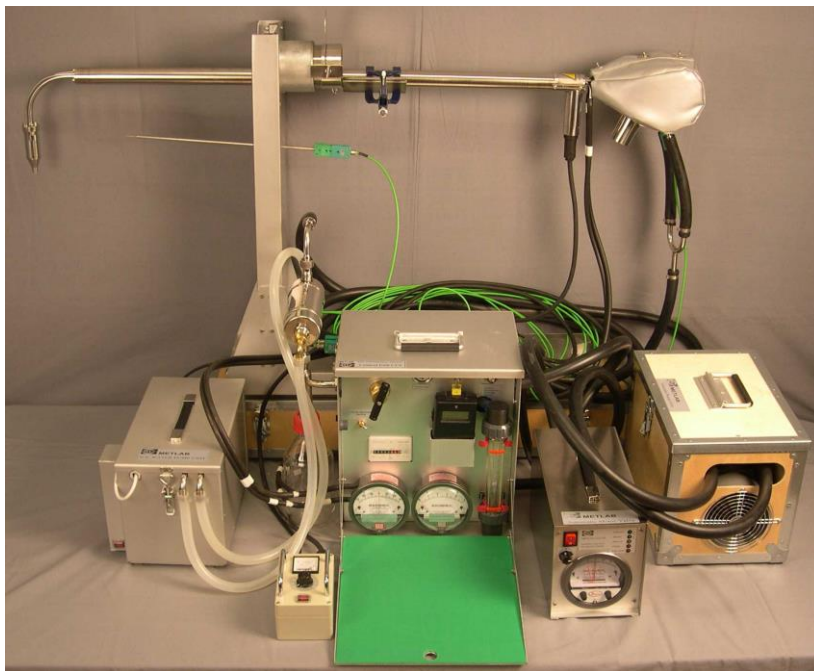


Joonis 3.4 Filter läbimõõduga 142 mm

Juhtimisseade koosneb:

- alumiiniumist valmistatud mõõtemoodulist, mis sisaldab:
 - gaasiarvesti koormusega kuni $6 \text{ m}^3/\text{h}$, sisseehitatud kuiva gaasi arvesti on mõõtesüsteemi viimane komponent;
 - võetud proovi voolu mõõtmiseks kasutatakse rotameetrit (maksimaalne väärtus $11 \text{ m}^3/\text{h}$);
 - reguleerklapi andur või nullrõhumõõtur ($120 \pm 60 \text{ Pa}$), mis mõõdab düüsi nullrõhu staatilise rõhu erinevust = sisseehitatud ja välise staatilise rõhu vahet, saadakse isokineetiline proov saadakse voolu seadmisega $\Delta p=0$ vooluhulga reguleerimisventiili abil;

- vooluhulga reguleerimisventiil, mida kasutatakse voolu käsitsi juhtimiseks, nullrõhu düüsi kasutamisel tuleb voolu reguleerida nii, et andur oleks pidevalt nullis;
 - staatilise rõhu manomeeter (0...5 kPa) mõõdab düüsi välist staatilist rõhku = toru staatiline rõhk = baromeetrilise rõhu suhtes;
 - vaakumõõtur (0...-1 bar) mõõdab staatilist rõhku ventiili ees;
 - gaasi niiskusesisalduse arvutamiseks kasutatakse kuivatuskoloni, kuhu asetatakse silikageel võrkkottidesse ja mis kaalutakse enne ja pärast igaat proovivõtmist, maksimaalne silikageeli kogus on 2 kg, kasutatakse 2 kotti igaüks 1 kg;
 - termomeetri ja temperatuuri valimise regulaatorit kasutatakse termomeetri temperatuuri seadmiseks (gaasiarvesti, gaasitemperatuur juhtploki sisselaskeava juures, filtri korpus, väljalaskegaasi temperatuur, välistemperatuur);
- 1 liitrised kondensaadi kogumispudelid;
 - vaakumpump - mudel GAST, võimsusega 115 V.



Joonis 3.5 Seade on täielikult kokku pandud [11].



Joonis 3.6 Mõõtühik ja ühendused

Ühendusplokk koosneb:

- võimsusregulaatorit kasutatakse sondi kütteseadme käsitsi reguleerimiseks, need juhitudavad filtri korpuse temperatuurinäitudest ja suurendavad või vähendavad seetõttu sondi küttevõimsust;
- 15 m pikkune vaakumvoolik transpordib proovi voolu filtrist mõõteblokki;
- elektrikaablid, veekindlad, 15 m pikad;
- 15 m pikkused termopaarijuhtmed ühendavad filtri korpuse termopaari mõõtemooduliga.

Vastastikuste ühenduste näide on toodud Joonistel 3.6 ja 3.7.

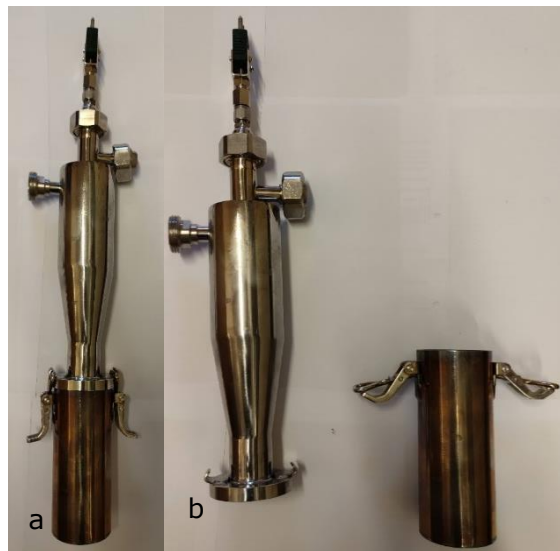


Joonis 3.7 Ühendused sondiga

Seadme lisavarustus on tsüklon proovide võtmiseks tolmu- ja gaasivoolust, mille tolmusisaldus on üle 3000 mg (vt Joonis 3.8). See tsüklon kuulub proovivõtuüksusesse. Valmistatud roostevabast terasest. Proovivõtutsüklon ei kuulu ühegi proovivõtustandardi hulka. Selle töö eesmärk on analüüsida selle seadme kasutamise otstarbekust ISO 9096 standardi "Statsionaarsete allikate heitkogused - tahkete osakeste massikontsentratsiooni käsitsi määramine" põhjal.

Tsüklonit kasutatakse tolmu kontsentratsiooni määramiseks puhastusseadmete (tahkete soojuskandjajaamade elektrifiltrite sadestis) ees.

Tsüklonite efektiivsus (eriti väiksemate osakeste puhul) sõltub suuresti proovi voolukiirusest. Tolmu- ja gaasivoolu soovitatav läbilaskevõime on vahemikus 2...3 m³/h. Katseaeg sõltub tsüklonmahuti mahutavusest ja filtrite mahust.



Joonis 3.8 Tolmuproovide võtmise tsüklon (a - kokkupandud, b - lahti võetud).

Tsükloni asukoht proovivõtmisel on sondi tagumine osa (vt Joonis 3.9); pärast tsüklonit tuleb ühendada filtrid tolmu- ja gaasivoolu jääktolmusisalduse püüdmiseks.

Tsüklon on valmistatud roostevabast terasest ja koosneb kahest osast: tsüklon ise ja kokkupandav osa. Tsükloni kaal on 2160 g. Kogumisosa maht on 500 ml. Enne proovide võtmist tsüklon pestakse, kuivatatakse ja kaalutakse.

Tsükloni kaitsmiseks kasutatakse ümbrist, nagu kassetfiltrit (vt Joonis 3.10). Külmade ilmastikutingimuste korral tuleb tsüklonit kuumutada tööstusliku fööniga, et vältida aurude kondenseerumist ja säilitada optimaalne gaasivoolu temperatuur tsüklonile järgnevale filtritele.



Joonis 3.9 Tsükloni asukoht sondil



Joonis 3.10 Tsükloni kest

Analüüsimaaks proovivõtu võimalust vastavalt standardile ISO 9096 "Statsionaarsete allikate heitkogused - Tahkete osakeste massikontsentratsiooni käsitsi määramine", töötati välja proovivõtumeetod ja koguti teavet KKT Oil OÜ proovivõtmise tulemustest.

3.1.2 Gaasianalüsaator TESTO 350

Testo 350 gaasianalüsaator on professionaalseks kasutamiseks mõeldud kaasaskantav suitsugaasianalüsaator (vt Joonis 3.11). Seade koosneb juhtmoodulist ja analüsaatorist.

Seade on mõeldud järgmiste valdkondade ülesannete lahendamiseks:

- tööstuslike ahjusüsteemide hooldus või reguleerimine (töötlemisettevõtted ja elektrijaamad);

- heitmete kontroll ja heitgaaside heitkoguste ametlikult kehtestatud standardite järgimise kontrollimine;
- tööstuslike katlapõletite hooldus või kasutuselevõtt;
- gaasiturbiinide või statsionaarsete tööstuslike mootorite mõõtmised [12].

Gaasianalüsaator on varustatud järgmiste tabelis 3.1 loetletud anduritega.

Tabel 3.1 Gaasianalüsaatori andurid [12].

Mõõteparameeter	Diapasoon	Täpsus	Anduri tüüp
O ₂	0...25 vol. %	0,01 vol. %	elektromehhaaniline
CO	0...10000 ppm	1 ppm	elektromehhaaniline
NO	0...4000 ppm	0,1 ppm	elektromehhaaniline
NO ₂	0...500 ppm	0,1 ppm	elektromehhaaniline
SO ₂	0...5000 ppm	1 ppm	elektromehhaaniline
H ₂ S	0...300 ppm	0,1 ppm	elektromehhaaniline
CO ₂	0...50 vol. %	0,01 vol. %	infrapunane



Joonis 3.11 Gaasianalüsaator Testo 350 koos sondiga

Seda seadet kasutatakse tolmu- ja gaasivoolust tolmu proovide võtmisel suitsugaasi koostise määramiseks. Komponentide koostis on vajalik tolmu kontsentratsiooni arvutamiseks heitgaasides või õigemini hapnikusisalduse määramiseks. Hapnik on tolmu kontsentratsiooni arvutamisel väga oluline, kuna tulemus saadakse, arvutades ümber normaliseeritud hapnikusisalduse 6 vol. %.

Seadet kalibreeritakse üks kord aastas (tootja poolt) ja spetsialiseerunud töötajad kontrollivad laboris seadet kord kuus kalibreerimisgaasiseadega.

Gaasianalüsaatorit kasutatakse standardis EVS-EN 15259 ja seadme eksploatatsiooninstruktsioonis täpsustatud tingimustel.

Proovide võtmisel on vaja teada ka torujuhtme tolmu ja gaasi voolu täpset kiirust. Nendeks eesmärkideks kasutatakse Testo 440 dp voolukiiruse testrit. Instrumendi lühikirjeldus on esitatud järgmises osas.

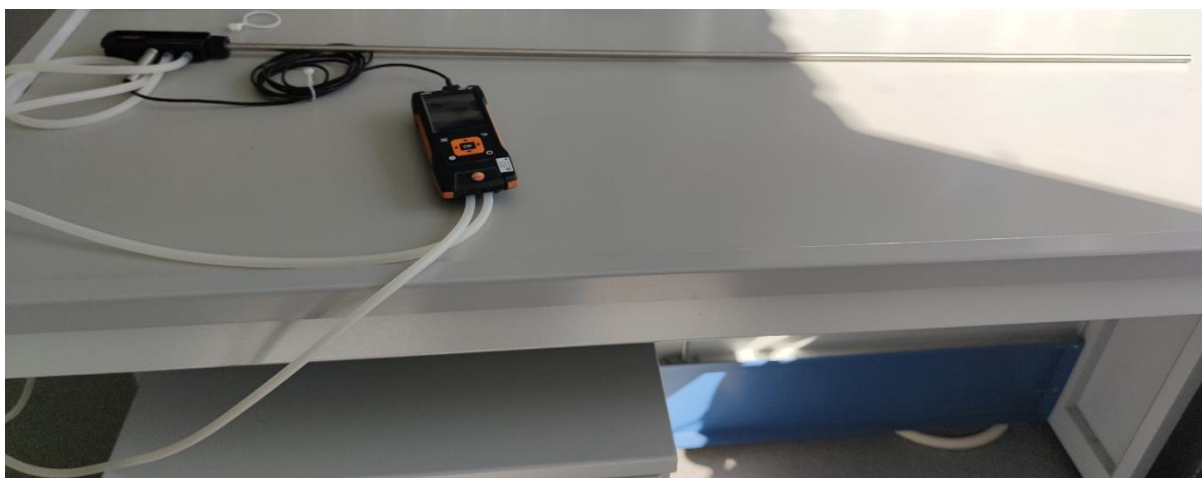
3.1.3 Voolukiiruse mõõtevahend TESTO 440 dp

Testo 440 dp mõõtevahendit kasutatakse temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse, õhukiiruse, absoluutrõhu ja rõhuerinevuste mõõtmiseks. Selles töös võetakse arvesse ja rakendatakse ainult rõhuerinevuste näitu. Lisaks seadmele on ka 1000 mm pikkune Pito toru.

Seade on näidatud Joonisel 3.12, sond on Pitot toru Joonisel 3.13.



Joonis 3.12 Testo 440 dp voolukiiruse mõõtevahend



Joonis 3.13 Pitoti toru ja Testo 440 dp

Seadet võivad kasutada ainult kvalifitseeritud laboritöötajad tingimustes, mis on määratletud standardis EVS-EN 15259, ISO 10780 ja seadme kasutusjuhendis.

Pärast tolmu- ja gaasivoolust tolmu proovivõtmise protsessis osalevate peamiste instrumentide ja nende parameetrite tingimuste tundmaõppimist kirjeldame tolmu kontsentratsiooni gravimeetriliselt määramise meetodi põhieegleid.

3.2 Määramismeetod

3.2.1 Ettevalmistus mõõtmisteks

3.2.1.1 Mõõtemooduli ettevalmistamine

Silikageeli kasutatakse seadme tootjalt.

Täidetakse kuivatuskolonn, kuhu pannakse kaks võrkkotti. Iga kott sisaldab silikageeli kaaluga 1 kg, eelnevalt kaalutud. Ränigeeli kasutatakse niiskuse imamiseks tolmu- ja gaasivoolust.

Mõõtemooduli gaasiarvestit kontrollitakse lisaks gaasiarvesti abil, nagu on näidatud Joonisel 3.14. Gaasimõõtureid kontrollitakse suruõhuga. Ühenduste tihedust kontrollitakse seebiveega. Vooluhulka reguleeritakse stopperiga ja see on umbes 1 m³/h.



Joonis 3.14 Mõõtemooduli gaasiarvesti kontrollimine

Enne kontrolli registreeritakse mõõtepaneeli gaasimõõturite ja referentgaasimõõturi algnäidud kontrolliprotokollis. Pärast 30-minutilise katsetamist suruõhk lülitatakse välja ja valmis arvestinäidud registreeritakse protokollis. Arvutatakse suruõhu maht ja seejärel - koefitsient. Koefitsiendi arvutamiseks jagatakse mõõtemooduli gaasikella

(gaasimõõtur) kaudu pumbatava suruõhu math, referent gaasiarvesti kaudu pumbatud suruõhu mahuga. Koefitsient peaks olema lähedane mõõtemooduli kalibreerimistunnistuses toodud koefitsiendile (vt L3.1). Gaasiarvesti kontrollimise protokoll lisas L3.2.

3.2.1.2 Filtrite ettevalmistamine

Asetage üks filter ettevaatlikult kassetti ja kassett saatekonteinerisse. Pange avanenud filtrikonteinerid 2 tunniks sisse

Pange avatud filtrimahutid 2 tunniks kuivatuskappi temperatuuril $180\pm 5^{\circ}\text{C}$. Jahutage mahutid eksikaatoris toatemperatuurini. Kaaluge iga filter eraldi, alustades testfiltrist. Kaalumistulemused registreeritakse kaalumisprotokollis. Pange iga saatekonteiner kilekotti, märkige kaalumise kuupäev, filtri kaal ja allkiri.

Ühte saatekonteinerit tuleb kogu aeg laboris hoida ja seda kasutada kaalumise täpsuse kontrollimiseks testerina. Seda filtrit nimetatakse testfiltriks.

Enne töö alustamist pakkige vajalik arv eelnevalt kaalutud filtreid. Iga filtri saatekonteiner sisaldab paari kassettfiltrit ja see peab olema suletud kilekottides.

3.2.1.3 Подготовка циклона для отбора проб

Enne iga proovivõtmist tsüklon pestakse hoolikalt, kuivatatakse ja kaalutakse. Kaalumistulemused registreeritakse kaalumisaruanDES.

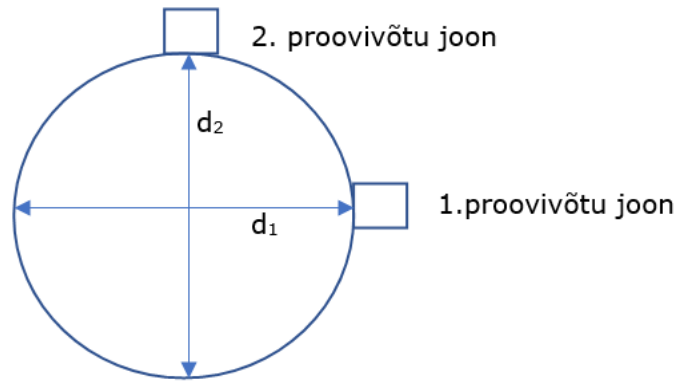
3.2.2 Определние характеристик газового потока

Gaasivoolu kiiruse määramiseks on soovitav võtta tolmu proovid gaasikanali punktidest, mida mööda gaasikanal purunes. Seda tehakse enne tööd.

3.2.2.1 Proovivõtutasandi määramine

Proovivõtutasand määratakse vastavalt punktis 2.1.2.5 täpsustatud ISO 9096 standardi tingimustele.

Eeldatakse, et torujuhtme läbimõõt on 1,02 m. Selle töö tabeli 2.2 kohaselt peaks proovivõtuliinide minimaalne arv olema 2, st torujuhtme kaks läbimõõtu. Seda saab skemaatiliselt kujutada järgmiselt:



Joonis 3.15 Proovivõtu joonide proovivõtutasandite paigutus

Järgmisena määrake proovivõtu punktide arv vastavalt üldreeglile ja tangentsiaalile.

3.2.2.2 Proovivõtukohtade arvu kindlaksmääramine

Proovivõtukohtade arv määratakse vastavalt käesoleva töö punktides 2.1.3.6 ja 2.1.3.7 täpsustatud standardi ISO 9096 tingimustele. Kasutatakse mõlemat reeglit ja võrreldi tulemusi.

- 1) Proovivõtukohtade määramine ümmarguste gaasikanalite üldreegli järgi: vastavalt tabeli 2.3 punktile 2.1.3.5.3 on joonel minimaalne proovivõtukohtade arv 7, võttes arvesse torujuhtme läbimõõtu 1,016 m. võttes arvesse kahte proovivõtutasandit, on meil kogu tasapinnal 13 proovivõtupunkti.
- 2) Ümarate gaasikanalite tangentsireegel: vastavalt tabeli 2.4 punktile 2.1.3.5.4 on liinil minimaalne proovivõtukohtade arv 6, võttes arvesse torujuhtme läbimõõtu 1,016 m. võttes arvesse kahte proovivõtutasandit, on meil kogu tasapinnal 12 proovivõtupunkti.

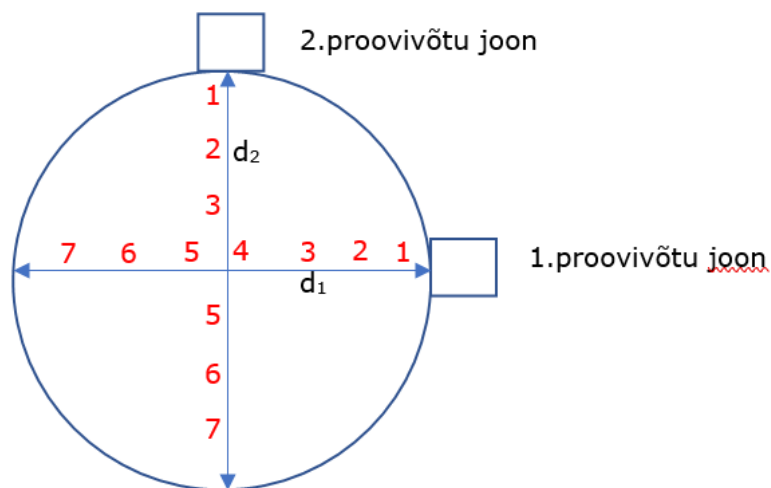
Mõlemate reeglite järgi arvutatud kaugus kanali seinast on toodud tabelis 3.2.

Tabel 3.2 Proovivõtupunktid

Punkti nr	K, %		Vahemaa, m	
	Üldreeglid	Tangentsireegel	Üldreeglid	Tangentsireegel
1	4,0	4,4	0,04	0,04
2	13,0	14,6	0,13	0,15
3	26,0	29,6	0,26	0,30
4	50,0	70,4	0,51	0,72
5	74,0	85,4	0,75	0,87
6	86,7	95,6	0,88	0,97
7	96,0	-	0,98	

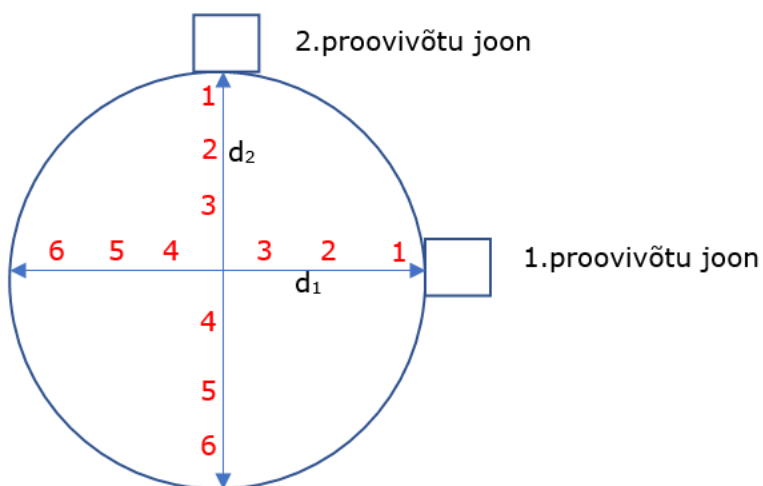
Vastavalt saadud kaugustele on vaja proovivõtutasandid jagada punktideks ja need torujuhtme skeemil õigesti tuvastada. Seda saab skemaatiliselt näidata järgmiselt:

- a) üldreegli kohaselt on valikupunktid tähistatud punaste numbritega :



Joonis 3.16 Proovi võtmise punktide kujutis üldreegli alusel

b) vastavalt tangentsiaalsele reeglile:



Joonis 3.17 Proovi võtmise punktide kujutis vastavalt tangentsiaalreeglile

Kuna tangentsiaalreegli järgi saime valikupunkte vähem, siis kasutatakse selle reegli järgi saadud vahemaid.

Tolmuproovivõtturite, Testo 350 sondi ja voolukiiruse Pito-toru proovivõtupunktide vahede säilitamiseks märkige need kaugused enne töö alustamist püsiva markeriga.

Proovivõtuprotsessi ajal on vaja sondid teatud aja möödudes viia vastavatesse proovivõtukohtadesse. Kui ühel proovivõtuliinil võtab proovide võtmine aega 30 minutit, siis iga proovivõtupunkti peale kulub aega 5 minutit.

Sellela viiakse proovivõtmisprotsessi ajal kogu voolu sektsiooni võimalikult kogu proovivõtutasandi kohta keskmine proov.

3.3 Proovide võtmine

Tolmuproove tuleks võtta isokineetiliselt. Vastandjuhul tolmu kontsentratsiooni tulemus on ebausaldusväärne. Proovide võtmine, kus proovivõtutoru düüsisse v_n

siseneva gaasi kiirus ja suund langevad kokku gaasikanali gaasikiirusega proovivõtukohas v_s . Kiiruse suhe, mis väljendatud v_n/v_s suhes, iseloomustab kõrvalekallet isokineetilise proovivõtmise tingimusest. Tolmuproov v_n/v_s suhtega 0,95–1,15 loetakse isokineetiliselt võetud [10].

Enne mõõtmisi võetakse nullproov.

3.3.1 Nullproov

Nullproov – kontrollproov, mis on võetud samast kohast ja samamoodi nagu seeria tavalised proovid, välja arvatult see, et kontrollproovi kogumise ajal ei tule sisse tõelist tolmu- ega gaasivoogu. Proovivõtumeetodit järgides võetakse nullproov ilma imemisseadet käivitamata, hoides düüsi gaasikanalis voolusuuna suhtes 180 ° nurga all 15 minutit.

See võimaldab hinnata dispersiooni mõõtmistulemusi, mis on seotud kogu nullilähedase tolmu kontsentratsiooni määramisega ning filtrite ja loputuslahuste saaste tõttu kohapeal töötleda, transportida, ladustada ning laboriuuringute ajal töötlemist ja kaalumist.

See võimaldab hinnata dispersiooni mõõtmistulemustes, mis on seotud kogu nullilähedase tolmu kontsentratsiooni määramise protseduuriga ning filtrite ja loputuslahuste saastumise tõttu kohapeal töötlemise, transportimise, ladustamise, laboratooriumi ajal töötlemist ja kaalumist.

Valimi nullväärtus esitatakse mg/m^3 ja arvutamiseks kasutatakse mõõteseerias keskmist proovivõttu.

3.3.2 Mõõtmiste läbiviimine

Proovide võtmiseks aega kulub kokku 1 tund, st ühe jooni jaoks 30 minutit 1-punktile 5 minutit, juhul kui tehnoloogiline režiim toetab neid ajalisi proovivõttetoiminguid.

1. Teostatakse STL Combi Dust Sampler seadme kokkupanek juhiste järgi.
2. Asetatakse juhtseadme konteiner lauale sobivale kaugusele vooavadest. Vastastikustest ühendustest 15 m kaugusele.
3. Asetatakse konteineris asuv pump põrandale ja ühendatakse kaks vaakumtoru juhtseadmega (ava juhtseadme paremal küljel).
4. Paigaldatakse kondensaadi kogumispudel.
5. Pannakse kokku tahkete ainete proovivõttur.
6. Ühendatakse vaakumtoru, topelttoru, termopaarjuhtmed ja elektrijuhtmed juhtploki ja proovivõtuseadmega. Ühendatakse juhtplokk proovivõteploki.

7. Pump ühendatakse vooluvõrguga.
8. Käivitatakse pump, sulgedes vooluregulaator ja kontrollides ühenduste tihedust.
9. Registreeritakse algusaeg, seejärel avatakse vooluregulaator ja reguleerides voolu saadakse isokineetiline proovivõtt kuni nullmõõtuuri näidik peatub asetusel null.
10. Fikseerige temperatuur gaasiarvestis, gaasi temperatuuri ja filtrihoidiku temperatuuri torus, vaakumõõtuuri ja toru staatilise rõhkväärtuse.
11. Teatud aja möödudes viiakse proovivõtja uude asukohta ja aeg registreeritakse uuesti - gaasimõõtuuri näidud, temperatuur ja rõhk. Kõigi proovivõtukohtade proovivõtuajad peaksid olema ühesugused.
12. Vajadusel reguleeritakse vooluhulka nullrõhumõõturiga.
13. Pärast proovide võtmist registreeritakse lõplikud temperatuurid ja rõhud. Pannakse kirja aeg, suletakse vooluregulaator ja märgitakse ära gaasiarvesti näidud. Kõik proovivõtmise käigus saadud andmed registreeritakse tolmu proovivõtmise protokollis.
14. Eemaldatakse sond, asetatakse see alusele. Kondensaadi puhastamiseks vaakumtorust eraldatakse vaakumvoolik proovivõtturist ja avatakse vooluregulaator täielikult.
15. Mõõdetakse kondensaadi kogus, kaalutakse silikageel.

Peale proovide võtmist:

- 1) kasutatud kotid silikageeliga asetatakse kuivatusahju temperatuuril $135 \pm 5^\circ\text{C}$ vähemalt 12 tunniks;
- 2) peale tolmu proovide võtmist kuivatatakse filter kuivatuskapis temperatuuril $180 \pm 5^\circ\text{C}$ filtrile sadestunud tolmu mass määratakse filtri kohta, lahutades tühja filtri mass filtrist koos kogutud prooviga.

4 ARVUTUSLIK OSA

4.1 Tolmugaasivoo omadused

Torujuhtme läbimõõt, millest tolmu gaasivoost tolmuproovid võeti, on 1,02 m, torujuhtme pindala on vastavalt $0,82 \text{ m}^2$.

Tolmu- ja gaasivoo testimiseks mõeldud düüsi läbimõõt on 0,0082 m, pindala on $0,0000527834 \text{ m}^2$.

Proovi võetud tolmu- ja gaasivoo omadused on esitatud tabelis 4.1:

Tabel 4.1 Tolmugaasivoolu omadused

Atmosfääri rõhk, kPa	Tolmugaasivoo temperatuur proovivõtukohas, °C	Tolmugaasivoo temperatuur piesomeetris, °C	Vookiirus*, m/s	Hapniku kontsentratsioon**, O ₂ vol %	Proovide võtmise aeg***, min	Piesomeetri näitajad, m ³ /h
101,2	176	1,3	30,00	8,1	7	4
100,4	160	6,0	15,83	6,0	6	5
96,9	158	7,0	9,50	7,0	9	5
102,3	174	9,8	11,00	7,0	10	3

*mõõdetud Testo 440 dp-ga, kalibreerimistunnistus lisas L4.1.

**mõõdetud Testo 350-ga, kalibreerimistunnistus lisas L4.2.

***tehnoloogilise režiimi tõttu ei olnud võimalik proovide võtmist pikendada määratud ajaks.

Tolmu gaasivoo proovide mahud on äratoodud tabelis 4.2. Normaalses tingimustes V₀ gaasiproovi mahu ümberarvutamisel kasutati valemeid (4.1):

$$V_0 = V \cdot \frac{273,15}{273,15 + t_g} \cdot \frac{p_{at}}{101,325} \quad (4.1)$$

Kus

t_g – gaasi temperatuur gaasiarvestis, °C;

p_{at} – atmosfääri rõhk, kPa.

Gaasitemperatuur gaasiarvestis ja atmosfäärirõhk proovide võtmise ajal on toodud tabelis 4.1.

Gaasi V kuivmahu arvutamiseks kasutasime mõõtemooduli gaasiarvesti näidet enne ja pärast proovivõtmist, mis on ära toodud tabelis 4.1. Gaasimaht arvutati gaasiarvesti näitude erinevuse vahel enne ja pärast proovide võtmist: V = V₂ - V₁

Tabel 4.2 Gaasiarvesti näidud, gaasi maht töötingimustes ja normaalses tingimustes

Gaasiarvesti näidud, m ³		Gaasi maht, V, m ³	Proovigaasi kuiv maht normaltingimustes V ₀ , nm ³
enne, V ₁	pärast, V ₂		
140,446	140,875	0,426	0,429
141,525	142,025	0,484	0,500
143,040	143,765	0,676	0,725
152,469	152,927	0,446	0,458

4.2 Isokineetilised tingimused

Tuleb hinnata, kas valik viidi läbi isokineetilistes tingimustes. Tuleb märkida, et tsükloni kasutamisel võivad valikutingimused muutuda seadme struktuuri tõttu.

Tsükloni läbimisel muutuvad voolukiirus ja -trajektoorid ning tingimused filtreerimisel läbi filtrite.

Isokineetilistes tingimustes tuleks proovivõetusüsteemi voolukiirust arvutada selliselt, et proovi võetud tolmu ja gaasi voolukiirus düüsi sisselaskeava juures v_n oleks võrdne väljuva tolmu ja gaasi voolu kiirusega proovivõtukohas v_s , st:

$$v_n = v_s \quad (4.2)$$

Voolukiirus düüsis q_v normaaltingimustes leitakse valemiga (4.3):

$$q_v = A_n v_n = \frac{\pi D_n^2}{4} v_n, \quad (4.3)$$

Kus

A_n – düüsi piirkond;

D_n – düüsi diameeter;

v_n – tolmu- ja gaasivoolu kiirus düüsi sisselaskeava juures.

Arvutamine viiakse läbi kuiva tolmu- ja gaasivoolu osas.

Vastavalt võrrandi 4.2 voolukiirust düüsis saab leida järgmise valemi abil:

$$q_v = A_n v_s \quad (4.4)$$

Kuna proovivõtukiiirust mõõdetakse tingimustes (temperatuur, rõhk ja niiskusesisaldus), mis tavaliselt erinevad lõõri tegelikest tingimustest, tuleb q_v korrigeerida võrrandi 4.5 abil:

$$q_m = q_{v,a} \frac{(100-H_a)T_m p_a}{(100-H_m)T_a p_m}, \quad (4.5)$$

Kus

q_m – mõõdetud mahuline vool;

$q_{v,a}$ – mahu voolukiirus kohandati proovivõtukohas tegelike tingimustega;

H_m ja H_a – niiskuse mahuosa tolmu- ja gaasivoolus voolu mõõtmise tingimustes (m) ja tegeliktingimustes (a), % vol;

T_m ja T_a – mõõdetud (m) ja reaalne (a) tolmu- ja gaasivoolu temperatuur, K, T_a vastuvõtt 273,2 K;

p_m ja p_a – täielikud mõõtmised (m) ja reaalne (a) tolmu- ja gaasivoolu rõhk, kPa, p_a vastuvõtt 101,325 kPa.

Andmed kondenseerunud niiskuse arvutamiseks on toodud allolevas tabelis:

Kondensaat-mahuti tühikaal, g	Kondensaat-mahuti kaal sisuga, g	Silika-geeli kaal, g	Niiskusega imbunud silikageeli kaal, g	Kondensaadi kaal, m_{H_2O} , g	Kondensaadi maht, V_{H_2O} , m ³	Kondensaadi maht, $V_{H_2O\%}$, % vol.
33,0726	204,2178	2000	2200	191,145 2	0,24	35,67
33,0900	156,4405	2000	2100	142,350 5	0,18	26,16
33,1175	231,9900	2000	3400	230,872 5	0,29	28,38
33,1097	111,1047	2000	1900	94,9950	0,12	20,52

Niiskuse kogunemise kogus V_{H_2O} on väljaarvutatud valemiga:

$$V_{H_2O} = \frac{22,4 \cdot m_{H_2O} \cdot 0,001}{18} \quad (4.6)$$

Kus

22,4 – molaarne kogus, l/mol;

m_{H_2O} – kondensaadi niiskuse kaal, g;

18 – vee molaarmass, g/mol;

0,001 – math liitrides, m³.

Võrreldakse arvutust düüsi vooluhulga q_v ja katse käigus saadud q_{va} , et teha kindlaks, kas väärtused vastavad $\pm 10\%$, täpsusele, st ISO 9096 standardis määratletud isokineetilistele proovivõtutingimustele.

Isokineetilise väljaarvutamise algandmed on ära toodud tabelis 4.3.

Tabel 4.3 Isokineetilisevoo iseärasuste väljaarvestamise algandmed

v_s , m/s	q_v , m ³ /s	q_{m_r} , m ³ /s	H_{m_r} , vol. %	H_{a_r} , vol. %	T_{m_r} , °C	p_{m_r} , kPa	q_{va_r} , nm ³ /s	Piesomeetri näitajad, m ³ /h	q_v/q_{va}
30,00	0,00158	0,00111	35,67	35,67	176	101,2	0,00067	4	2,35
15,83	0,00084	0,00139	26,16	26,16	160	100,4	0,00087	5	0,96
9,50	0,00050	0,00139	28,38	28,38	158	96,9	0,00084	5	0,60
11,00	0,00058	0,00083	20,52	20,52	174	102,3	0,00051	3	1,13

4.3 Tolmu kontsentratsioon

Filtrite ja tsükloni algandmed tolmu kontsentratsiooni arvutamiseks on esitatud tabelis 4.3.

Tabel 4.4 Algandmed tolmumassi arvutamiseks

Filtride mass, g		Tolmu üldmass filtrites, m_f , g	Tsükloni mass, g		Tolmu üldmass tsüklonis m_{ts_r} , g	Tolmu üldmass, m_{tolm_r} , g
alg, m_1	tolmuga, m_2		alg, m_{ts1}	tolmuga, m_{ts2}		
147,8106	155,0219	7,2113	2160	2210,80	50,8	58,0113
146,4845	148,2412	1,7567	2160	2169,47	9,47	11,2263
147,8113	155,4741	7,6628	2160	2194,18	34,18	41,8399

146,4970	150,1339	3,6369	2160	2196,18	36,18	39,8140
----------	----------	--------	------	---------	-------	----------------

Üldmass filtrile on arvestatud tühja filtri ja tolmuga filtri erinevusega: $m=m_2-m_1$

Üldmass tsüklonis on arvestatud tühja tsükloni ja tolmuga tsükloni erinevusega:

$$m_{ts}=m_{ts2}-m_{ts1}$$

Tolmu üldmass summeeritakse tolmuga filtris ja tolmuga tsüklonis: $m_{tolm}=m+m_{ts}$

Tulemused tolmu sisalduse kontsentreerimise kohta enne puhastusseadmeid tolmu- ja gaasivoos on esitatud tabelis 4.5.

Tabel 4.5 Tolmu kontsentreerimise tulemused

Gaasiproovi maht (kuiv), V, m ³	Gaasi kuivproovi maht tavatingimustes, V ₀ , nm ³	Tolmusisaldus kuivgaaside torudes tavatingimustes, c, g/nm ³	Tolmusisaldus kuivgaaside torudes sisaldusega O ₂ 6%vol,g/nm ³
0,429	0,426	136,04	158,35*
0,500	0,484	23,16	23,16
0,725	0,676	61,88	66,33
0,458	0,446	89,23	95,65

*Tolmusisalduse tähendust 158,35 g/nm³ ei ole vaja võtta kui statistikat, kuna see oli esimane mõõtmine tsükloniga.

Iga testiga arvestatakse:

- 1) valitud maht V kuiv, vähendatud tavapärastesse tingimustesse;
- 2) filtrile ja tsüklonile ning pesemisel filtri ülesvoolu kogutud tolmu mass m;
- 3) tolmu massikontsentratsioon c valemiga 4.7, g/nm³:

$$c = \frac{m}{V} \quad (4.7)$$

Lahjendamise ja niiskuse mõjude korrigeerimiseks tuleb tahkete ainete kontsentratsioon väljendada kindlaksmääratud O₂ sisalduse suhtes. Nende komponentide kontsentratsiooni proovigaasi voos mõõdetakse gaasianalüsaatoriga Testo 350. O₂ parandustegurid arvutatakse järgmise valemi abil:

$$f_{O_2} = \frac{21-V_{ref,O_2}}{21-V_{O_2}}, \quad (4.8)$$

Kus

V_{ref,O_2} – hapniku maht kehtestatud tingimustel, mahuprotsent kasutatud 6 vol. %;

V_{O_2} – Testo 350 gaasianalüsaatori abil mõõdetud hapniku maht, vol. %.

Elektrostaatilise sadestaja töö efektiivsuse määramiseks on vajalik, et tolmu kontsentratsiooni väärtused oleksid antud ka pärast elektrostaatilist sadet. Need väärtused on esitatud tabelis 4.6 ilma arvutusteta, ainult informatsiooniks.

Tabel 4.6 Tolmu kontsentratsioon suitsugaasis pärast elektrifiltrit

Proovi gaasimaht (kuiv), V, m ³	Kuiva proovi gaasimaht normaltingimustes, V ₀ , nm ³	Tolmu sisaldus gaasikanalis tavalistes tingimustes kuiva gaasi korral, c, g/m ³	Tolmusisaldus kuivgaaside torudes sisaldusega normaltingimustes, O ₂ 6 vol %, g/nm ³
2,6180	2,5590	0,243	0,182
2,6192	2,5657	0,242	0,182

Vastavalt PVT heitkoguste kompleksloale ei tohiks heitvee tolmusisaldus ületada 200 mg/nm³. Saadud tolmu sisaldus suitsugaaside heitkogustes on normivahemikus 182 mg/nm³.

Elektrifiltri efektiivsus η arvutatakse protsentides järgmise valemi järgi:

$$\eta = \frac{c_{sisse} - c_{välis}}{c_{sisse}} \cdot 100 \quad (4.9)$$

Kus

c_{sisse} - tolmu sisaldus torus enne puhastamist normaalseks kuivaks gaasiks O₂ sisaldusega 6 vol. %, g/nm³;

$c_{välis}$ - tolmu sisaldus lõõris enne puhastamist normaalseks kuivaks gaasiks O₂ sisaldusega 6 vol. %, g/nm³.

Elektrifiltri efektiivsus on 99%:

$$\eta = \frac{23,16 - 0,182}{23,16} \cdot 100 = 99\%$$

Tehtud töö põhjal võib järeldada, et tolmu- ja gaasivoost proovide võtmiseks tuleks kasutada tsükloni, kui tolmu kontsentratsiooni voos üle 3000 mg/m³ kasutatakse ISO 9096 standardil põhineva meetodi abil. väljatöötamisel on proovipunktide proovivõtutasandi arvutamisel vaja rangelt järgida soovitusi, märkides sondidele saadud vahemaad, tehes valikuid ajutise järgimise nõudeid järgides, kaaludes ja saadud andmeid protokollis sisestades.

KOKKUVÕTE

Tolmu kontsentratsiooni määramine põlevkivi töötlemisettevõtete heitgaasides on üks keskkonda paisatavate heitgaaside kvaliteedikontrolli ülesannetest. Tolm on üks saastavaid tegureid.

Vastavalt PVT peaks tolmusisaldus püsima 40 kuni 200 mg/nm³ piires. See tähendab, et seadmed põlevkivikeemiatehaste tolmustest voogudest tolmu eemaldamiseks peavad töötama tõhusalt. Tolmukogumisseadmete tõhusust kontrollitakse tolmu kontsentratsiooni kontrolli osas enne ja peale seadme paigaldamist.

Üheks probleemiks on see, et tolmu sisaldus tolmustes voogudes on üsna kõrge juba enne tolmu puhastamisseadmete ja -filtrite paigaldamist. Kehtivad tolmu- ja gaasivoogude tolmu proovivõtmise standardid ISO 9096:2017 ja EVS-EN 13284-1:2017 käsitlevad filtrite kasutamist tolmu proovide võtmisel õhufiltreerimise teel. Selles töös käsitletakse nendel eesmärkidel tsüklonit.

Tsüklon võimaldab tabada tolmu kontsentratsiooni sisaldusega üle 3000 mg/m³, mis laiendab tolmu kogumise võimalusi tolmu kontsentratsiooni määramisel tööstuse tolmu- ja gaasivoogudes. Selle töö eesmärk oli uurida tsükloni kasutamist tolmu eemaldamisel tolmuasivoolust kasutades tahke soojuskandjaga põlevkivitööstuse standardit ISO 9096:2017.

Uuringu tulemused näitavad, et tsüklon on sobiv tolmu proovide võtmiseks nii tolmu- ja gaasivoogudest.

SUMMARY

Determination of the dust concentration in the emission gases of oil shale processing enterprises is one of the tasks of quality control of the emission gases emitted into the environment. Dust is one of the contaminating factors.

According to the best available technology, the dust content should be in the range of 40 to 200 mg/nm³. This means that equipment for removing dust from dusty streams of oil shale chemical companies must work efficiently. To control the efficiency of dust-collecting installations, dust concentrations in dust-containing streams are used before and after this equipment.

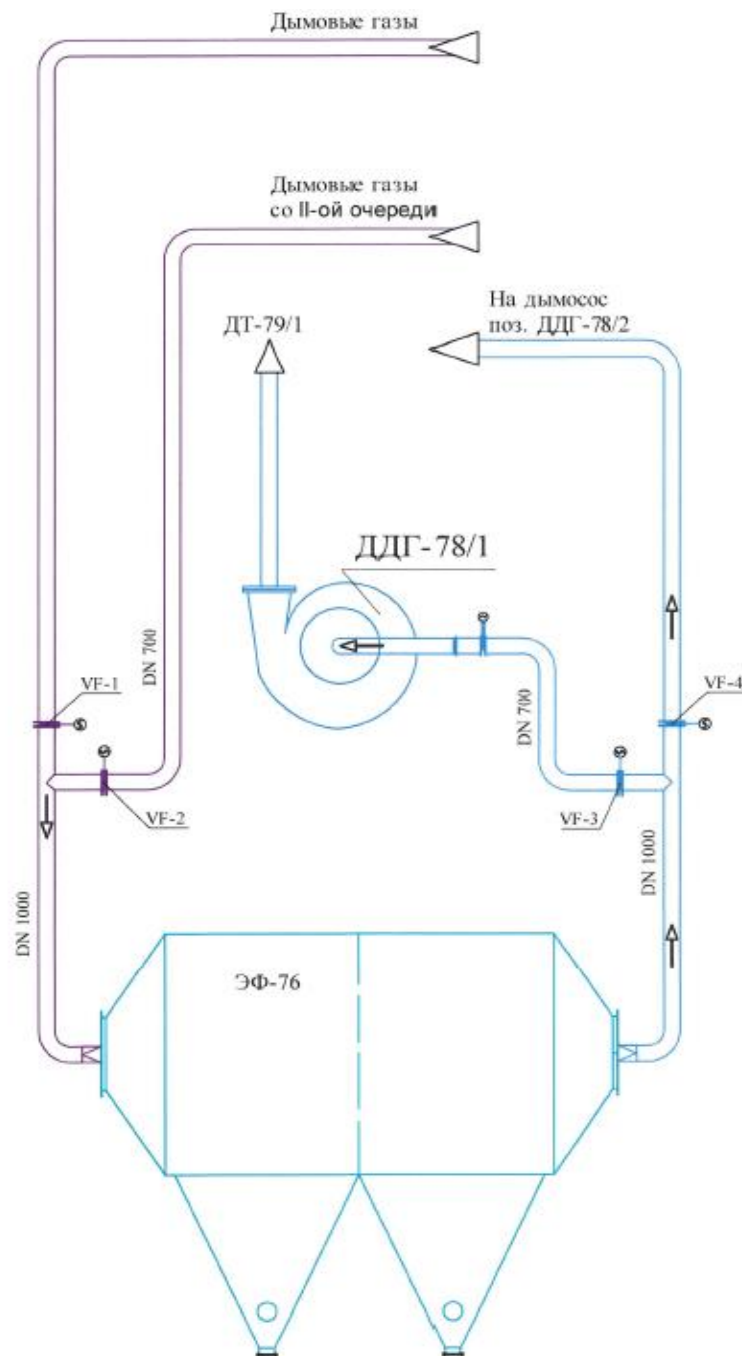
One of the problems is that the dust content in dust-containing streams is quite high before the dust-cleaning equipment and it is problematic to make selections by filters. The current standards for sampling dust from dust and gas streams of ISO 9096:2017 and EVS-EN 13284-1:2017, consider the use of filters when sampling dust by air filtration. In this paper, the cyclone is considered for these purposes.

The cyclone allows you to capture dust with a concentration of more than 3000 mg/m³, which allows expanding the possibilities of dust collection when determining the concentration of dust in dust and gas streams of production. The aim of this work was to study the use of a cyclone for the extraction of dust from dust and gas flow using the ISO 9096:2017 standard of the oil shale processing plant with a heat carrier.

The results of the study of this issue are satisfactory, which indicates that the cyclone is suitable for sampling dust with a high content of it in dust and gas streams.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. VKG AS. <https://www.vkg.ee/tehnoloogia/> (10.04.2021)
2. Smirnova A. Petroter tsehhi pürolüüsi osakonna tuhasoojusvaheti rekonstrueerimine: lõputöö. Kohtla-Järve, TTÜ Virumaa kolledž, 2012, lk. 13.
3. KKT Oil OÜ. <https://www.keemiatootus.ee/tootmine/> (10.04.2021)
4. Keskkonnaamet. <https://www.keskkonnaamet.ee/et/eesmargid-tegevused/kompleksload> (11.04.2021)
5. Enefit Energiatootmine AS. Keskkonnakompleksluba. https://www.envir.ee/sites/default/files/176540_6lit22stus.pdf (17.04.2021)
6. KKT Oil OÜ. Keskkonnakompleksluba. https://www.envir.ee/sites/default/files/171223_kivi6li_keemiatootsus.pdf (17.04.2021)
7. VKG Oil AS. Keskkonnakompleksluba. https://www.envir.ee/sites/default/files/198338_vkg_kiviter.pdf (17.04.2021)
8. Air quality - Measurement of stationary source emissions - Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report: EVS-EN 15259:2007. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2007.
9. Stationary source emissions - Determination of low range mass concentration of dust - Part 1: Manual gravimetric method: EVS-EN 13284-1:2017. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2017.
10. Stationary source emissions - Manual determination of mass concentration of particulate matter: ISO 9096:2017. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2017.
11. Metlab Miljö AB http://www.metlab.se/wp-content/uploads/2015/07/7fec6c_5cf074fd01dd41ea93b199cd9a1e33d7.jpg (18.04.2021)
12. Gaasialüsaatori Testo 350 instruksioon. Testo.





METLAB miljö AB
Laboratorium för Miljö- och Energiteknik



KALIBRERINGSBEVIS

utfärdat av ackrediterat laboratorium
CERTIFICATE issued by an Accredited Laboratory

Customer KKT OIL OÜ Turu 3 Kiviõli 43125, EESTI Reference: Marko Jäätma (Elke Sensor)	Calibration of flow meter Gas meter (bellow meter) in control unit Itron model G4 / Gallus S/n 127557	Certificate KPF-1722 Issued 2020-11-17 Page No. 1(3)
--	---	---

Calibration conditions

Date:	2020-11-16
Performed by:	Erik Berger
Laboratory:	METLAB, Enköping
Flow rates:	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 m ³ /h
Calibrated quantity:	gas flow rate at exit port of control unit, calculated as $\Delta V/\Delta t$, where ΔV = differential volume read on gas meter and Δt = sampling time.
Exit port:	hose connector, 14 mm in inner diameter
Temperature:	built-in thermocouple + temperature instrument Thermal S/n

Calibration was performed with the gas meter inside the *pressure side of the control unit*.

Results

True gas meter flow m ³ /h	Calcd. flow $\Delta V/\Delta t$ m ³ /h	Deviation		Correction (factor)	Calibrated gas meter m ³ /h	Uncertainty	
		m ³ /h	-			m ³ /h	%
0,984	1,024	0,040	4,1	0,961	0,984	0,012	1,2
1,972	2,042	0,070	3,5	0,966	1,972	0,024	1,2
2,972	3,043	0,071	2,4	0,977	2,972	0,036	1,2
3,968	4,039	0,071	1,8	0,982	3,968	0,048	1,2
4,979	5,042	0,063	1,3	0,988	4,979	0,060	1,2
6,003	6,040	0,037	0,6	0,994	6,003	0,072	1,2

Results apply only to the calibrated item in its current state at the time of calibration.

Details on results, methods, equipment and traceability are presented on pages 2-3.

Enköping, 2020-11-17
METLAB miljö AB

Erik Berger

The report has been checked and digitally signed by:
Erik Berger
Kalibreringsansvarig
Enköping
2020.11.18 10:21:42 +01'00'

The digitally signed PDF file represents the original report. All printouts are to be regarded as copies.
This report may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

METLAB miljö AB
Tel +46 (0)10 155 0560
www.metlab.se

Head Office
Fjärthundragatan 88,
745 31 Enköping, Sweden
info@metlab.se

Branch Office
Box 1487, 791 14 Falun
Nybrogatan 20 A, 791 72 Falun
falun@metlab.se

Branch Office
Box 24, 932 21 Skelleftehamn
Näsuddsvägen 10, 932 32 Skelleftehamn
skelleftehamn@metlab.se



Detailed results

Measurement conditions

Barometric pressure, P_{atm} kPa 100,6 100,6 100,6 100,6 100,6 100,6

Gas meter

Gas meter temperature, T_{meter} °C 21,0 21,1 21,2 21,3 21,4 21,7

Gas meter pressure, P_{meter} kPa 100,6 100,6 100,6 100,6 100,6 100,6

Displaced volume, read l 80,0 140,0 200,0 240,0 300,0 300,0

Sampling time min 4,69 4,11 3,94 3,57 3,57 2,98

Flow according to gas meter l/min 17,07 34,04 50,72 67,32 84,03 100,67

D:0 m³/h 1,024 2,042 3,043 4,039 5,042 6,040

Flow reference, LFE

Gas temperature at LFE °C LFE-1 LFE-1 LFE-1 LFE-1 LFE-1 LFE-1

Total pressure at LFE kPa 21,5 21,7 21,7 21,8 21,8 21,8

Flow through LFE l/min 100,6 100,5 100,5 100,5 100,5 100,4

Flow at T_{meter} and P_{meter} l/min 16,43 32,96 49,65 66,32 83,20 100,28

D:0 m³/h 16,40 32,87 49,53 66,14 82,99 100,05

Results

Flow according to rotameter* m³/h 1,2 2,4 3,5 4,7 5,7 6,7

Flow according to gas meter, q_{read} m³/h 1,024 2,042 3,043 4,039 5,042 6,040

Reference flow, q_{ref} m³/h 0,984 1,972 2,972 3,968 4,979 6,003

Difference $q_{read} - q_{ref}$ m³/h 0,040 0,070 0,071 0,071 0,063 0,037

Relative deviation % 4,1 3,5 2,4 1,8 1,3 0,6

Correction factor k - 0,961 0,966 0,977 0,982 0,988 0,994

Calibrated displaced volume l 76,9 135,2 195,3 235,8 296,3 298,1

Calibrated flow $k \cdot q_{read}$ m³/h 0,984 1,972 2,972 3,968 4,979 6,003

Measurement uncertainty at 95% confidence level (k=2)

Flow according to gas meter, q_{read} m³/h 0,003 0,004 0,005 0,006 0,010 0,009

Reference flow, q_{ref} m³/h 0,011 0,021 0,032 0,043 0,053 0,064

Correction factor k - 0,012 0,012 0,012 0,012 0,012 0,012

Calibrated displaced volume l 0,9 1,6 2,3 2,8 3,6 3,6

Calibrated flow $k \cdot q_{read}$ m³/h 0,012 0,024 0,036 0,048 0,060 0,072

* Rotameter = flow meter placed in control unit only to be used for approximate indication of current flow rate.

Methods, equipment and traceability

Calibration setup and method

The meter under test (gas meter) is placed in series with the reference in the following order:

Flow reference → Pump → Pressure side of control unit* including gas meter and exit port.

The calibration laboratory's pump was used for the calibration setup.

A flow of ambient air is pumped through the calibration setup and regulated using a needle valve. The volumetric flow through the reference is recalculated at the calibration object's temperature and pressure. Temperature was measured using the gas meter thermocouple and accompanying temperature instrument of the control unit. Pressure was equal to atmospheric pressure.

*: The pressure side of the control unit consists of desiccant container, rotameter, gas meter and exit port (14mm).



Fulfilment of performance checks – Results of leakage tests for calibration setup

Leakage test at underpressure for reference through pump: inwards leakage < 0,1 l/min at maximum underpressure.
 Leakage test at overpressure for pump through gas meter: outwards leakage < 0,1 l/min at 5 kPa overpressure.
Results of leakage tests for parts of the equipment not included in the calibration setup are presented separately in service protocol SR-382.

Conformity to calibration method

Calibration was performed in conformity with the accredited method.

Calibration equipment

Measurement	Equipment	Identity	Reference normal
Reference flow	Laminar flow element (LFE) + Electronic micromanometer	LFE-1 EM-10	LFE-3 EM-10
Pressure at LFE (inlet)	Electronic micromanometer	EM-12	EM-10
Temperature at LFE	Thermocouple + Temperature instrument	TEK(LFE-1) Doric	- (joint calibration with LFE) Memocal
Temperature at gas meter	Thermocouple + Temperature instrument	Built into control unit Accompanying	- (joint calibration with gas meter) - (joint calibration with gas meter)
Barometric pressure	Electronic barometer	BA21	BA20
Timing	Stopwatch	Stoppur 1	-

Reference normals

Quantity	Identity	Latest external calibration
Flow	LFE-3	2019 (Furness Controls)
Differential pressure	EM-10	2019 (Furness Controls)
Temperature	Memocal Memocal+Pt100	2012 (SP) 2019 (RISE Research Institutes of Sweden)
Barometric pressure	BA20	2019 (RISE Research Institutes of Sweden)

Measurement uncertainty

Measurement uncertainties are calculated for each individual measurement and presented together with measurement data.

Measurement uncertainties are reported as total expanded measurement uncertainties calculated with a coverage factor k=2 corresponding to a confidence interval of approximately 95 %. Measurement uncertainty calculations have been performed in accordance with EA-4/02.

Проверка газового счетчика Combi Dust Sampler

15.01.2021

Проверка газового Combi Dust Sampler счетчика выполнена с помощью газового счетчика ВК-G2,5MT:

максимальный расход 4 м³/ч

точность 0,001 м³

Используемый газ - сжатый воздух. Расход: 1 м³/ч.

Результаты проверки:

№	Время	Combi Dust Sampler		Объем сжатого воздуха, м ³	ВК-G2,5MT		Объем сжатого воздуха, м ³	Разница, м ³	К (фактор)
		Показания, м ³			Показания, м ³				
		до	после		до	после			
1	9:30-10:00	132,356	132,744	0,388	0,324	0,737	0,413	0,025	0,939
2	10:10-10:40	132,744	133,193	0,449	0,737	1,209	0,472	0,023	0,951
3	10:50-11:20	133,193	133,859	0,666	1,209	1,911	0,702	0,036	0,949

Среднее значение 0,946

Стандартное отклонение 0,006

Неопределенность расширенная 1,31%

Данные калибровочного сертификата № KPF-1722 STL Combi Dust Sampler:

фактор корреляции	0,961	
неопределенность	0,012	м ³
неопределенность	1,2	%

Вывод: проверка газового счетчика STL Combi Dust Sampler прошла успешно.

Анна Смирнова
руководитель лаборатории



Calibration certificate Kalibrier-Zertifikat

3690397n

Object Gegenstand	Control Unit t350	testo 350 analyzer box
Manufacturer Hersteller	TESTO SE & Co. KGaA	TESTO SE & Co. KGaA
Type description Typ	0632 3511	0632 3510
Serial no. Serien Nr.	03400389	61989848
Inventory no. Inventar Nr.	---	---
Test equipment no. Prüfmittel Nr.	---	---
Equipment no. Equipment Nr.	13797483	13797956
Location Standort	---	---
Customer Auftraggeber	KKT Oil OÜ	
Customer ID no. Kunden Nr.	EE-11316 Kiviöli 43125	
Order no. Auftrags Nr.	10097565 / 0520 0055	
Date of calibration Datum der Kalibrierung		10.09.2020
Date of the recommended re-calibration Datum der empfohlenen Rekalibrierung		10.09.2021

Hereby we confirm that the performing calibration laboratory is working with a management system according to ISO 9001:2015 and ISO/IEC 17025:2018. Accreditation certificates can be found under www.testotis.de. The measuring installations used for calibration are regularly calibrated and traceable to the national standards of the German Federal Physical Technical Institute (PTB) or other national standards. Should no national standards exist, the measuring procedure corresponds with the technical regulations and norms valid at the time of the measurement. The documents established for this procedure are available for viewing. All the necessary measured data can be found on this calibration certificate.

Hiermit bestätigen wir, dass das durchführende Kalibrierlabor ein Managementsystem nach ISO 9001:2015, sowie ISO/IEC 17025:2018 eingeführt hat. Die Urkunden finden Sie auf www.testotis.de. Die für die Kalibrierung verwendeten Messeinrichtungen werden regelmäßig kalibriert und sind rückführbar auf die nationalen Normale der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) Deutschlands oder auf andere nationale Normale. Wo keine nationalen Normale existieren, entspricht das Messverfahren den derzeit gültigen technischen Regeln und Normen. Die für diesen Vorgang angefertigte Dokumentation kann eingesehen werden. Alle erforderlichen Messdaten sind in diesem Kalibrier-Zertifikat aufgelistet.

Conformity statement Konformitätsaussage

- Measured value(s) within the allowable deviation¹. Messwert(e) innerhalb der zulässigen Abweichung¹.
 Measured value(s) outside of the allowable deviation¹. Messwert(e) außerhalb der zulässigen Abweichung¹.

Repair / Exchange accomplished Reparatur / Austausch durchgeführt

- ¹ The expanded measurement uncertainty was calculated according to EA-4-02 M:2013 with a coverage probability of 95% and contains the uncertainty of the reference, the method and the uncertainty of the unit under test. The statement of conformity is based on ISO 14253-1:2017 in accordance with the decision rule "niedriges Vertrauensniveau" (low level of confidence) according to 4_AA_00120_DE.
² Die erweiterte Messunsicherheit wurde nach EA-4-02 M:2013 mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95% berechnet und enthält die Unsicherheit der Referenz, des Verfahrens sowie die Unsicherheit des Prüflings. Die Konformitätsaussage erfolgt in Anlehnung an ISO 14253-1:2017 auf Basis der Entscheidungsregel "niedriges Vertrauensniveau" gemäß 4_AA_00120_DE.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.
 Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

Seal Stempel



Supervisor Fachverantwortlicher

Martin Förderer

Technician Bearbeiter

Samuel Garcia Zlodi



Calibration certificate Kalibrier-Zertifikat

3690397n

Measuring equipment Messeinrichtungen

Index	Reference Referenz	Traceability Rückführung	Next cal. Rekal.	Certificate-no. Zertifikat-Nr.	Eq.-no. Eq.-Nr.
a	--- Prüfgas Medium 1	SCS-SCS0026 2020-06	2023-06	3633293	12898976
b	--- Prüfgas Medium 2	SCS-SCS0026 2020-06	2023-06	3633300	12898980
c	--- Prüfgas Medium 3	SCS-SCS0026 2020-06	2023-06	3633305	12898982
d	--- Prüfgas Medium 5	SCS-SCS0026 2020-06	2023-06	3633313	12898984
e	--- Prüfgas Medium 7	SCS-SCS0026 2020-06	2023-06	3633319	12898986
f	--- Prüfgas Medium 11	ISO-ISO 6141 2020-06	2021-06	3633331	14087964
g	--- Prüfgas Medium 10	ISO-ISO 6141 2020-06	2021-06	3633327	14087887
h	Digitant 4420 Digitant 4420	1507D-01-01 2020-07	2021-07	3650283	12965901
i	Pneumator Pneumator	1507D-01-01 2020-07	2021-07	D42192	12965547

Reference certificates are available at www.primasonline.com Referenzzertifikate sind auf www.primasonline.com abrufbar

Ambient conditions Umgebungsbedingungen

Temperature Temperatur (20...26) °C Humidity Feuchte (20...60) % RH % rF

Measuring procedure Messverfahren

The calibration was carried out by comparison measurement with calibrated test gases, a calibrator of temperature and pressure.

Die Kalibrierung erfolgte durch Vergleichsmessung mit kalibrierten Prüfgasen, einem Temperatur- und Druckkalibrator.

Measuring results Messergebnisse

Channel Kanal ---

Unit Einheit	Reference value Bezugswert	Indicated measured value probe Angezeigter Mess- wert Kalibriergegen- stand	Deviation Abweichung	Allowed deviation ²⁾ Zulässige Abweichung ²⁾	Measurement uncertainty (k=2) Messunsicherheit (k=2)	Confirmation Bewertung
CO						
ppm	100,2 ^a	100	-0,2	± 11	3,3	pass
ppm	301 ^b	302	1	± 21	6,6	pass
ppm	401,0 ^c	399	-2,0	± 21	8,5	pass
ppm	704,0 ^d	704	0,0	± 38	14,4	pass
NO						
ppm	150,0 ^a	150	0,0	± 9	4,0	pass
NO2						
ppm	100,0 ^a	104,6	4,6	± 11	3,20	pass
SO2						
ppm	100,1 ^f	98	-2,1	± 12	3,5	pass
H2S						
ppm	200,2 ^a	195,6	-4,6	± 16	6,80	pass
O2						
Vol.-%	0,0 ^a	0,16	0,2	± 0,21	0,027	pass
Vol.-%	1,404 ^b	1,56	0,156	± 0,21	0,035	pass
Vol.-%	2,510 ^d	2,71	0,200	± 0,21	0,055	pass
Vol.-%	5,010 ^e	5,22	0,210	± 0,21	0,102	pass
Temperatur						
°C	100,0 ^h	99,0	-1,0	± 1,1	0,24	pass
°C	200,0 ^h	199,9	-0,1	± 1,1	0,24	pass
Druck						
hPa	50,00 ⁱ	49,97	-0,03	± 0,51	0,500	pass
hPa	100,00 ⁱ	100,05	0,05	± 1,01	0,500	pass

²⁾ in accordance with the manufacturer gemäß Hersteller

Kalibrier-Protokoll

Certificate of conformity * Protocole d'étalonnage
Certificado de taratura * Informe de calibración



Gerät / Module type / Type de modèle / Prodotto / Modelo: T350
Seriennummer / Serial No. / No. de série / No. Serie strumento / n° de serie: 61989848

Temperaturmessung	Sollwert	Istwert	zulässige Abweichung
Temperature measurement	Reference	Actual value	Permissible deviation
Measure de température	Référence	Valeur effective	Différence admissible
Misura della temperatura	Valore campione	Valore misurato	Scostamento ammesso
Medición de temperatura	Referencia	Valor medido	Desviación permitida

Verbrennungslufttemp./ Ambient air temp.	100.0 °C	99.9 °C	+ - 0.5 °C
Température d'air de combustion			
Temperatura aria comburente			
Temperatura ambiente			

Abgastemperatur / Flue gas temperature	100.0 °C	100.0 °C	+ - 0.5 °C
Température des fumées			
Temperatura fumi			
Temperatura gases			

Zug-/Druckmessung	8.00 hPa	7.98 hPa	+ - 0.12 hPa
Draught/pressure measurement			
Measure de tirage/de pression			
Misura della pressione/ tiraggio			
Medición de tiro/ presión			

Gasmeßwerte / Gas values / Valeurs de gaz mesurées / Parametri di misura dei gas / Gases patrón

Reg. Nr.	Gas	Sollwert	Istwert	zulässige Abweichung
Reg. No.	Gas	Reference	Actual value	Permissible deviation
Reg. No.	Gaz	Référence	Valeur effective	Différence admissible
Num. reg.	Gas	Valore campione	Valore misurato	Scostamento ammesso
n° certi	Gas	Referencia	Valor medido	Desviación permitida
20194349	NO	155 ppm	156 ppm	+ - 8 ppm
20195415	NO2	100.3 ppm	101.6 ppm	+ - 5.0 ppm
20201443	H2S	200.1 ppm	197.2 ppm	+ - 10.0 ppm
20200293	O2	5.02 %	5.06 %	+ - 0.20 %
20202109	O2	2.51 %	2.53 %	+ - 0.20 %
20194349	O2	0.00 %	0.00 %	+ - 0.20 %
20192321	SO2	101 ppm	99 ppm	+ - 5 ppm
20200293	CO	400 ppm	398 ppm	+ - 20 ppm
20202109	CO	705 ppm	704 ppm	+ - 35 ppm
20194349	CO	100 ppm	101 ppm	+ - 10 ppm

Datum/Date/Date/Data/Fecha: 04.09.2020 Prüfer/Inspector/Vérificateur/Verificatore/Verificador: 3289



Calibration certificate Kalibrier-Zertifikat

3763768_1

Object Gegenstand	testo 440 dP	Pitot tube; 1000mm; TC Type K
Manufacturer Hersteller	TESTO SE & Co. KGaA	TESTO SE & Co. KGaA
Type description Typ	0560 4402	0635 2243
Serial no. Serien Nr.	83154154	---
Inventory no. Inventar Nr.	---	---
Test equipment no. Prüfmittel Nr.	---	---
Equipment no. Equipment Nr.	14181395	14181401
Location Standort	---	---
Customer Auftraggeber	KKT Oil OÜ	
Customer ID no. Kunden Nr.	EE-43125 Kiviõli	
Order no. Auftrags Nr.	1033319	
	10144784 / 0520 0004	
Date of calibration Datum der Kalibrierung	19.10.2020	
Date of the recommended re-calibration Datum der empfohlenen Rekalibrierung	19.10.2021	

Hereby we confirm that the performing calibration laboratory is working with a management system according to ISO 9001:2015 and ISO/IEC 17025:2018. Accreditation certificates can be found under www.testotls.de. The measuring installations used for calibration are regularly calibrated and traceable to the national standards of the German Federal Physical Technical Institute (PTB) or other national standards. Should no national standards exist, the measuring procedure corresponds with the technical regulations and norms valid at the time of the measurement. The documents established for this procedure are available for viewing. All the necessary measured data can be found on this calibration certificate.

Hiermit bestätigen wir, dass das durchführende Kalibrierlabor ein Managementsystem nach ISO 9001:2015, sowie ISO/IEC 17025:2018 eingeführt hat. Die Urkunden finden Sie auf www.testotls.de. Die für die Kalibrierung verwendeten Messrichtungen werden regelmäßig kalibriert und sind rückführbar auf die nationalen Normale der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) Deutschlands oder auf andere nationale Normale. Wo keine nationalen Normale existieren, entspricht das Messverfahren den derzeit gültigen technischen Regeln und Normen. Die für diesen Vorgang angefertigte Dokumentation kann eingesehen werden. Alle erforderlichen Messdaten sind in diesem Kalibrier-Zertifikat aufgeführt.

Conformity statement Konformitätsaussage

- Measured value(s) within the allowable deviation¹. Messwert(a) innerhalb der zulässigen Abweichung¹.
- Measured value(s) outside of the allowable deviation¹. Messwert(a) außerhalb der zulässigen Abweichung¹.

¹) The expanded measurement uncertainty was calculated according to EA-4-02 M:2013 with a coverage probability of 95% and contains the uncertainty of the reference, the method and the uncertainty of the unit under test. The statement of conformity is based on ISO 14253-1:2017 in accordance with the decision rule "niedriges Vertrauensniveau" (low level of confidence) according to 4_AA_00120_DE.
²) Die erweiterte Messunsicherheit wurde nach EA-4-02 M:2013 mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95% berechnet und enthält die Unsicherheit der Referenz, des Verfahrens sowie die Unsicherheit des Prüfings. Die Konformitätsaussage erfolgt in Anlehnung an ISO 14253-1:2017 auf Basis der Entscheidungsregel "niedriges Vertrauensniveau" gemäß 4_AA_00120_DE.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.
 Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

Seal Stempel



Supervisor Fachverantwortlicher

Martin Förderer
Martin Förderer

Technician Bearbeiter

Achim Geigele
Achim Geigele



Calibration certificate Kalibrier-Zertifikat

3763768_1

Measuring equipment Messeinrichtungen

Index	Reference Referenz	Traceability Rückführung	Next cal. Rekal.	Certificate-no. Zertifikat-Nr.	Eq.-no. Eq.-Nr.
a	Laser Doppler anemometer Laser Doppler Anemometer	PTB 2018-11	2020-11	2925137	12187200

Reference certificates are available at www.primasonline.com Referenzzertifikate sind auf www.primasonline.com abrufbar

Ambient conditions Umgebungsbedingungen

Temperature Temperatur 23,0 °C Humidity Feuchte 33,0 % RH % rF

Measuring procedure Messverfahren

Comparison measurement in a wind-tunnel. We measure in the center of a low-turbulent free open jet. Calibration was carried out according to calibration instructions 4_AA_00046_DE.

Vergleichsmessung im Windkanal. Gemessen wird im Zentrum eines turbulenzarmen Freistrahls. Die Kalibrierung erfolgte nach Kalibrieranweisung 4_AA_00046_DE.

Measuring results Messergebnisse

Channel Kanal ---

Reference value Bezugswert	Indicated measured value probe Angezeigter Messwert Kalibriergegenstand	Deviation Abweichung	Allowed deviation ²⁾ Zulässige Abweichung ²⁾	Measurement uncertainty (k=2) Messunsicherheit (k=2)	Confirmation Bewertung
m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	
0,99 ^a	0,9	-0,09	± 4,0	0,13	pass
2,03 ^a	2,0	-0,03	± 2,0	0,13	pass
4,99 ^a	4,9	-0,09	± 0,9	0,13	pass
10,07 ^a	10,0	-0,07	± 0,5	0,14	pass

²⁾ in accordance with the manufacturer gemäß Hersteller

Special remarks Besondere Bemerkungen

Pitot tube factor 0,67

Staurohrfaktor 0,67