



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Suitsugaaside puhastamine tolmust elektrifiltris
Cleaning flue gases from dust in an electric filter

KEEMIASTEHNOLÓGIA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Jana Kabrina

Üliõpilaskood: 207549EDKR

Juhendaja: Antonina Zguro, lektor

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.

"27 " Mai 2024

Autor: Jana Kabrina

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"3" juuni 2024

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"3" juuni 2024 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina, Jana Kabrina (sünnikuupäev: 05.01.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Suitsugaaside puhastamine tolmust elektrifiltris, mille juhendaja on Antonina Zguro,
 - 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: Jana Kabrina, 207549EDKR

Õppekava, peeriala: Keemiatehnoloogia, EDKR16/17

Juhendaja(d): lektor, Antonina Zguro, antonina.zguro@taltech.ee

Konsultant: -

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Suitsugaaside puhastamine tolmust elektrifiltris

(inglise keeles) Cleaning flue gases from dust in an electric filter

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Valida elektrifilter suitsugaaside puhastamiseks tolmust

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse uurimine suitsugaaside puhastamise kohta elektrifiltris	10.03.2024
2.	Leida meetodikat elektrifiltrite arvutamise kohta	15.03.2024
3.	Teostada elektrifiltri arvutused	01.04.2024
5.	Lõputöö lõplik vormistamine	06.05.2024

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "20"mai 2024a

Üliõpilane: Jana Kabrina

"07"vebruar 2024 a

/allkiri/

Juhendaja:

"3"juuni 2024 a

/allkiri/

Programmijuht:

"3"juuni 2024 a

/allkiri/

SISUKORD

<u>1.</u> PÕLEVKIVITUHK JA SELLE MÕJU KESKKONNALE JA INIMESTE TERVISELE	8
1.1 Põlevkivi lühiiseloostus.....	8
1.2 Põlevkivi pürolüüsi tehnoloogiline skeem tahke soojuskandja paigaldises	9
1.3 Põlevkivituha omadused	12
1.4 Põlevkivituha mõju keskkonnale ja inimeste tervisele	14
1.5 Tootmise probleemid	15
<u>2.</u> ELEKTRIPUHASTAMISE TEOORIA, ELEKTROODID JA ELEKTRIFILTRID	17
2.1 Elektriline tolmuemaldus	17
2.2 Elektripuhastuse efektiivsus	18
2.3 Elektrifiltri tööpõhimõte	19
2.4 Elektrifiltrite klassifikatsioon	20
2.4.1 Torukujuliste elektrootodidega elektrifiltrid	23
2.4.2 Plaatelektrootodidega elektrifiltrid	23
2.5 Elektrootodid.....	25
2.5.1 Kogumiselektrootodid.....	26
2.5.2 Koroonaelektrootodid	27
<u>3.</u> ARVUTUSLIK OSA	28
3.1 Põlevkivituha elektriliste parameetrite arvutamine	29
3.2 Gaasi tolmust puhastamise määra arvutamine.....	32
3.3 Järeldused	33
Kokkuvõte	35
Summary	36
Kasutatud kirjanduse loetelu	37
Lisa 1 Elektrifiltri EGB1M1-30-7,5-6-2 gabariitjoonis	39
Lisa 2 Elektrifiltri EGB1M1-30-7,5-6-2 tugi skeem	40

SISSEJUHATUS

Keskonnakaitse probleemidest on kõige pakilisem õhubasseini kaitsmine, kuna saastunud õhk mõjub otseselt või kaudselt inimeste tervisele

Kõige tõhusam meetod atmosfääri kaitsmiseks kahjulike ainetega saastumise eest on madala jäätmesisaldusega tehnoloogiliste protsesside arendamine suletud tootmistsüklitega, mis kõrvaldavad või vähendavad kahjulike ainete sattumist atmosfääri. Samas ei ole alati võimalik välja töötada majanduslikult tasuvaid jäätmetekke tekitavaid tehnoloogilisi protsesse. Seetõttu jääb enamiku tööstusettevõtete jaoks heitmetöötlus üheks peamiseks lahenduseks õhu kaitsmisel saaste eest.

Tahke soojuskandjaga paigaldises tekivad põlevkivi pürolüüsi käigus suitsugaasid, mis läbides rea suurte tuhaosakeste settimisseadmeid jäävad tolmuks. Suitsugaaside eraldumine atmosfääri ilma lõpliku puhastamiseta võib kahjustada ettevõtte ja ümbritsevate piirkondade õhukeskkonda. Põlevkivituhk võib põhjustada hingamisteede kutsehaigusi, silma- ja nahakahjustusi ning töötajate ägedat ja kroonilist mürgistust. Sellega seoses kasutab ettevõtte õhutolmu suurenemise vältimiseks korstnate ette paigaldatud tolmu filtreid, misjärel suunatakse tuha puhastatud suitsugaasid atmosfääri.

Tolmu filtrid, mis sobivad suitsugaaside puhastamiseks põlevkivituhast, on kuivapuhastuse seadmed. Nendel eesmärkidel kasutatakse kõige sagedamini kottfiltreid. Viimasel ajal on populaarsust kogumas elektrilise toimega filtrid ehk elektrostaatilised filtrid, mis puhastavad gaase tolmust elektrivälja abil. Elektrilised filtrid võimaldavad saavutada gaasi kõrget puhastamist mikrodispergeeritud lisanditest.

Töö asjakohasus seisneb selles, et tahke soojuskandjaga käitises töötavad inimesed seisavad endiselt silmitsi tuhaga õhusaaste probleemiga ettevõtte territooriumil. Põlevkivituhk kahjustab seadmeid, vähendab toodete kvaliteeti, vähendab tootmisruumide valgustatust ning võib põhjustada hingamisteede kutsehaigusi, silma- ja nahakahjustusi ning töötajate ägedaid ja kroonilisi mürgistusi.

Lõputöö eesmärgiks on välja töötada tehniline lahendus suitsugaaside puhastamise parandamiseks põlevkivituhast.

Töö esimeses osas esitatakse põlevkivituha omadused, samuti selle kahju keskkonnale ja inimeste tervisele ning võimalikud kasutusvaldkonnad.

Töö teises osas esitatakse: elektrifiltrite tööpõhimõtte, millist tüüpi elektrostaatiliste filtritega saab suitsugaasidest tuha eemaldada; elektrifiltritesse paigaldatud elektroodide tüübid: sademed ja korona.

Töö kolmandas osas esitatakse tootmiseks valitud elektrifiltri arvutus, mis vastab täielikult tootmisnõuetele.

Märksõnad: elektrifiler, elektriline puhastus, põlevkivituhk, suitsugaas, diplomitöö

1. PÕLEVKIVITUHK JA SELLE MÕJU KESKKONNALE JA INIMESTE TERVISELE

1.1 Põlevkivi lühiiseloostus

Eesti jaoks on olulisim maavara põlevkivi – kukersiit.

Põlevkivi on kompleksne maavara. Võrreldes teiste fossiilkütustega sisaldavad need vähem orgaanilist ainet. Eesti põlevkivi sisaldab 20-60% kerogeeni, 20-60% karbonaate ja 15-50% klastmaterjali, kütteväärtus on 8-11 MJ/kg. [11]

Põlevkivi orgaanilise aine keemiline koostis sisaldab järgmisi põhielemente: süsinik C, vesinik H, hapnik O, lämmastik N, väävel S.

Tabel 1.1. Kukersiidi orgaanilise aine elementkoostis [11]

Element, sümbol	Sisaldus, %
Süsinik, C	77,0
Vesinik, H	9,7
Hapnik, O	10,6
Lämmastik, N	0,4
Väävel, S	1,6

Tabel 1.2. Eesti põlevkivi kvaliteedistandardid [20]

Näitaja, mõõtühikud	Väärtus
Kuiva kütuse kütteväärtus, kcal/kg, mitte vähem	2850
Töökütuse alumine kütteväärtus, kcal/kg, mitte vähem	1860
Keskmine mahuline puistetihedus, t/m ³ , mitte vähem	1350
Niiskusesisaldus, %, mitte rohkem	14,0
Tuhasisaldus, %, mitte rohkem	53,0
Väävlisisaldus, %, mitte rohkem	1,9
Orgaanilise aine sisaldus, %, mitte rohkem	25,0
Süsinikdioksiidi sisaldus, %, mitte rohkem	25,0
Lendained, %	42,0

Praegu on põlevkivil kolm peamist kasutusvaldkonda:

- poolkoksimine vedelkütuse ja keemilise tooraine tootmiseks;

- gaasistamine energiagaasi tootmiseks;
- otsepõletamine elektri- ja soojusenergia tootmiseks.

Kukersiiti kasutatakse peamiselt energiakütusena ning väiksemas mahus vedelkütuste ja erinevate keemiatoodete tootmiseks. Kukersiittuhk sobib ehitusmaterjalide (näiteks tsemendi) tootmiseks ja happeliste muldade lupjamiseks. [11]

1.2 Põlevkivi pürolüüsi tehnoloogiline skeem tahke soojuskandja paigaldises

Tahke soojuskandja põlevkivi pürolüüsi skeem on näidatud joonistel 1.1. ja 1.2.

Kuiv põlevkivi (0-25 mm) juhitakse tigukonveieri abil segamiskambrisse.

Tuhk-soojuskandja ($t=800-825\text{ }^{\circ}\text{C}$), mis eraldus tahkesoojuskandja tsüklonites, juhitakse läbi vooderdatud punkri segamiskambri ülemisse ossa. Kui tuhk ja põlevkivi kokku puutuvad, eraldub gaas, mis aitab segu segada.

Tuha ja põlevkivi segu siseneb reaktorisse, kus need lõpuks segatakse ja temperatuur ühtlustatakse. Põlevkivi pürolüüs toimub reaktoris temperatuuril $470-490\text{ }^{\circ}\text{C}$. Reaktoris viibimise aeg on umbes 20 minutit. [20]

Pürolüüsi saadusteks on auru-gaasi segu (AGS) ja koksi-tuha jääk (KTJ).

Reaktorist juhitakse pürolüüsi saadused tolmukskambrisse, kus toimub auru-gaasi segu esialgne eraldumine koksi-tuha jäägist (osakeste suurus üle 100 mikroni).

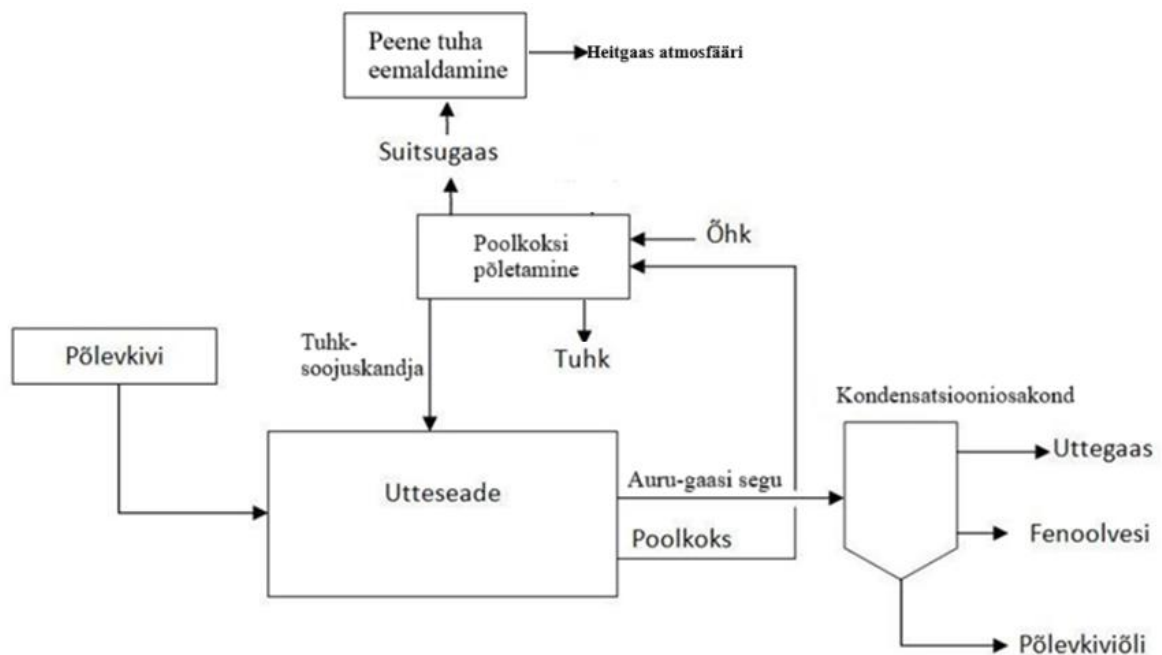
Auru-gaasisegu ja järelejäänud koksi-tuha jäägid eemaldatakse tolmukskambrist ülemisest osast kahte järjestikku paiknevasse tolmukskambrist tsüklonisse lendtuha puhastamiseks. Kogutud tolm suunatakse läbi labalukku tagasi tolmukskambrisse.

ASG läheb edasi kondensatsiooniosakonda.

Tolmukskambrist alumisest osast siseneb KTJ poolkoksi tigukonveierisse, mille väljalaskeava juures on siiber, mis loob poolkoksi tihenduskorgi.

Atmosfääriõhk, mida surutakse turbopuhuritega, siseneb süütekoldesse, kust see siseneb aerofontäänkoldesse (AFK). Poolkoks juhitakse poolkoksi tigukonveieritega aerofontäänkolde alumisse ossa. Kuuma atmosfääriõhu voolud tõstavad koksi-tuhajäägi osakesed üles ja viivad need mööda kiirendusala ülemisse ossa, kus koksi orgaaniline osa põleb ära ($t=830-870\text{ }^{\circ}\text{C}$) ja tekib vajalik tuha-soojuskandja temperatuur.

AFK-i tipus on keeris, mis keerutab gaasi ja tuhka-soojuskandja voogusid.



Joonis 1.1. Põlevkivi pürolüüsi TSK meetodil põhimõtteline skeem [11]

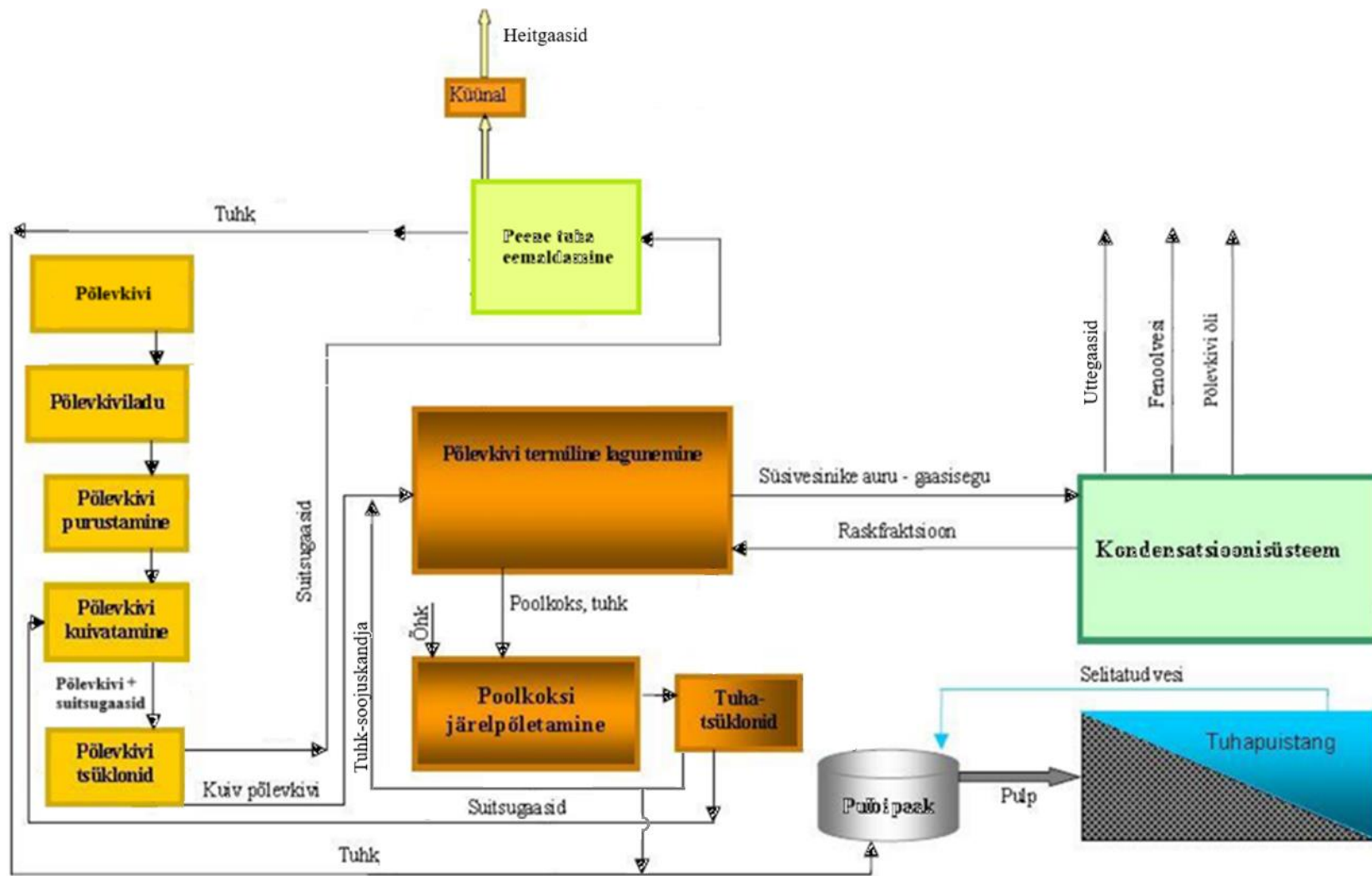
Tuhk-soojuskandja ja suitsugaasid väljuvad läbi AFK ülemise osa ja sisenevad siibrisse, kus need jagunevad kaheks vooluks.

Esimene vool siseneb tuhatsüklonitesse, kus tuhk eraldatakse gaasist ja tuhk voolab raskusjõu toimel segamiskambrisse ja seejärel reaktorisse.

Teine voog siseneb tuhatsüklonitesse, millest tuhk eemaldatakse ja suunatakse tuhasoojusvahetisse, mis koosneb kahest sektsioonist: õhusektsioon ja veesektsioon. Veesektsioonis oleva tuha jahutamiseks kasutatakse aurukondensaati, mida pumbatakse suletud tsüklis pumpade abil.

Tuhatsüklonite ülemisest osast liiguvad suitsugaasid läbi gaasikäiku aerofontäänkuivatisse, milles kuivatatakse põlevkivi. Pärast kuivatit läbivad suitsugaasid põlevkivitsüklonit. Seejärel liiguvad suitsugaasid teise astme tsüklonitesse, kus gaasidest eraldatakse väikesed tuhaosakesed. Põlevkivituhk juhitakse läbi labalukku tuhatigudesse. Tigukonveieritega juhitakse tuhk tuhaarastusseadme tuhapunkrisse.

Suitsugaasid sisenevad tolmu eemaldamiseks kottfiltrisse.



Joonis 1.2. Põlevkivi pürolüüsi plokk-skeem [11]

1.3 Põlevkivituha omadused

Põlevkivituhk ehk põletatud põlevkivi on põlevkivi põletamisel moodustuv mineraalmaterjal. Ühe tonni põlevkivi põletamisel moodustub 0,43–0,44 tonni põlevkivituhka. Lendtuhka püütakse erinevates katlaagregaadi sõlmedes: ülekuumendis, ökonomaiseris, õhuelsoojendis, tsüklonis ja elektrifiltris või kottfiltris. [1]

Tabel 1.3. Tahke soojuskandja seadme põlevkivituha koostis [1]

Keemiline koostis		
Ühend		Sisaldus, %
CaO _{vaba}		1.89
SO ₄ ²⁻		1.82
S ²⁻		1.22
C _{üld}		7.82
C _{anorg.}		6.45
C _{org.}		1.37
Mineraloogiline koostis		
SiO ₂	Kvarts	14.10
KaSiO ₄	K-päevakivi	12.70
CaCO ₃	Kaltsiit	29.40
CaO	Lubi	3.00
Ca(OH) ₂	Portlandiit	-
CaSO ₄	Anhüdriit	0.70
MgO	Periklaas	8.70
CaMg(CO ₃) ₂	Dolomiit	10.00
CaSiO ₃	Vollastoniit	1.90
Ca ₂ SiO ₄	Beliit	-
Ca ₃ SiO ₅	Aliit	-

Tabeli 1.3 jätk

$\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$	Merviniit	1.30
$(\text{CaMg})_2(\text{MgAl})(\text{SiAl})_3\text{O}_7$	Meliliit	1.20
$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	Brownmilleriit	2.20
$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$	Hematiit/Magnetiit	1.60
$\text{Ca}_{11}(\text{SiO}_4)_4\text{O}_2\text{S}$	Jasmundiit	-
$2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C2F	-
$\text{Ca}_4\text{Al}_6(\text{SO}_4)\text{O}_{12}$	Yeeliit	-
$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Albiit	1.60
$\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$	Rankiniit	0.90
$\text{Na},\text{Kx}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$	Iliit	3.40
Eripind, m ² /g		7.44

Põlevkivi pürolüüsi käigus tekivad suitsugaasid, mis sisaldavad põlevkivituha osakesi.

Suitsugaaside tuhaheitmed sõltuvad kasutatava kütuse tuhasisaldusest, aga ka tuhakogumisseadmetest, nende seisukorrast ja tövõimest.

Tahked tolmuosakesed liigitatakse suuruse järgi:

- jämedisperssed – üle 50 mikroni;
- keskdisperssed - 50-10 mikronit;
- peendisperssed – alla 10 mikroni.

Lendtuhk (tuhk-soojuskandja) on tahke kütuse mittesüttiv jääk, mis tekib põlemisprotsessi käigus selle mineraalsetest lisanditest ja mis sisaldub suitsugaasides hõljuvas olekus.

Osakeste suurus PM (inglise keelest: particulate matter - tahked osakesed) - mikroni fraktsioonidest kuni 0,1 mm. Suuremaid osakesi vahemikus 0,1 mm kuni 5 mm nimetatakse liivaks. [2]

- PM 10 - üsna suured osakesed, mille suurus on vahemikus 2,5 kuni 10 mikronit, neid saab näha palja silmaga;
- PM 2,5 - väikesed osakesed suurusega 0,001 kuni 2,5 mikronit, mis on nähtamatud ilma eriseadmeteta;
- PM 1 - ülipeened osakesed, mille suurus on alla 0,001 mikroni.

Osakesed ei saa olla pidevalt suspendeeritud olekus, varem või hiljem settib tolmu pindadele. PM-osakeste viibimise kestus atmosfääris sõltub otseselt nende suuruselt:

- PM10 - sadestuvad õhust mõne tunni jooksul;
- PM2,5 - võivad viibida õhus mitu nädalat;
- PM1 - võivad olla hõljuvas seisundis mitmest nädalast kuni mitme kuuni.

Peenosakesed, mis püsivad õhus pikka aega, võivad kanduda pikkade vahemaade taha, ületades looduslikud barjäärid ja levides üle naaberriikide ja isegi kontinentide. [2]

1.4 Põlevkivituha mõju keskkonnale ja inimeste tervisele

2018. aastal arvati põlevkivituht ohtlike jäätmete nimekirjast välja. See lubab põlevkivituha palju rohkem kasutada erinevates valdkondades, samuti otsida täiendavaid võimalusi selle kasutamiseks väljaspool Eestit. Vastavalt REACH määrusele on põletatud põlevkivi kemikaal. Põletatud põlevkivi on kantud Euroopa keemiaagentuuri andmebaasi. Registreerimine lubab toote transportimist Euroliidu piires (REACH registreerimisnumber: 01-2119703178-42-0002). [1]

Kuna põlevkivituht on arvatud ohtlike jäätmete nimekirjast, kasutatakse seda erinevates valdkondades:

- põllumajandus - parandab mulla omadusi, taimede kasvutingimusi ja tõstab põllu tootlikkust;
- ehitusmaterjalide tootmine - kasutatakse ehitusmaterjalide lahutamatu komponendina;
- teedehitus;
- pinnase tugevdamiseks - põlevkivituht on kasutatud Narva lähedal asuva tuuleelektrijaama vundamendi ehitamisel.

Kuid tuhal on ka inimese tervisele negatiivne mõju.

PM-osakesed, mille suurus on 0,5–5 mikronit, on hingamisteedele kahjulikud. Need on võimelised tungima keskmiste ja alumiste hingamisteedesse, see on tingitud eelkõige nende suurusga. [2]

PM-osakeste kahjulikud mõjud on hästi dokumenteeritud. Saasteainete tahkete osakeste kõige ohtlikumad negatiivsed tagajärjed hõlmavad järgmist:

- hingamisteede haigused;

- astma ägenemine või astma suurenenud risk lastel;
- risk haigestuda südame- või vereringehaigustesse (südame isheemiatõbi, tromboos, infarkt, insult jt). [2]

Kuna paljud peenosakesed on mürgised, võivad nad isegi pärast lühiajalist kokkupuudet inimorganismiga põhjustada mürgistust.

Mürgistuse sümptomid:

- õhupuudus;
- südamepekslemine;
- põletikud protsessid;
- kroonilise väsimuse sündroom.

1.5 Tootmise probleemid

Hetkel on lendtuha püüdmiseks tootmisse paigaldatud kottfilter, mille järel on paigaldatud tuha niisutamise aparaat.

Kottfiltrit töötamise ajal tuvastati järgmised probleemid:

- gaaside ebapiisav puhastamine tuhasta, kuna pärast kottfiltrit sisaldasid suitsugaasid suuri tuhaosakesi, mis pärast suitsugaaside eraldumist atmosfääri sadestusid ettevõtte territooriumile;
- kottfiltris olevate filtrikottide enneaegne kulumine suure tuhakoguse ja selle ebastabiilse niiskuse tõttu;
- põlevkivituhha niisutamissüsteem ei töötanud korrektselt; talvel omandas tuhka niiskumise tõttu paksu massi, mis ei hõlbustanud selle eemaldamist protsessist tigukonveierite abil; suvel oli tuhka seevastu väga vedela konsistentsiga, mille tõttu sattus vesi, mis pidi tuhka märjaks tegema, tigukonveierite mootoriosa ja selle tagajärjel tekkisid lühised, mis rikkusid tigukonveierite mootori tööd.

Seetõttu tuleb kottfilter välja vahetada mingi muu tolmu kogumisseadme vastu.

Kuna põlevkivituhk muutub veega kokkupuutel betooniga sarnaseks tahkeks aineks, on vaja loobuda tigukonveierite tuha niisutamise kontseptsioonist.

Samuti tuleb kottfilter välja vahetada selliste seadmetega, mis ei nõua pidevat filtreerimis- või tuhka hoidvate pindade väljavahetamist.

Uuel filtril peaksid olema kõik kottfiltrit positiivsed omadused, kuid see peaks ka kõrvaldama selle puudused. Uus filter peab vastama järgmistele nõuetele:

- kõrge puhastusaste;
- tõhusad tuhka kinni pidavad pinnad;
- aastaringne töö.

Pärast andmete kogumist, mitmesuguse kirjanduse uurimist ja tutvumist erinevate olemasolevate seadmete konstruktsioonidega, mida kasutatakse suitsugaasidest tuha eraldamiseks, otsustati paigaldada elektrifilter.

2. ELEKTRIPUHAJAMISE TEOORIA, ELEKTROODID JA ELEKTRIFILTRID

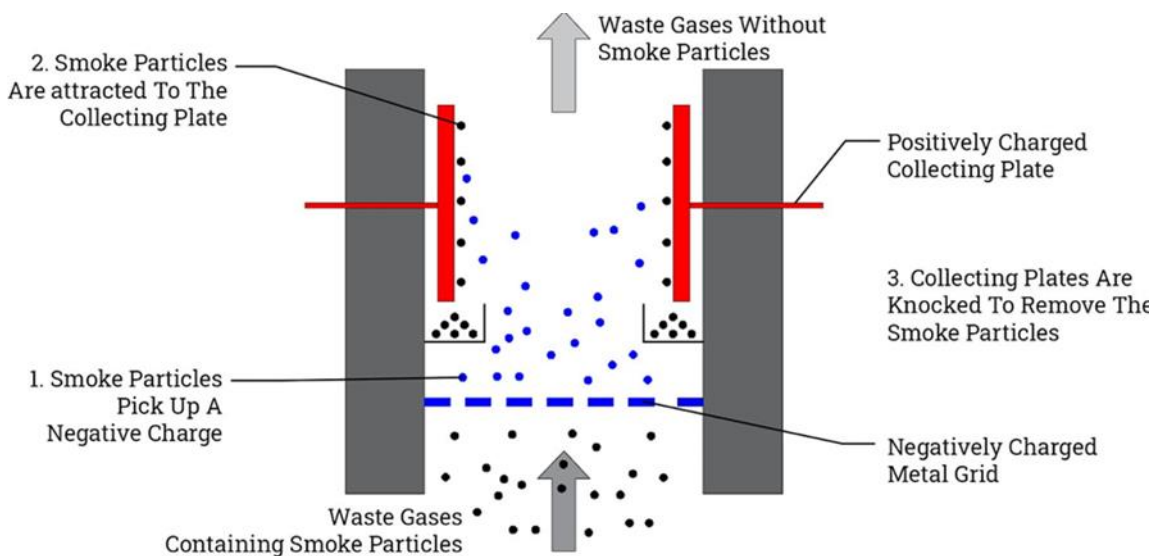
2.1 Elektriline tolmuemaldus

Elektrifiltris puhastatakse gaasid elektrijõudude mõjul tolmust. Tolmuosakestele antakse elektrilaeng ja need sadestuvad elektrivälja mõjul gaasivoolust. Elektrostaatilisest filtri põhielemendid on koroona- ja kogumiselektroodid .

Kogumis- ja koroonaelektroodide vahelises ruumis paiknevatele osakestele mõjuvad järgmised jõud, mis liigutavad osakesi gaasivoolu suhtes:

- gravitatsioon;
- keskkonnale vastupidavuse jõud;
- jõud, mis tekib elektrivälja toimel;
- elektrivälja ebaühtlasest jaotumisest põhjustatud jõud. [18]

Elektrostaatilisest tolmu eemaldamise aluseks on asjaolu, et tolmuosakesed tõmmatakse elektrostaatilisest laengu abil elektroodi külge vastupidise laenguga.



Joonis 2.1. Tolmu eemaldamine skeem [4]

Tolmu elektrostaatilisest eemaldamise käigus juhitakse tolmuosakestega gaasivoo tugeva negatiivse laenguga koroonaelektroodi ja positiivselt laetud kogumiselektroodi vahele (joonis 2.1.).

Koroonaelektroodil on kõrgepinge. See annab negatiivse laenguga elektronid gaasimolekulidele, mis asuvad elektroodi lähedal. Gaasi molekule tõmbab külge koguv elektrood, millel on positiivne laeng. Laetud gaasimolekulid teel kogumiselektroodile

põrkuvad tolmuosakestega, mis voolavad mööda. Molekulid annavad neile oma laengu, laadides neid negatiivselt. Pärast seda tõmbuvad negatiivselt laetud osakesed kogumiselektroodide külge, kaotavad nad oma laengu ja ühinevad teiste osakestega, moodustades kerasid. Vibratsiooni abil kukuvad tahked osakesed kogumiselektroodilt alla. [9]

2.2 Elektripuhastuse efektiivsus

Elektripuhastuse efektiivsus sõltub peamiselt elektroodidele antavast voolutugevusest ja pingest. Elektrostaatiliste filtrite puhul kasutatakse ainult alalisvoolu. Seda tehakse tagamaks, et gaasis hõljuvad osakesed liiguksid ainult ühes suunas. Kui elektrostaatilist filtrit toidetakse vahelduvvooluga, siis muutub välja suund iga muutuse korral ja vastavalt muutub ka laetud osakesele mõjuva jõu suund. Selle tulemusena viiakse viimane, kogedes mitmeid impulsse, mis liigutavad seda kas ühele elektroodile või teisele, lihtsalt gaasivoolust seadmest välja enne, kui tal on aega jõuda ühe sellise elektroodi pinnale. Just sel põhjusel on kroonelektroodiga ühendatud ainult pidev elektrivool.[18]

Oluline on toita koroonaelektroode alalisvooluga mitte positiivse, vaid vastupidi negatiivse märgiga, kuna negatiivselt laetud ioonid on liikuvamad kui positiivselt laetud ioonid. Selliste ionide kiirus on peaaegu poolteist korda suurem kui positiivsetel ionidel. Lisaks peavad elektrifiltrites reeglite kohaselt tolmuosakesed settima täpselt kogumiselektroodile ja kui koroonaelektroodil on positiivne laeng, siis negatiivsete ionide suurema kiiruse korral sadestub tolm ainult sellele.

Tolmuosakeste liikumise kiirus kogumiselektroodi suunas hakkab elektrivoolu tugevuse suurenedes suurenema ja seega tolmu kogumine ainult paraneb. Tavaliselt väljendatakse vajalikku voolu milliamprites (mA) kogumiselektroodi lineaarmetri kohta. Torukujuliste elektroodide puhul kasutatakse voolutugevust (I) vahemikus 0,3 kuni 0,5 mA/lineaarmeetri ja plaatide puhul - 0,1 kuni 0,35 mA/lineaarmeetri. [17]

Elektrivoolu tugevus sõltub otseselt elektroodide vahelisest kaugusest. Mida suurem on see vahemaa, seda rohkem voolu saab vastu võtta. Voolutugevus sõltub ka kogumiselektroodi läbimõõdust. Mida väiksem on viimase läbimõõt, seda suurem on vool. Seetõttu tehakse koroonaelektroodid tänapäeval üsna õhukesed – nende läbimõõt on tavaliselt 2–4 mm. Elektrostaatilises filtris on voolutugevus proportsionaalne rakendatava potentsiaali vahega, mistõttu pinge kasvamisega samuti paraneb tolmuosakeste kogumine. [18]

Elektrifiltri pinge ei tohi olla madalam kui sädelahendus, st see ei tohi olla väiksem kui U_0 . Väärrib märkimist, et seda väärtust mõjutavad mitmed tegurid: gaasi koostis, selle

temperatuur, rõhk ja niiskus, samuti koroonaelektroodide kuju ja arv (plaattüüpi elektrostaatilistes filtrites). Reeglina võetakse gaaside elektripuhastamisel normaalsetel temperatuuridel pingelang ühe elektroodi ja teise elektroodi ühiku kohta (seda nimetatakse pingegradiendiks) mitte rohkemaks kui 4,8 kilovolti sentimeetri kohta (kV/cm), kuumade gaaside puhul veelgi vähem - kuni 4 kV/cm. [18]

Kui gaas sisaldab niiskust ja vääveldioksiidi, suureneb selle läbilöögipinge veidi ja vastavalt sellele on võimalik pingegradiendi ise suurendada. Vastuvõetud pingegradiendi pinge väärtust saab veidi vähendada. Selleks on erinevalt elektroodidest vaja vähendada vahemaad. See muudab aga elektrostaatilist filtrit mõnevõrra keerulisemaks ja toob kaasa selle hinnatõusu. Optimaalne pinge väärtus määratakse tavaliselt tehnilise ja majandusliku arvutuse abil ning valitakse tavaliselt 50-60 kV piires. Elektroodidevaheline kaugus on enamikul juhtudel 100–200 mm. [9]

2.3 Elektrifiltri tööpõhimõte

Pinge all olevad gaasimolekulid hakkavad jagunema positiivselt ja negatiivselt laetud ionideks ja elektronideks. [4] Elektrivälja mõjul liiguvad ionid elektroodide suunas, mis on vastupidiselt laetud. Elektrivälja tugevuse suurenemisega hakkab ionide ja elektronide kiirus ja vastavalt ka kineetiline energia järk-järgult suurenema. Kui nende kiirus jõuab kriitilise väärtuseni ja ületab selle veidi, lõhestavad nad kõik teel kohatud neutraalsed molekulid. Nii ioniseeritakse kogu gaas, mis asub kahe elektroodi vahel.

Kui paralleelsete plaatide vahel moodustub samaaegselt üsna märkimisväärne arv ioone, hakkab elektrivoolu tugevus tugevalt suurenema ja tekib sädelahendus.

Tänu sellele, et gaasimolekulid saavad impulsse kindlas suunas liikumatelt ionidelt koos löökionisatsiooniga, toimub ka õhumassi üsna intensiivne liikumine.

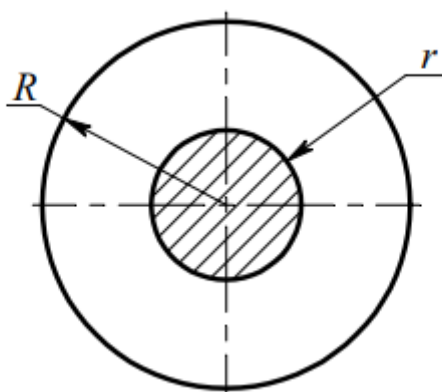
Iseioniseerimine gaaside elektrilise puhastamise meetodil viiakse läbi elektroodidele kõrgepinge rakendamisega. Selle meetodi abil ioniseerimisel on vajalik, et gaasikiht oleks läbistatud ainult teatud kaugusel kahe elektroodi vahel. [19] On vajalik, et osa gaasist jääks katkematuks ja toimiks omamoodi isolatsioonina, mis kaitseks paralleelseid elektroode lühise, sädeme või kaare tekkimise eest (et ei tekiks dielektrilist purunemist).

Selline "isolatsioon" luuakse, valides elektroodide kuju ja nendevahelise kauguse vastavalt pingele. Väärrib märkimist, et elektroodid, mis on esitatud kahe paralleelse tasapinna kujul, ei sobi sel juhul, kuna nende vahel on välja mis tahes punktis alati sama pinge, see tähendab, et väli on alati ühtlane. [17] Kui potentsiaalide erinevus ühe lameelektroodi ja teise vahel jõuab läbilöögipingeni, murtakse kogu õhk läbi ja tekib

sädelahendus, kuid õhu ioniseerumist ei toimu, kuna kogu väli on homogeenne.

Ebaühtlane väli võib tekkida ainult kontsentriliste silindrite (torud ja juhtmed) või tasapinna ja silindri (plaat ja juhtmed) kujul olevate elektroodide vahel. Otse traadi lähedal on väljapinge nii kõrge, et ioonid ja elektronid muutuvad võimeliseks ioniseerima neutraalseid molekule, kuid traadist eemaldudes väheneb välja pinge ja ionide liikumiskiirus nii palju, et löökionisatsioon lihtsalt muutub ebareaalseks.

Toru raadiuse (R) ja traadi raadiuse (r) (joonis 2.2.) vaheline suhe tuleb kindlaks määrata, et vältida sädemete tekkimist kahe silindrilise elektroodi vahel. Gaasi ioniseerimine ilma lühiseta on võimalik, kui R/r on suurem või võrdne 2,72. [18]



Joonis 2.2 Koaksiaalelektroodide skeem [18]

Nõrga helenduse ehk nn koroona ilmumine traadi ümber on peamine nähtav märk ioonilahenduse toimumisest. Seda nähtust nimetatakse koroonalahenduseks. Nõrga säraga kaasneb pidevalt iseloomulik heli – see võib olla praksumine või susisemine.

Elektroodi, mille ümber helendus tekib, nimetatakse koroonelektroodiks. "Kroon", olenevalt sellest, millise poolusega juhe on ühendatud, võib olla kas positiivne või negatiivne. Gaaside elektrilisel puhastamisel kasutatakse ainult teist võimalust, see tähendab negatiivset krooni. Kuigi erinevalt positiivsest on see vähem ühtlane, on selline "kroon" siiski võimeline võimaldama suuremat kriitilist potentsiaalide erinevust. [18]

2.4 Elektrifiltrite klassifikatsioon

Elektrifilter on seade, milles gaasid puhastatakse elektrijõudude mõjul aerosoolidest, tahketest või vedelatest osakestest. Elektrivälja toime tulemusena eemaldatakse puhastatavast gaasivoost laetud osakesed ja nad sadestuvad elektroodidele. [19]

Tahkete osakeste laadimine toimub koroonalahenduse väljas. Elektrifiltril on

ristkülikukujuline või silindriline korpus, mille sisse on paigaldatud erineva konstruktsiooniga kogumis- ja koroonaelektroodid (olenevalt elektrostaatilisest filtri otstarbest ja kasutusala, samuti tahkete osakeste eripärast). Koroona elektroodid on ühendatud kõrgepinge toiteallikaga, mille alaldatud voolupinge on 50-60 kV. [18]

Elektrifiltrid, milles kogutud tahked osakesed elektroodidelt eemaldatakse raputamisel, nimetatakse kuivadeks ja neid, milles settinud osakesed pestakse elektroodidelt maha vedelikuga või eemaldatakse vedelad osakesed (udu, pritsmed), nimetatakse märgadeks.

Elektriväljade arvu põhjal, mida puhastatud gaas järjestikku läbib, jagatakse elektrifiltrid ühevälja- ja mitme väljaga filtriteks.

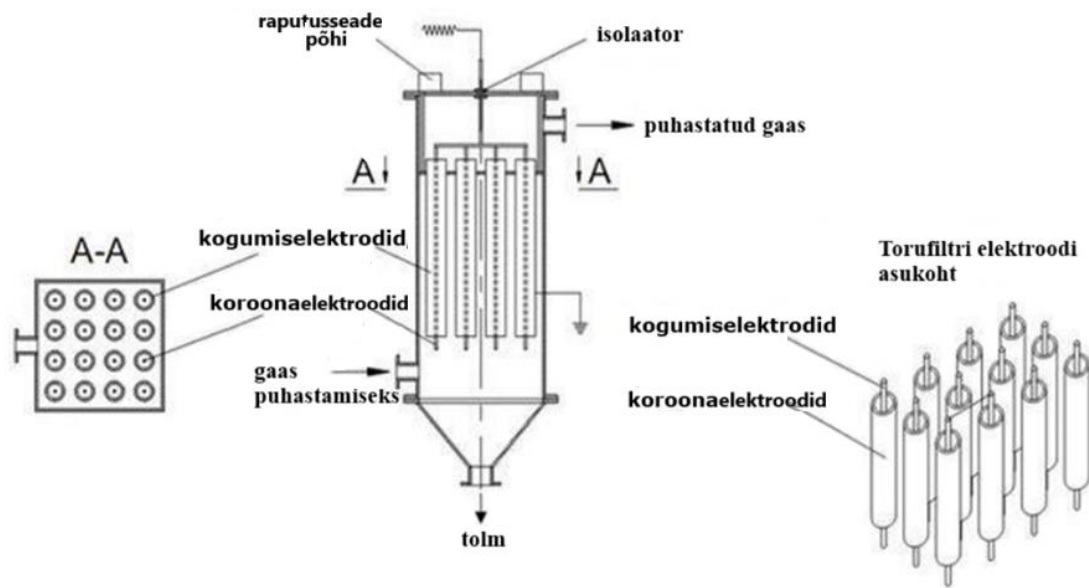
Üheastmelistes elektrifiltrites kasutatakse kogumiselektroodidena toru- või plaadikonfiguratsiooniga elektroode ja kogutud osakeste eemaldamiseks elektroodidelt kasutatakse peksurulle või vedeliku kilet. Laadimisjuhtmed ja kogumisplaadid asuvad ühes filtriosas, mis erineb kaheastmelistest elektrostaatilistest filtritest, kus laadimine ja tolmu kogumine on erinevates sektsioonides. [18]

Mitmeväljaga elektrostaatilised filtrid koosnevad mitmest kogumiselektroodide sektsioonist, mis on ühendatud järjestikku. [4] Seega töötab mitmeväljaga elektrostaatilistes filtrites mitu elektrivälja, mis võimaldab paremini puhastada gaasi.

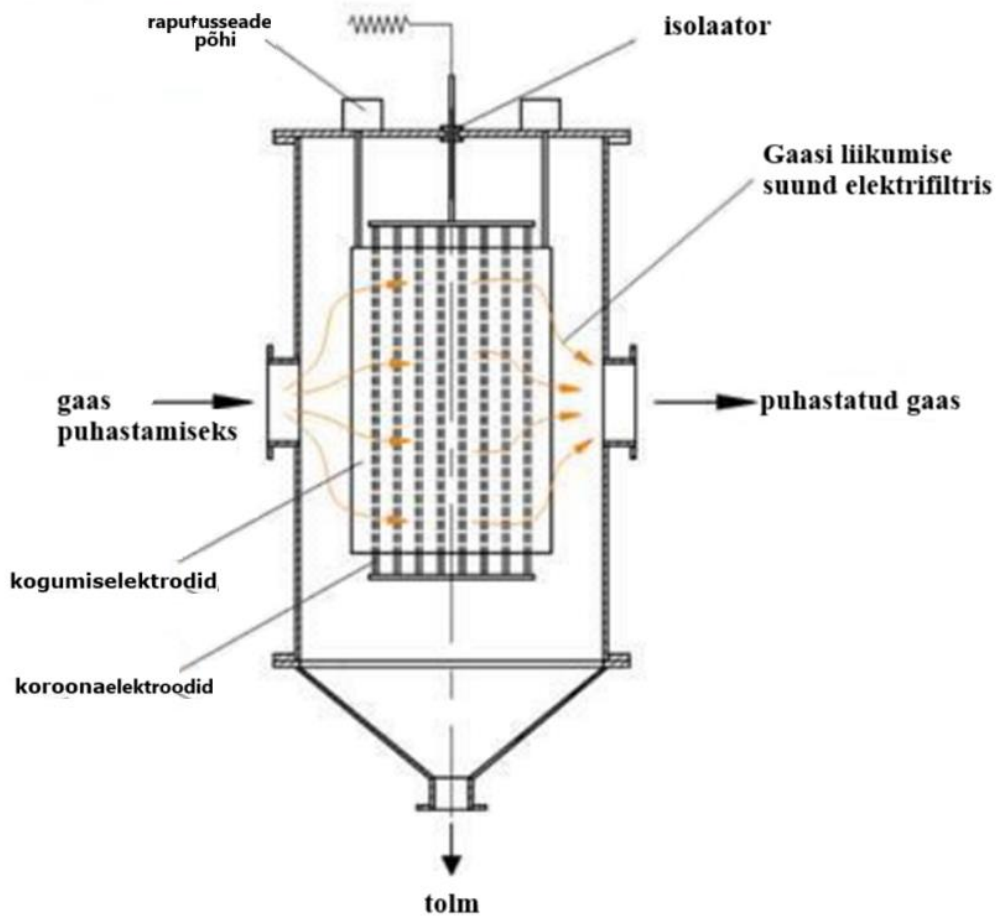
Mõnikord jagatakse elektrostaatilised filtrid gaasivooluga paralleelseteks kambriteks - sektsioonideks. [17] Selle tunnuse järgi võivad need olla ühe- või mitmeosalised. Elektrostaatilises filtris läbib puhastatav gaas aktiivset tsooni vertikaal- või horisontaalsuunas, seetõttu võivad elektrostaatilised filtrid olla vertikaalsed või horisontaalsed. [14]

Elektrostaatiliste filtrite peamised konstruktsioonitüübid on plaat-, toru-, kargstruktuuriga elektroodidega filtrid, samuti horisontaalsed ja vertikaalsed filtrid. Sõltuvalt elektrifiltrite esitatavatest nõuetest ja nende töötingimustest võib nende disain olla väga erinev.

Toru- ja plaatelektroodidega elektrifiltrite konstruktsioonid on näidatud joonistel 2.3. ja 2.4.



Joonis 2.3. Torukujuliste elektroodidega elektrifilter [18]



Joonis 2.4. Vertikaalsete plaatelektroodidega elektrifilter [18]

2.4.1 Torukujuliste elektrodidega elektrifiltrid

Nendes filtrites kasutatakse kogumiselektroodidena ümaraid metalltorusid või kuusnurkseid torusid ning koroonaelektroodid on traadid, mida tõmmatakse mööda torude telge. [14]

Torude pikkus on tavaliselt 3000–4000 mm ja läbimõõt 150–300 mm. Neutraalsed gaasid puhastatakse reeglina terastorudega elektrifiltrites. Happelised gaasid puhastatakse pliist valmistatud torudega filtrites.

Filter torukujuliste elektrodidega (joonis 2.3) koosneb järgmistest elementidest: sisse- ja väljalaskekanalid, torukujulised kogumiselektroodid, koroonaelektroodid, raam, isolaatorid, külgkarp, raputusseade ja kooniline põhi.

Selle seadme tööpõhimõte on järgmine. Altpoolt läbi gaasikanali puhastatav gaas siseneb esmalt elektrostaatilise filtri kambrisse, läheb seejärel üles, läbib kogumiselektroodides elektrivälja ja väljub seejärel läbi ülaosas asuva gaasikanali. Piki torude telge paiknevad 1,5–2 millimeetrise läbimõõduga traadist valmistatud koroonaelektroodid riputatakse ühisele raamile, mis toetub isolaatoritele. Viimased on paigaldatud külgakastidesse – see võimaldab neil vältida saastumist. Tolmuosakesed ladestuvad torude siseküljele, raputatakse maha torude kohal paikneva löögiseadme toimel ja langevad koonilisse põhja. [14]

Osakeste parimaks settimiseks tuleks gaas juhtida läbi torude ülalt alla, kuid praktikas juhitakse seda alt, kuna gaas jõuab sel juhul juba puhastatud isolaatorite asukohta. See hoiab ära isolaatorite saastumise. Mitmeseksioonilistes elektrifiltrites liigub gaas vaheldumisi - mõnikord alt üles, mõnikord ülalt alla ja läbib seega järjestikku kõiki sektsioone. [14]

2.4.2 Plaatelektroodidega elektrifiltrid

Plaatelektroodidega elektrifiltrites on kogumiselektroodideks mitu paralleelset pinda, mille vahele riputatakse rida koroonatraate. [14] Kogumiselektroodid on enamasti valmistatud siledatest metall-lehtedest. Tõsi, mõnel juhul võivad need olla valmistatud gofreeritud lehtedest või vardadest või võrkudest, mis paigaldatakse ühele raamile ja riputatakse üksteisest lähedale.

Plaatelektroodidega filtreid valmistatakse kahes variandis: need võivad olla horisontaalsed või vertikaalsed. Kogumiselektroodide kõrgus horisontaalsetes seadmetes on 3–18 meetrit ja vertikaalsetes kuni 15 meetrit. [18]

Vertikaalne elektrifilter (joon. 2.4.) koosneb järgmistest elementidest: sisse- ja väljalaskegaasikanalid, kamber, plaatsadestuselektroodid ja koroonaelektroodid.

Sellise elektrifiltri tööpõhimõte on järgmine. Gaas siseneb sisselaskegaasikanali kaudu elektrifiltri kambrisse, läheb ümber selle vaheseina, liigub alt üles plaatkogumiselektroodide vahele ja jõuab koroonaelektroodide väljale, misjärel eemaldatakse see seadmest läbi väljalaskeava gaasikanali. Elektrifiltris olevad elektrodid ripuvad vabalt kambri ülaosas. Tolm settib kogumiselektroodide plaatidele ja raputamisel langeb kambri alumisse ossa, misjärel eemaldatakse see seadmest. [18]

Selle filtri kambrid on tellistest ja tolmuksiltsid sellisest vastupidavast materjalist nagu raudbetoon, mis on ka seest vooderdatud happekindla tellisega.

Puhastavad gaasid sisenevad esmalt läbi sisendlõõri kambrisse ja seejärel pärast jaotusvõrkude läbimist aparadi kahte kambrisse, mis on paralleelselt ühendatud.

Võred on tehtud pöörlevalt, et neid tolmust puhastada. [18] Need jaotavad gaasi kogu elektrostaatilisest filtri ristlõikes.

Gaas, mis on läbinud elektrivälja ja seadme sisendisse paigaldatud drossellukku, siseneb kambrisse ja väljub seejärel elektrifiltrist läbi väljalaskegaasikanali.

Sisselaskeklappide all on ka nn drosselklapid, mille abil blokeeritakse elektrodide raputamise ajal gaasi vool. [9]

Elektroodidele settinud tolmu raputatakse maha ja ta langeb kogumitesse, kust see perioodiliselt maha laaditakse.

Vertikaalsed kahekambriksed elektrifiltrid, mis töötavad väävelhappe tootmisel tekkivate ahjugaaside puhastamiseks, on võimelised vähendama tolmuksisaldust kuni 0,2 grammi kuupmeetri kohta gaasi kiirusel 0,7 meetrit sekundis. [4]

Horisontaalne plaatielektroodidega elektrifilter, mida kasutatakse tolmuosakeste eemaldamiseks kõrge (400–450 °C) temperatuuriga gaasidest, koosneb järgmistest elementidest: sisse- ja väljalaskekanalid, kamber, kogumis- ja koroonaelektrodid, tala, käivitusventilaator ja isolaatorite kast. [18]

Vibratsiooni vältimiseks üksteise lähedale riputatud elektrodid on tavaliselt valmistatud üsna jämedast (läbimõõt 8 mm) terasvarrastest.

Tänu sellele, et gaasivool liigub horisontaalsuunas ja läbib järjest kuni kolm elektrivälja (aparadi kolmes kambris), saavutatakse gaasi kõrgeim puhastusaste horisontaalsetes plaatielektroodidega elektrifiltrites. [9]

Elektrifiltri konstruktsiooni valikul on määravad sellised tegurid nagu puhastatava gaasi omadused (keemiline koostis, temperatuur, rõhk ja niiskus), selle puhastamise aste, aga ka dispergeeritud faasi omadused (kontsentratsioon, osakeste läbimõõt ja elektrijuhtivus jt).

Torukujuliste elektrodidega elektrifiltritel on plaatelektrodidega filtrite ees mõned eelised. [18] Need jaotavad gaasi paremini ja loovad tõhusama elektrivälja, mis võimaldab veidi parandada gaasi puhastamist või suurendada selle voolu kiirust ehk tõsta seadme tootlikkust.

Kuid torukujuliste elektrodidega filtritel on lisaks eelistele ka mõned puudused. Neid on üsna raske paigaldada ja kogumiselektrodide raputamine on keeruline; need elektrodid ka sageli kõikuvad. Energiatarve torukujuliste elektrodidega seadmetes on veidi suurem kui plaatelektrodidega filtrites. [18]

Torukujuliste elektrodidega filtreid kasutatakse tavaliselt siis, kui on vajalik gaasi efektiivne puhastamine või sadestamise tingimused on gaasi või tolmu spetsiifiliste omaduste tõttu mõnevõrra keerulisemad, samuti juhtudel, kui elektrodide raputamine pole vajalik (näiteks udud eemaldamisel).

Plaatelektrodidega filtritel on järgmised eelised: paigaldamise lihtsus, elektrodide raputamise lihtsus ja võimalus tõsta kambri tootlikkust (muidugi teatud määral) ilma selle esialgseid mõõtmeid suurendamata. [18]

2.5 Elektrodid

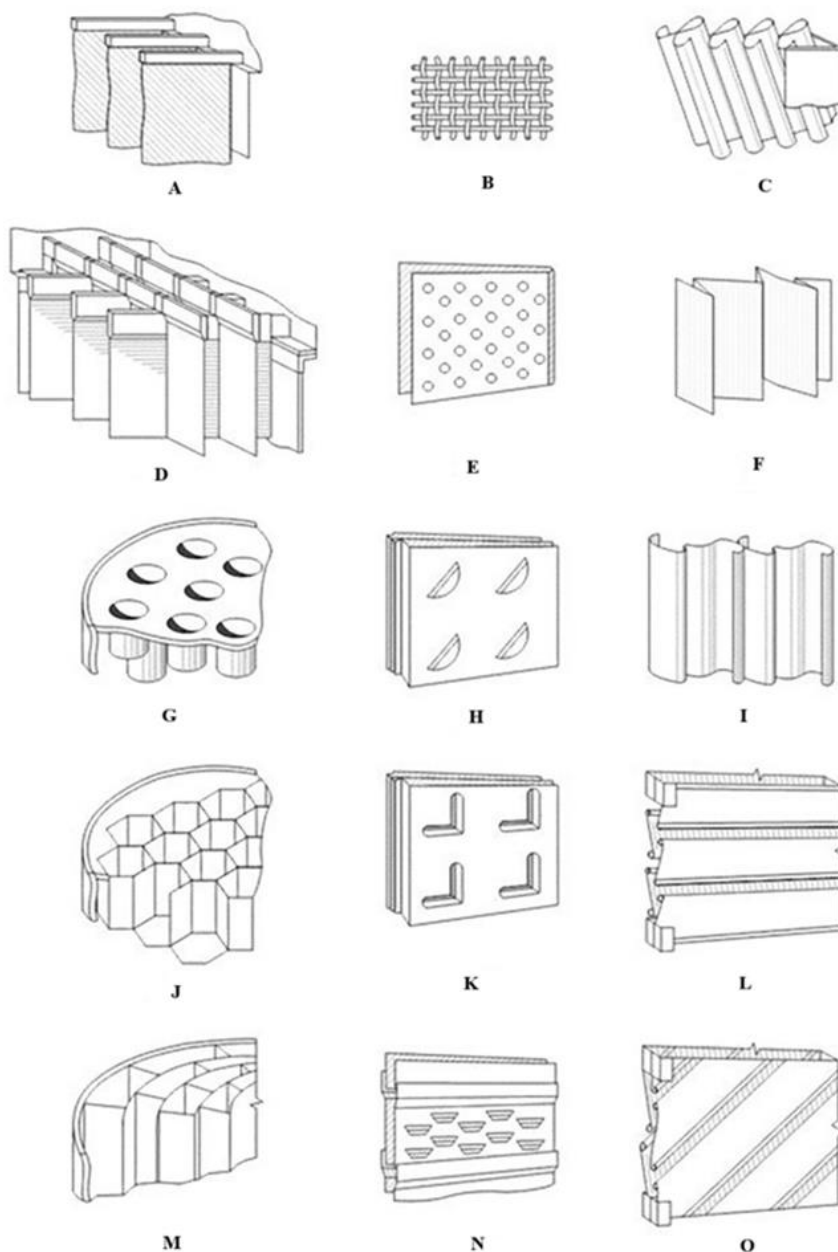
Kogumis- ja koroonaelektrodid paigutatakse reeglina metallist keevitatud korpuse sisse, harvadel juhtudel raudbetoonkorpusesse, mis on valmistatud U-kujuliste raamidena. Korpuse sees olevaid seadmeid laaditakse kas pealt või küljelt. Korpuse välisküljel peab olema soojusisolatsioon, et vältida temperatuuri deformatsioone ja niiskuse kondenseerumist. [9]

Tolmunud gaasi etteandmise ja ühtlase jaotamise seade koosneb reeglina gaasijaotusrestide süsteemist, mis on paigaldatud peakambri ette, kus asub kogumis- ja koroonaelektrodide süsteem, ning koosneb perforeeritud lehtedest, mis on paigaldatud kahel kõrgusjärgul, nende avatud ristlõige jääb vahemikku 35–50 protsenti. Elektrifiltrites kinni jäänud tolmu eemaldamiseks kasutatakse spetsiaalseid elektrodide raputussüsteeme.

Kuivades elektrifiltrites kasutatakse tavaliselt mitmeid selliseid süsteeme – vedru-nukk, löökvasar, vibratsiooni- või magnetimpulssüsteem. [14] Lisaks saab kinnipüütud osakesi elektrodidelt lihtsalt veega maha pesta. Elektrifiltrite eelised: gaasi kõrgeima puhastusastme võimalus (kuni 99,9%), madalad energiakulud (kuni 0,8 kW 1000 m³ gaasi kohta), gaasi puhastamist saab teostada ka kõrgetel temperatuuridel, puhastus protsessi saab täielikult automatiseerida.

2.5.1 Kogumiselektroodid

Kogumiselektroodidele esitatakse järgmised nõuded: nad peavad olema tugevad, jäigad, sileda pinnaga, et kinni jäänud tolmu saaks probleemideta eemaldada; samuti neil peavad olema piisavalt kõrged aerodünaamilised omadused. [18] Kogumiselektroodid jaotatakse vastavalt nende kujule ja konstruktsioonile tinglikult kolme suurde rühma: 1) plaatielektroodid; 2) karbikujulised elektroodid; 3) soonelektroodid. (joon. 2.5)



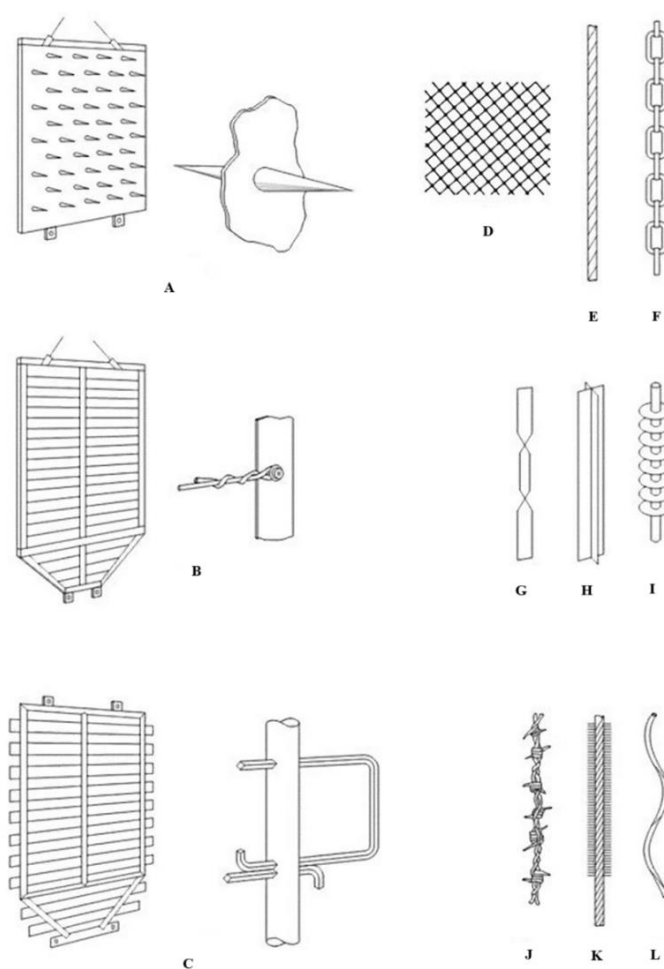
Kogumiselektroodide tüübid: plaatielektroodid: a - leht; b - võrk; c - varras;
karbikujulised elektroodid: e - perforeeritud; h, l - tasku; m, n, o - tulbikujuline;
soonelektroodid: c - Waltheri elektroodides; f - ja i - kujuline; g, j, m vertikaalsed torukujulised ümmargused, kuusnurksed ja võrklõiked.

Joonis 2.5. Kogumiselektroodide tüübid [18]

2.5.2 Koroonaelektroodid

Koroonaelektroodidele esitatakse järgmised nõuded: need peavad olema täpse kujuga, et tagada intensiivne ja piisavalt ühtlane koroonalahendus; neil on mehaaniline tugevus ja jäikus, et tagada usaldusväärne, tõrgeteta ja vastupidav töö raputamise ja vibratsiooni tingimustes; neid on lihtne valmistada ja nad on suhteliselt odavad, kuna koroonaelektroodide üldine pikkus võib olla kuni 10 km; nad peavad olema vastupidavad agressiivsele keskkonnale. [18]

Koroonaelektroode on kaks suurt rühma: fikseeritud tühjenduspunktideta elektroodid ja kogu elektroodi pikkuses fikseeritud tühjenduspunktidega elektroodid. Teise puhul on tühjendusallikateks teravad eendid või naelad ning elektroodi tööd on võimalik juhtida. Selleks see vaja muuta naeladevahelist vahemaad (Joonis 2.6)



Koroonaelektroodid: a, b, c, i, j, k
fikseeritud tühjenduspunktidega: d, e, f, g, h, m ilma fikseeritud tühjenduspunktideta

Joonis 2.6. Koroonaelektroodid [18]

3. ARVUTUSLIK OSA

Ettevõtte kavatseb osta elektrifiltri kaubamärgiga EGB1M1-30-7,5-6-2. Selles lõputöö osas on tehtud arvutused, et näidata selle filtri tõhusust lendtuha püüdmisel.

Arvutused on teostatud vastavalt raamatus L. B. Naumova "Heitgaaside puhastussüsteemi moderniseerimine isobutaani dehüdrogeenimise protsessis" toodud metoodikale.

Algandmed arvutamiseks:

Gaaside temperatuur T_{gaasid} , °C	60
Vaakum süsteemis P_r , kPa	2
Tolmusisaldus gaasides z , g/m	25
Gaasi kiirus elektrifiltris V_g , m/s.....	0,8
Koroonaelektroodi raadius R , m.....	$25 \cdot 10^{-3}$
Koroonaelektroodide vaheline kaugus d_k , m	0,24
Koroonaelektroodide aktiivne pikkus L_k , m.....	7.7
Kogumiselektroodide arv n , tk.....	16
Kogumiselektroodide pindala S_1 , m ²	355
Kogumis- ja koroonaelektroodide vaheline kaugus H ,m	0,15
Elektrifiltri aktiivtsooni pikkus L ,m	7,68
Pinge, keskmine väärtus U_{avg} , kV	60
Elektrifiltri aktiivne ristlõikepindala S ,m ²	7.5

Tabel 3.1 Suitsugaaside keemiline koostis elektrostaatilise filtri sisselaskeava juures

Näitaja	Mõõtühik	Parameetrid	
		Kuivgaas	Niiske gaas
CO ₂	mahu%	22.1	14
O ₂	mahu%	0.1	0.1
CO	mahu%	3.6	2.3
H ₂	mahu%	2.3	1.4
N ₂	mahu%	70.5	38
Parafiinsüsiivesinikud	mahu%	1.3	0.8
Olefiinsüsiivesinikud	mahu%	0.1	0.1
Veeaur	mahu%	0	43.2
SO ₂	mg / m ³	1200	

Tabeli 3.1 jätk

H ₂ S	mg /m ³	300
Disperssete osakeste diameeter, mikronid		
<1	%	21
1-2,5	%	24
2,5-10	%	35

3.1 Põlevkivituha elektriliste parameetrite arvutamine

Puhastatud gaasi suhteline tihedus β

$$\beta = \frac{P \cdot (273 \cdot t_{ct})}{P_{ct} \cdot (273 + t)} \quad (3.1)$$

Standardrõhk P_{st} , Pa101325

Standardtemperatuur t_{st} , °C 20

$$P = P_{st} - P_r$$

$$P = 101325 - 2000 = 99\,325 \text{ Pa}$$

$$\beta = \frac{99325 \cdot (273 \cdot 20)}{101325 \cdot (273 + 260)} = 0.539$$

Kriitiline elektrivälja tugevus E_{kr}

$$E_{kr} = 3.04 \cdot \left(\beta + 0.0311 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{R}} \right) \cdot 10^6 \quad (3.2)$$

$$E_{kr} = 3.04 \cdot \left(0.539 + 0.0311 \cdot \sqrt{\frac{0.539}{1.25 \cdot 10^{-5}}} \right) \cdot 10^6 = 3.60 \cdot 10^6 \frac{V}{m}$$

Koroonaelektroodi kriitiline pingeline U_{kr}

$$U_{kr} = E_{kp} \cdot R \cdot \left(\frac{\pi H}{d_k} - \ln \frac{2\pi R}{d_k} \right) \quad (3.3)$$

$$U_{kr} = 3.60 \cdot 10^6 \cdot 1.25 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{3.14 \cdot 0.15}{0.24} - \ln \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 1.25 \cdot 10^{-5}}{0.24} \right) = 24.5 \cdot 10^3 \text{ V}$$

Koroonaelektroodi lineaarne voolutihedus I_0

$$I_0 = \frac{4\pi^2 k \vartheta \cdot U \cdot (U - U_0)}{9 \cdot 10^9 \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\pi H}{d_k} - \ln \frac{2\pi R}{d_k} \right)} \quad (3.4)$$

Ioonide liikuvuse koefitsient, k $2,1 \cdot 10^{-4}$

Ionide liikuvus on kiirus, mille ion omandab elektriväljas väljatugevusega, mis on võrdne ühega.

ϑ – koefitsient, mis sõltub H/S väärtusest

Kui $H / S = 0,15/0,24 = 0,625$, siis $\vartheta = 7,7 \cdot 10^{-2} (N \cdot s / m^2) / (kg/m^3)$

$$I_0 = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 7,7 \cdot 10^{-7} \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot (60 \cdot 10^3 - 27.4 \cdot 10^3)}{9 \cdot 10^9 \cdot 0.24^2 \cdot \left(\frac{3.14 \cdot 0.15}{0.24} - \ln \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 1.25 \cdot 10^{-5}}{0.24} \right)} = 0.368 \cdot 10^{-3} \frac{A}{m}$$

Tabel 3.2. ϑ koefitsiendi väärtused sõltuvalt H/S [13]

H/S	0,6	0,625	0,7	0,8
ϑ	0,08	0,077	0,68	0,46

Tabel 3.3 Ionide liikuvuse väärtused erinevate gaasiliste keskkondade jaoks [13]

Gaas	$K \cdot 10^4 m^2 / (V \cdot s)$
Lämmastik	1,85
Ammoniaak	0,65
Vesinik	8,10
Kuiv õhk	2,10
Veeaur (100 °C)	0,57
Vääveldioksiid	0,41

Elektrivoolu pinge E plaatelektroodide jaoks

$$E = \sqrt{\frac{8I_0 \cdot H}{4\pi\epsilon_0 k d_k}} \quad (3.5)$$

ϵ_0 - õhu dielektriline konstant, $8,85 \cdot 10^{-12} F/m$

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot 0.368 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15}{4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 0.24}} = 2.81 \cdot 10^5 \frac{V}{m}$$

Suitsugaasi komponentide dünaamiline viskoossus μ

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.6)$$

C – Sutherlandi konstant iga gaasi jaoks;

T – temperatuur, K

μ_0 – dünaamilise viskoossusteguri väärtus standardtingimustes, Pa·s [13]

$$\mu_{(N_2)} = 17.7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{533 + 114} \cdot \left(\frac{533}{273}\right)^{\frac{2}{3}} = 2.89 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_{(O_2)} = 20.3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{533 + 114} \cdot \left(\frac{533}{273}\right)^{\frac{2}{3}} = 3.31 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_{(CO_2)} = 14,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{533 + 114} \cdot \left(\frac{533}{273}\right)^{\frac{2}{3}} = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_{(H_2)} = 8.8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{533 + 114} \cdot \left(\frac{533}{273}\right)^{\frac{2}{3}} = 2.86 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_{(CO)} = 17.5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 114}{533 + 114} \cdot \left(\frac{533}{273}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.43 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Suitsugaaside dünaamiline viskoossus

$$\frac{M_{segu}}{\mu_{segu}} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i \cdot M_i}{\mu_i} \quad (3.7)$$

$$\frac{M_{segu}}{\mu_{segu}} = \frac{0.705 \cdot 28}{2.89 \cdot 10^{-5}} + \frac{0.001 \cdot 32}{3.31 \cdot 10^{-5}} + \frac{0.221 \cdot 44}{2.38 \cdot 10^{-5}} + \frac{0.036 \cdot 28}{2.86 \cdot 10^{-5}} + \frac{0.023 \cdot 2}{1.43 \cdot 10^{-5}} = 113.07 \cdot 10^4$$

$$M_{segu} = 30,55$$

$$\mu_{segu} = \frac{M_{segu}}{113.07 \cdot 10^4} = \frac{30.55}{113.07 \cdot 10^4} = 2.70 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Tabel 3.4 Tolmuosakeste triivimiskiirus [7]

Näitajad	Tolmuosakeste mõõdud, mikronid			
	0-1	1-2,5	2,5-10	10-20
Keskmine osakeste suurus	0.5	1.75	6.25	10
Keskmine ekvivalentraadius r , μm	0,25	0,88	3.13	5
Massiosa, ϕ , %	21	24	35	30

Tolmuosakeste 0-2 μm triivi arvutamine

$$\omega = \frac{0.17 \cdot 10^{-11} \cdot E}{\mu} \quad (3.8)$$

$$\omega_{0-1} = \frac{0.17 \cdot 10^{-11} \cdot (2.81 \cdot 10^5)}{2.70 \cdot 10^{-5}} = 0,018 \frac{m}{s}$$

Tolmuosakeste 2-20 µm triivi arvutamine

$$\omega = \frac{0.118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot r}{\mu} \quad (3.9)$$

$$\omega_{1-2.5} = \frac{0.118 \cdot 10^{-10} \cdot (2.81 \cdot 10^5)^2 \cdot 0.88}{2.70 \cdot 10^{-5}} = 0.108 \frac{m}{s}$$

$$\omega_{2.5-10} = \frac{0.118 \cdot 10^{-10} \cdot (2.81 \cdot 10^5)^2 \cdot 3.13}{2.70 \cdot 10^{-5}} = 0.384 \frac{m}{s}$$

$$\omega_{10-20} = \frac{0.118 \cdot 10^{-10} \cdot (2.81 \cdot 10^5)^2 \cdot 5}{2.70 \cdot 10^{-5}} = 0.614 \frac{m}{s}$$

3.2 Gaasi tolmust puhastamise määra arvutamine

Sadestumise eripinna f arvutamine

$$f = \frac{S_1}{V_{\Gamma} \cdot S} \quad (3.10)$$

$$f = \frac{355}{0.8 \cdot 7.5} = 59.2$$

Triivi tegelik kiirus

$$\frac{\omega_{0-1} \cdot f}{2} = \frac{0.018 \cdot 59.2}{2} = 0.53$$

$$\frac{\omega_{1-2.5} \cdot f}{2} = \frac{0.108 \cdot 59.2}{2} = 3.19$$

$$\frac{\omega_{2.5-10} \cdot f}{2} = \frac{0.384 \cdot 59.2}{2} = 11.37$$

$$\frac{\omega_{10-20} \cdot f}{2} = \frac{0.614 \cdot 59.2}{2} = 18.17$$

Gaasi fraktsioonide puhastusaste η

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\omega f}{2}\right) \cdot 100 \quad (3.11)$$

$$\eta_{0-1} = 1 - \exp(-0.53) \cdot 100 = 41.1\%$$

$$\eta_{1-2.5} = 1 - \exp(-3.19) \cdot 100 = 95.8\%$$

$$\eta_{2.5-10} = 1 - \exp(-11.37) \cdot 100 = 99.9\%$$

$$\eta_{10-20} = 1 - \exp(-18.17) \cdot 100 = 99.9\%$$

Gaasi puhastamise üldine aste

$$\eta = \eta_{0-1} \cdot \frac{\phi_{i_{0-1}}}{100} + \eta_{1-2.5} \cdot \frac{\phi_{i_{1-2.5}}}{100} + \dots + \eta_n \cdot \frac{\phi_{i_n}}{100} \quad (3.12)$$

$$\eta = 41.1 \cdot \frac{21}{100} + 95.8 \cdot \frac{24}{100} + 99.9 \cdot \frac{35}{100} + 99.9 \cdot \frac{30}{100} = 96.56\%$$

3. 3 Järeldused

Tahke soojuskandajaga põlevkivi pürolüüsitehases mõõdeti suitsugaaside tolmuksaldust enne puhastamist. Mõõtmistulemused on toodud tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Tolmuksaldus suitsugaasides enne filtrit [20]

Kuupäev	Proovi võtmise koht	Tolmuksaldus, mg/Nm ³
21.04.2023	Enne filtrit	43
28.04.2023	Enne filtrit	62
17.05.2023	Enne filtrit	40
01.06.2023	Enne filtrit	53
09.28.2023	Enne filtrit	49

Arvutuste kohaselt leiti, et elektrifiltris puhastatakse suitsugaasid tuhasta puhastusastmega 96,56%. Siis on elektrifiltris eemaldatud tuha kogus X:

$$X_{21.04.2023} = \frac{43 \cdot 96.56}{100} = 41.52 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$X_{28.04.2023} = \frac{62 \cdot 96.56}{100} = 59.87 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$X_{17.05.2023} = \frac{40 \cdot 96.56}{100} = 38,62 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$X_{01.06.2023} = \frac{53 \cdot 96.56}{100} = 51.18 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$X_{28.09.2023} = \frac{49 \cdot 96.56}{100} = 47.31 \frac{mg^3}{Nm}$$

Elektrifiltrist väljumisel sisaldab gaas Y tuhka

$$Y_{21.04.2023} = 43 - 41.52 = 1.48 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$Y_{28.04.2023} = 62 - 59.87 = 2.13 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$Y_{17.05.2023} = 40 - 38,62 = 1.4 \frac{mg^3}{Nm}$$

$$Y_{01.06.2023} = 53 - 51.18 = 1.9 \frac{mg}{Nm^3}$$

$$Y_{28.09.2023} = 49 - 47.31 = 1.7 \frac{mg}{Nm^3}$$

Keskkonnaministeeriumi standardite kohaselt ei tohi atmosfääri sattuvad suitsugaasid sisaldada tolmu mitte rohkem kui 50 mg/Nm³. [21]

Arvutuste kohaselt leiti, et elektrifiltriga eemaldatakse suitsugaasidest umbes 96% tolmust. Heitgaaside tolmusisaldus vastab standarditele.

Pakutud elektrifiltrit saab kasutada suitsugaaside tuhast puhastamiseks tahke soojuskandja seadmel.

KOKKUVÕTE

Suitsugaaside puhastamine põlevkivituhast on oluline põlevkivi põletavatele ja töötlevatele ettevõtetele.

Põlevkivituhk on nüüdsest välja arvatud ohtlike jäätmete nimekirjast ning seda kasutatakse põllumajanduses, ehitusmaterjalide tootmisel, pinnase tugevdamiseks ja teedehituses, mis on kindlasti keskkonnale kasulik.

Seevastu põlevkivituhk on lenduv materjal, mis on inimesele kahjulik, kuna võib põhjustada erinevaid hingamisteede haigusi.

Lõputöö eesmärgiks oli leida tehnoloogiline lahendus põlevkivitöötlemistehases tekkivate suitsugaaside puhastamiseks neis sisalduvast tolmust.

Käesolevas lõputöös on pakutud suitsugaaside puhastamiseks tuhast elektrifilter. Lõputöös arutati põlevkivituha elektrilised parameetrid, tolmuosakeste triivimiskiirust, gaasi tolmust puhastamise astet. Leiti, et gaasi üldine puhastusaste on 96,56%. Ja tolmuosakeste sisaldus heitgaasides vastab Keskkonnaministeeriumi poolt kehtestatud normidele.

Elektrifiltrit kasutades on võimalik vältida tahke soojuskandja seadme aparaatide kahjustusi, samuti vähendada suitsugaaside poolt atmosfääri viidava tuha hulka eeskirjadega kehtestatud lubatud tasemeni, mis avaldavad positiivset mõju ettevõtte territooriumil viibivate inimeste tervisele.

Kavandatavat elektrifiltrit on võimalik rakendada põlevkivi tahke soojuskandja seadme suitsugaaside puhastamiseks.

SUMMARY

The topic of this graduation thesis is „Cleaning flue gases from dust in an electric filter“ in which the author of this thesis, Jana Kabrina.

The goal of the thesis was to find a technological solution for cleaning smoke gases generated at an oil shale processing plant with a solid coolant from the suspended ash contained in them.

The relevance of the work lies in the fact that people working at an installation with a solid coolant still face the problem of air pollution with ash on the territory of the enterprise. Oil shale ash damages equipment and reduces product quality, reduces illumination of production premises, can cause occupational respiratory diseases, eye damage and skin, acute and chronic poisoning of workers.

The first part of the work presents the properties of oil shale ash, as well as its harm to the environment and human health and possible areas of use.

The second part of the work presents: the operating principle of electric precipitators, what types of electrostatic precipitators can be used to remove ash from flue gases; types of electrodes installed in electric precipitators: precipitation and corona.

The third part of the work presents calculations of a dry electrostatic precipitator for the deposition of shale ash from flue gas.

When using an electric precipitator, it is possible to avoid damage to the equipment for removing waste coolant ash from the process, and also to reduce the amount of ash carried away by flue gases into the atmosphere to the permissible level established by regulations, which will have a positive effect on the health of people on the territory enterprises.

According to calculations, the ash output from the electric precipitator contains 1.7 mg/nm³.

The ash entering the electrostatic precipitator and carried away by the flue gases into the atmosphere, according to calculations, constitutes a small part of the amount that is deposited in the electrostatic precipitator.

According to the standards of the Ministry of Environment, flue gases that enter the atmosphere may contain no more than 50 mg/Nm³. [21]

This electrostatic precipitator can be used in the installation as a device for cleaning flue gases from ash.

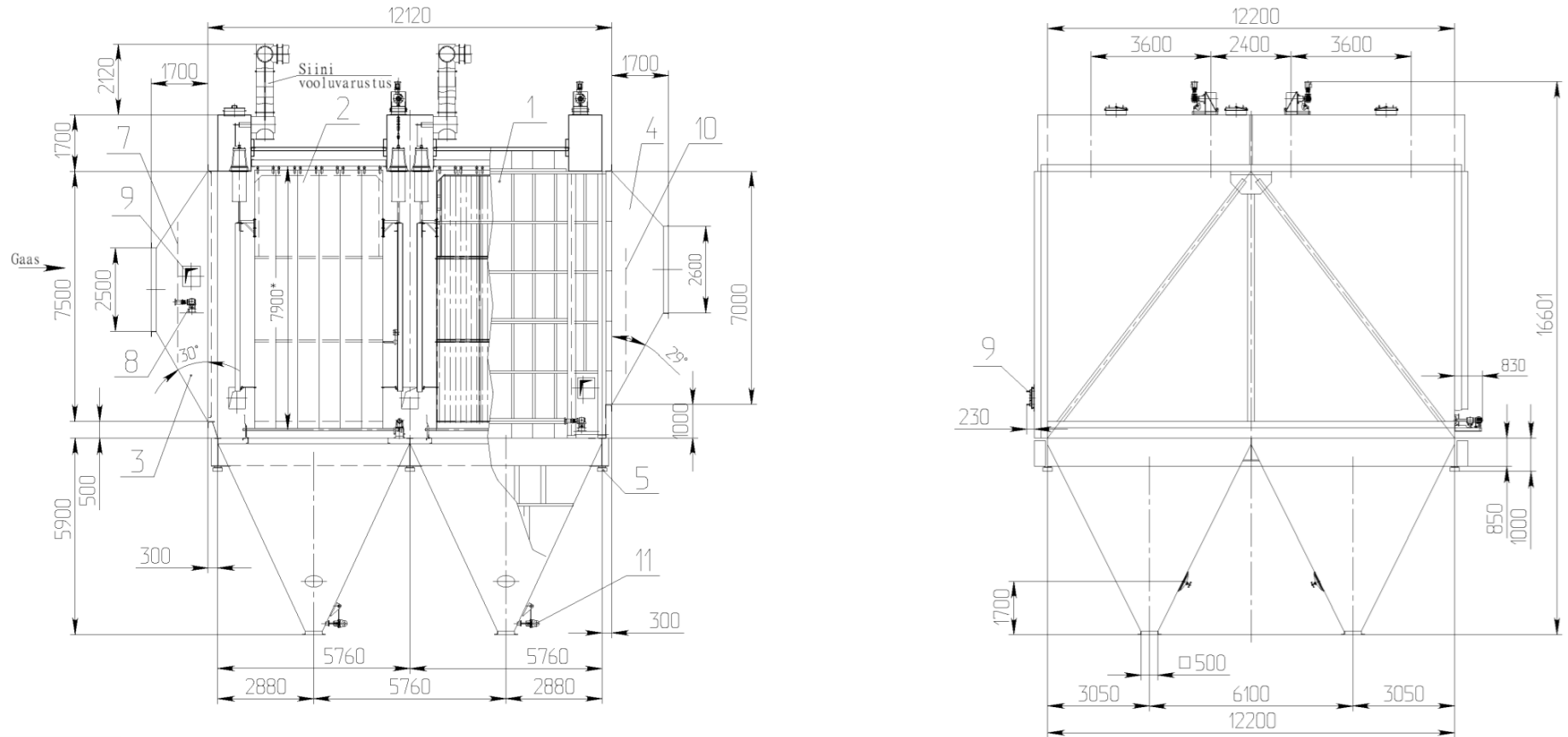
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. PÕLEVKIVITUHA JA HEITVEEMUDA KOOSUTILISEERIMINE [Võrgus] [file:///C:/Users/User/Downloads/eebb6a957e484dd4b3569b32d8214992%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/eebb6a957e484dd4b3569b32d8214992%20(5).pdf) (24.02.2024). (veebiartikkel)
2. PM osakesed õhus: mis need on ja miks on PM 2,5 ja PM 10 ohtlikud [Online] <https://dzen.ru/a/ZGOWy9-ZH0mAna6p> (25.01.2024). (veebiartikkel)
3. Elektrifiltrite arvutusmeetodite ülevaade [Võrgus] http://www.gasochistca.com/main/5_5.htm (01/10/2024). (veebiartikkel)
4. Kuivelektrostaatiline sadestaja [veebis] <https://www.andritz.com/environmental-solutions-en/clean-air-technologies/technologies-clean-air-technologies/dedusting-clean-air-technologies/dry-electrostatic-precipitator-puhta-õhu-tehnoloogiad> (30.02.2024). (veebiartikkel)
5. Gaasi puhastamine [Online] https://nmetau.edu.ua/fail/20_gichev_yu.a.ochistka_gazov_chast_ii.pdf (25.01.2024). (veebiartikkel)
6. Gaaside tolmueemaldus elektrifiltritega [Online] <http://ff076fd11461818.s.siteapi.org/docs/cef93e70fcb4df63acbc113d2d3000d422c9a4cc.pdf> (02.02.2024). (veebiartikkel)
7. Heitgaaside puhastussüsteemi moderniseerimine isobutaani dehüdrogeenimise protsessis [Online] https://dspace.tltsu.ru/bitvoog/123456789/2035/1/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2%20%D0%A1%D0%AE.%D0%AD%D0%A2%D0%B1%D0%B7_1131.pdf (10.02.2024). (veebiartikkel)
8. Näide elektrifiltri arvutamisest [Online] <https://studfile.net/eelvaade/10052633/lk:47/> (16.02.2024). (veebiartikkel)
9. Elektrifiltriid, gaasipuhastus, tolmu koguja [Online] <https://pkf-sinerгия.ru/artiklid/5815-elektrofiltry-gazovaya-ochistka-pyleulovitel.htm> (16.03.2024). (veebiartikkel)
10. Elektrifiltrite arvutamine [Online] <https://studfile.net/eelvaade/6214844/lk:13/> (27.03.2024). (veebiartikkel)
11. Keemiatehnoloogia [Online] [Keemiatehnoloogia \(1\).pdf](#) (27.03.2024). (veebiartikkel)
12. Elektrifiltrite arvutused [Online] https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F58656%2Fmod_ressurs%2Fcontent%2F0%2FPraktiline%20töö

- %20N%6 Elektrifiltrite arvutus %20 . pdf (29.03.2024). (veebiartikkel)
13. Aurude dünaamiline viskoossus [Onlain] <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov-gazy-raznye-dinamicheskaya-vyazkost-gazov-i-parov> (30.03.2024). (veebiartikkel)
14. Elektrostaatiline filtrid [Online] <https://patentimages.ladustamine.googleapis.com/7a/bf/57/97aa414a452e08/RU70159U1.pdf> (31.03.2024). (veebiartikkel)
15. Põlevkiviõli [Võrgus] <https://energiatalgud.ee/Põlevkiviõli> (31.01.2024). (veebiartikkel)
16. Põlevkiviõli tootmisel tekiva uttegaasi kasutusvõimaluste [Online] uuring https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/4/4f/Konist%2CA.Põlevkiviõli_tootmisel_tekkiva_uttegaasi_kasutusvõimaluste_uuring.pdf (11.02.2024). (veebiartikkel)
17. Elektrostaatilised sadestajad [veebis] <https://www.iqsdirectory.com/articles/air-pollution-control/electrostatic-precipitators.html> (01.02.2024). (veebiartikkel)
18. Elektrilised filtrid [Online] https://õlifiltrid.ru/elektrofiltrid/#mitu-väli_elektrofilter (16.01.2024). (veebiartikkel)
19. Põhilised osakeste suurused PM10 ja PM2.5 [Võrgus] <https://seetheair.org/2015/09/07/main-particle-sizes-pm10-and-pm2-5/> (18.03.2024). (veebiartikkel)
20. Tehnoloogilised eeskirjad [Raamat] (03.01.2024).
21. Suurte põletusseadmete saasteainete heite piirväärtused , nende kohaldamine mitme kütuse põletusseade korral ja väävliarastuse astma nõuded [Võrgus] <https://www.riigiteataja.ee/akt/112092018005?leiaKehtiv> (28.04.2024). (veebiartikkel)

LISA 1 ELEKTRIFILTRI EGB1M1-30-7,5-6-2 GABARIITJONIS

Korpus - 1; mehaanilised seadmed - 2; difuuser - 3; konfuuser - 4; kompilaator - 5; kontroll-luuk Ø500 - 6; difuuserivõre - 7; raputusmehhanism - 8; luuk 500x600 - 9; konfuusorivõre - 10; vibroraputamise mehhanism - 11. [20]



LISA 2 ELEKTRIFILTRI EGB1M1-30-7,5-6-2 TUGI SKEEM

T - tugi; TP – väljalaadimismehhanismi ajam; F – fikseeritud punkt. [20]

