

Energiatehnoloogia instituut

**EESTIS PAIKNEVATE KESKMISE VÕIMSUSEGA
PÕLETUSSEADMETE ÕHUEMISSIONIDE
ANALÜÜS**

**ANALYSIS OF AIR EMISSIONS FROM MEDIUM
COMBUSTION PLANTS LOCATED IN ESTONIA**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Henry Kaljusmaa

Üliõpilaskood 179045EACB

Juhendaja: Oliver Järvik, Vanemteadur

Tallinn 2020

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.

"31." 05. 2020

Autor: Henry Kaljusmaa

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina ___Henry Kaljusmaa_____ (autori nimi) (sünnikuupäev: 20.01.1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Eestis paiknevate keskmise võimsusega põletusseadmete õhuemissioonide analüüs,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on _____Oliver Järvik_____,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

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

_____allkirjastatud digitaalselt_____ (allkiri)

_____31.05.2020_____ (kuupäev)

Energiatehnoloogia instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Henry Kaljusmaa, 179045EACB
Õppekava, peeriala: EACB17/17, energiaterhnoloogia
Juhendaja(d): Vanemteadur, Oliver Järvik, 6203909

Lõputöö teema: *Eestis paiknevate keskmise võimsusega põletusseadmete õhuemissioonide analüüs*

Analysis of air emissions from medium combustion plants located in Estonia

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koostada ülevaade põletusseadmete õhuemissioonide väärtustest
2. Tutvuda õhuemissioone puudutava seadusandlusega
3. Uurida seadusandluses sätestatud piirväärtuste saavutamise võimalusi

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|---|----------------|
| 1. | Koondada katlamajade/põletusseadmete mõõdetud õhuemissioonide andmed ühtsesse tabelisse | Detsember 2019 |
| 2. | Koostada kirjanduse ülevaade põletusseadmete õhuemissioone reguleerivast seadusandlusest ja seatud piirväärtuste saavutamise võimalustest (puhastusseadmed) | Märts 2020 |
| 3. | Analüüsida Eestis paiknevate põletusseadmete olukorda õhuheitmete (piirväärtuste) seisukohast | Aprill 2020 |

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2020 a

Üliõpilane: Henry Kaljusmaa allkirjastatud digitaalselt ".....".....2020 a
/allkiri/

Juhendaja: Oliver Järvik allkirjastatud digitaalselt ".....".....2020 a
/allkiri/

Programmijuht: Oliver Järvik allkirjastatud digitaalselt ".....".....2020 a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

| | |
|---|----|
| EESSÕNA | 6 |
| Lühendite ja tähiste loetelu..... | 7 |
| SISSEJUHATUS | 8 |
| 1 Kütused..... | 10 |
| 1.1 Kütused Eestis..... | 11 |
| 1.1.1 Vedel- ja gaasilisedkütused | 11 |
| 1.1.2 Tahkekütused | 12 |
| 1.2 Jätkussuutlik biokütuse kasutus Eestis..... | 13 |
| 2 Õhusaaste | 18 |
| 2.1 Saasteainete tekkekogused erinevate kütustega ja kuidas neid vähendada | 19 |
| 2.2 Globaalne CO ₂ heitmete statistika 2018. aasta kohta..... | 21 |
| 2.3 Maailma õhu puhtus | 21 |
| 2.4 Õhusaaste ohtlikkus, olukord Eestis ja võrdlus teiste riikidega | 25 |
| 2.4.1 Eesti õhuheitmete muutused aastatel 1990-2013 | 27 |
| 2.5 Lenduvad tahked osakesed ja nende mõju tervisele | 29 |
| 2.5.1 Õhusaaste peenoskaeste näol maailmas ja Eestis | 30 |
| 3 Saasteallikad..... | 32 |
| 3.1 Keskmise võimsusega põletusseadmed..... | 32 |
| 3.2 Suure võimsusega põletusseadmed..... | 34 |
| 3.3 Põletusseadmetest tekkivate õhuheitmete vähendamine ja suitsugaaside puhastamine..... | 36 |
| 4. Eksperimentaalne osa | 40 |
| 4.1 Andmetöötlus..... | 40 |
| 4.2 Kasutatavate kütuste koostis..... | 41 |
| 4.3 Olemasolevate põletusseadmete vastavus Euroopa Liidu direktiividele..... | 42 |
| 4.4 Asfalditehaste analüüs..... | 50 |
| KOKKUVÕTE | 52 |
| SUMMARY | 54 |
| Kasutatud kirjanduse loetelu | 56 |

EESSÕNA

Käesolev lõputöö annab ülevaate Eestis kasutatavatest erinevatest kütustest, õhuheitmete tekkekogustest maailmas ja õhukvaliteedist erinevates piirkondades üle maailma. Samuti käsitletakse erinevate õhusaastekomponentide ohtlikkust keskkonnale ja inimesele. Töös on välja toodud Euroopa Liidus kehtestatud piirnormid põletusseadmete õhuheitmetele, nendega koos on kirjeldatud ka erinevaid põletusseadmete suitsugaaside puhastustehnoloogiaid, mis võimaldavad selliseid põletusseadmete õhuheitmeid nagu vääveldioksiid, lämmastikoksiidid ja tolmu viia vastavusse seatud piirväärtustega. Töö eksperimentaalses osas analüüsiti 93 aruannet, milles on erineva võimsusega põletusseadmed ja nende õhuemissioonide kogused ja uuritakse nende vastavust piirnormidele. Töös uuritakse ka enimkasutatavate kütuste elementaarkoostist ja eraldi analüüsitakse ka asfalditehaste õhuemissioone.

Tänuavaldus on suunatud Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna Energiatehnoloogia instituudi vanemteadurile, keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia õppekava programmijuhile, Keemiatehnika Teadus- ja Arenduskeskuse juhile ja bakalaureuse töö juhendajale Oliver Järvikule, kes aitas kaasa bakalaureuse töö teema sõnastamisel, algandmete kogumisel ja vastas kõigile lõputööga seotud küsimustele.

Märksõnad : õhuemissioonid, põletusseade, katel, õhukvaliteet, bakalaureusetöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

LNG – veeldatud maagaas (*Liquified Natural Gas*)

LOÜ – lenduvad orgaanilised ühendid (ingl k VOC)

LPG – veeldatud naftagaas (ingl k *Liquified Petrol Gas*)

MB/D – miljonit tunni päevas (Millions of Barrels per Day)

OECD – Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon (ingl k *Organisation for Economic Co-operation and Development*)

PM_{2,5} – lenduvad tahked osakesed, mille diameeter on alla 2,5 mikromeetri

PM₁₀ – lenduvad tahked osakesed, mille diameeter on alla 10 mikromeetri

PMsum – lenduvad tahked osakesed

ÜRO – Ühinenud Rahvaste Organisatsioon

SISSEJUHATUS

Saasteainete õhuemissioonid on arvestatav probleem ja paljud riigid aktiivselt tegelevad nende vähendamisega. Näiteks Hiina, kes üritab vähendada tolmu heitme koguseid vahetades kivisöel töötavaid põletusseadmeid maagaasil töötavate vastu ja Euroopa Liidu liikemesriigid järgivad ühtset seadusandlust, mille järgi on põletusseadmed grupeeritud ja neile kehtivad sõltuvalt kütusest piirnormid SO₂, NO_x ja tolmu koguste kohta (mg/Nm³). Õhuemissioonide vähendamine on tähtis, sest maailmas on mitmeid piirkondi, kus inimestel õues viibimine on tervisele kahjulik. Inimesele kõige suurem ohuallikas on PM_{2,5} ehk ülipeenosakesed, mille diameeter on väiksem kui 2,5 mikromeetrit. Need jõuavad hingamiselundkonda ja võivad sealt edasi jõuda ka inimese vereringesse, põhjustades raskeid tervisehädasid ja ka enneaegset surma. Euroopa Liidus on ette nähtud piirnormid põletusseadmete õhuheitmetele, mis lähevad karmimaks põletusseadme võimsuse kasvuga. Seetõttu on võimsamate põletusseadmete puhul vaja teha suuremad investeeringud suitsugaaside puhastusseadmetesse. Suitsugaaside puhastamiseks on mitmeid tehnoloogiaid ja erinevad tehnoloogilised seadmed on mõeldud erienvate saasteainete eemaldamiseks. Näiteks tsüklon, elektrifilter ja kottfilter on mõeldud suitsugaasidest lenduvate tahkete osakeste eemaldamiseks. NO_x heitme vähendamiseks on selektiivne mittekatalüütiline või katalüütiline reaktsioon ja SO₂ heitme vähendamiseks on suitsugaaside pesur ja pihustusabsorberid. Töö aktuaalsus seisneb selles, et ka Eesti põletusseadmed peavad vastama etteantud piirnormidele ja kogutud andmed 93 aruandest põletusseadmete õhuemissioonide kohta annavad analüüsidest aimu Eesti olukorrast - kui paljud põletusseadmed vastavad normidele ja kui paljud vajavad täiendavaid investeeringuid suitsugaaside puhastusseadmetesse või kütuse vahetust. Uuritud põletusseadmed jagati kolme rühma: tahkekütuse põletusseadmed, vedel- ja gaasiliste kütuste põletusseadmed ning asfalditehased, milles toimub tehnoloogiline protsess ja põletites põletatakse vedelat või gaasilist kütust. Analüüsitud põletusseadmete hulgas oli kõige rohkem tahkekütuste põletusseadmeid. Seejuures kasutatakse Eestis põhiliselt hakkepuitu ja vähemal määral (perioodiliselt) tükkturvast. Kuna õhuemissioonid on otseselt sõltuvad põletatavast kütusest, siis analüüsitakse ka töös nende kahe kütuse elementaarkoostise varieeruvust. Kuna hakkepuidu osakaal on tahketekütuste osas nii suur ja pigem endiselt kasvamas, siis on välja toodud ka statistika Eesti puidumajanduses jätkusuutlikusest. Vedelkütuste osas domineerib põlekiviõli ja gaasilise kütuse osas maagaas, kuid antud töö raames uuritud põletusseadmetest moodustasid need väiksema osa võrreldes tahkekütuse kateldegaga. Asfalditehaseid käsitletakse töös eraldi põletusseadmetena, sest neil on tavalisest katlast mitu olulist erienvust. Esiteks nad ei tööta aastaringselt, vaid töötavad vajaduspõhiselt tellimuste

järgi ja teiseks nende tolmu heide ei ole tingitud kütuse põletamisest, vaid hoopis asfaldi tootmisel kasutatavast toorainest. Töö annab ülevaate eelkõige Eesti keskmise võimsusega põletusseadmete vastavusest piirnormidele, sest suurte põletusseadmete arv andmemassiivi hulgas oli liiga väike, et arvestatavaid järeldusi teha, samas suured põletusseadmed ei tohiks olla murekoht, sest neil on peal püsimonitooring.

1 Kütused

Maailmas kasutatakse energeetika valdkonnas palju erinevaid kütuseid. Käesolev peatükk käsitlebki olulisemaid kütuseid nii maailmas kui ka Eestis. Samuti antakse siin ülevaade nende kütuste keskkonnamõjust. Kütused on välja toodud tähtsuse järjekorras maailma elektri toodangu osakaalu järgi.

Kivisüsi on fossiilne kütus ja tekitab probleeme õhusaaste ja kasvuhoonegaaside näol, aga on sellele vaatamata maailma energiamajanduses tähtsal kohal. Kivisöest toodetakse üle kolmandiku maailmas toodetavast elektrist – 2018. aasta seisuga 38,5%. Kivisüsi on ka äärmiselt oluline kütus tööstuses, näiteks raua ja terase tootmisel. Suure tõenäosusega kivisöe osatähtsus energeetikas lähiajal ei vähene, sest kivisöe kasutus on mitmes Aasia riigis kasvutrendis. Siiski on eesmärgiks võetud, et kivisöe põletamisel tekkivat õhusaastet tuleb vähendada ja mitmetes riikides tehakse jõupingutusi, et töötada välja tõhusamaid ja vähem saastavaid tehnoloogiaid ning neid kasutusse juurutada [1].

Võttes taastuva energiaallikad ühtseks liigiks, siis koos moodustavad need 2018. aasta seisuga 26% maailma kogu elektritoodangust. Põhilised taastuvenergeetika valdkonnad on tänapäeval tuule-, hüdro- ja päikeseenergia ning tahked biokütused. Taastuvenergia liike on muidugi rohkem, kuid ülejäänud on kasutuses tunduvalt väiksemates mastaapides. Energeetikas on Euroopas ja ka mõnedes teistes riikides võetud eesmärgiks liikuda üle säästvale ja vähem süsinikumahukamale energiasüsteemile ning selle eesmärgi keskmeks on just taastuvenergia. Taastuvenergia kasutus on viimastel aastatel suurenenud jõudsalt tänu poliitilisele toetusele ja kulude vähenemisele eelkõige päikesepaneelide ja tuulegeneraatorite osas. Taastuvenergeetika on saanud arvestatavaks osaks elektrienergia tootmisest, kuid transpordi- ja küttesektoris pole taastuvenergia veel olulist läbimurret saavutanud [2].

Maagaasil on mitmeid eeliseid teiste fossiilsete kütuste ees nagu puhtamalt põlemine ja kiiremini taastumine võrreldes teiste fossiilsete kütustega. Viimase 10 aasta jooksul tekkinud lisaenergia vajadusest on maagaas katnud peaaegu ühe kolmandiku - see on suurem kui ühegi teise kütuse osa ning sellest lähtuvalt on maagaasi kasutus tõusnud maailmas märgatavalt. 2018. aastal tõusis maagaasi kogu kasutus 4,6%, kõige suuremad maagaasi kasutuse suurendajad olid USA, Hiina ja mitmed Lähis-Ida riigid. Maagaasist saadav energia moodustab 23% maailma primaarenergiast ja natuke vähem kui veerandi kogu elektrienergiast. Maagaasi suureks eeliseks on hea ladestatavus ja gaasil töötavate elektrijaamade paindlikkus tarbimise kõikumisele. See võimaldab antud

kütust kombineerida erinevate taastuenergiaallikatega, mille varustuskindlus on kõikuv. Nii parandab maagaas oluliselt piirkonna elektri varustuskindlust. Maagaasiturg on muutumas järjest globaalsemaks, sest turul aina laieneb põlevkivigaasi ja veeldatud maagaasi osakaal [3].

Tuumaenergia omapära ja tänuväarsus on tingitud sellest, et ajalooliselt on just tuumaenergial kõige suurem panus süsinikuvaba elektritootmisesse ja sellel on endiselt väga suur potentsiaal aidata kaasa energeetikasektori dekarboniseerimisele. 2017. aasta seisuga oli tuumaenergia elektritoodang 2636030 GWh. 2018. aasta jooksul lisandus 11,2 GW võimsust tuumaenergiale ja töötas 452 tuumaenergia reaktorit. Sellegipoolest on tuumaenergia tulevik maailmas ebakindel, sest paljudes piirkondades on mureks ohutuse küsimused ja avalikkuse vastupanu. Seega on tuumaenergial tulevikku just eelkõige riikides, kus tahetakse energia tarbimist suurendada ja õhuheitmeid vähendada [4].

Nafta on üks tuntumaid kütuseid eelkõige just oma laia kasutusala tõttu. 2017. aasta maailma elektritoodangust 841878 GWh toodeti naftat kasutades. Naftaturgudel on praegusel ajal toimumas suured muutused, kus USA juhib ülemaailmsete naftatarnete laienemist ja nõudlus hakkab nihkuma arenenud maadest ja transpordikütustelt hoopis Aasia ja naftakeemiatoodete poole. Nafta vajadus on tihedalt seotud globaalse majanduse tugevusega. Näiteks, mida suurem on inimeste tarbimisvõimekus, seda rohkem toodetakse naftakeemiatooteid nagu näiteks plast. See esineb kõige rohkem just arengumaades, kus inimeste sissetulekud suurenevad. Teine valdkond, mille tõttu on naftakütuste vajadus kasvamas, on lennundus, kus viimastel aastatel on ehitatud juurde mitmeid lennuvälju ja kasvatatud lennukiparkide suurust. Ka see on kõige märkimisväärselt toimunud just arengumaades. 2018. aastal oli nafta kogutoodang 98,3 MB/D [5].

1.1 Kütused Eestis

1.1.1 Vedel- ja gaasilisedkütused

Vedelkütused on kütuse liik, mille põlevaine on vedel, seda kasutatakse energiaallikana soojusjõumasinaates ja teistes energiamuundamisseadmetes. Gaasilised kütused on kütuse liik, mille põlevaine on gaasilisel kujul ja seda kasutatakse elektritootmiseks, kateldes soojuse tootmiseks või tööstuses tootmisprotsesside käimas hoidmiseks. Eriti tähtsad on vedelkütused mootorsõidukite juures - enamused mootorsõidukeid kasutab

vedelaid kütuseid. Eestis enim kasutatavad vedelkütused ja gaasilised kütused on: diiselkütus, petrooleum, bensiin, lennukibensiin, põlevkivikütteõli, raske kütteõli, kerge kütteõli, vedelgaas, maagaas ja põlevkivigaas. Neist vedelkütused on Eestis reguleeritud Vedelkütuse seadusega, mis sätestab nende kvaliteedinõuded ja maksumäära. Eestis kulub umbes 25% tarbitavast energiast transpordile ja suur osa neist vedelkütustest impordidakse sisse välismaalt. Eesti kohalik vedelkütuse on põlevkiviõli, mida me omakorda suures osas ekspordime välisriikidesse. Kuna Eesti ise enamuse vedelkütuseid ei tooda, siis lähtuvalt Vedelkütusevaru seadusest hoitakse 2013. aasta seisuga Eestis kütuse varu, mis peaks vastama 47 päeva sisemaisele tarbimisele. Kütusevaru haldamisega ja täiendamisega tegeleb riigile kuuluv Eesti Vedelkütusevaru agentuur. Viimastel aastatel on Eestis põlevkiviõli tarbimine vaikselt kasvanud kuid veel jõudsamalt on kasvanud tootmine. Toodetakse siiski eelkõige ekspordiks, mis moodustab umbes 85% toodangust ja mida müüakse eelkõige Belgiasse, Hollandisse ja Rootsi. Kuna Eesti pinnal transpordikütuseid ei toodeta, ega toorainet ümber ei töödelda, siis Eesti impordib kõiki transpordikütuseid enamjaolt Soomest ja Leedust [6].

Siin lõigus tuuakse välja ka statistikat vedel ja gaasiliste kütuste kasutusest Eesti elektri ja soojuse tootmisel ühe aasta jooksul Statistikaameti 2018 aasta andmete järgi. Maagaas on eelkõige soojatootmiseks, sest soojatootmiseks kulus teda 274 mln m³, samas kui elektri tootmiseks ainult 8 mln m³ ja energiasektori omatarve oli 24 mln m³. Põlevkivi kütteõli jaguneb raskeks ja kerkgeks fraktsiooniks, neid kumbagi energiasektori omatarbeks ei kasutata, küll aga kasutatakse Eestis rasket fraktsiooni rohkem kui kerget. Põlevkivi kütteõli rasket fraktsiooni kasutatakse elektrienergia tootmiseks 11 tuhat tonni ja soojuse tootmiseks 17 tuhat tonni, samas kui kerget fraktsiooni ainult kolm tuhat tonni soojuse tootmiseks. Kerget kütteõlist ja diislikütusest ei toodetud elektrienergiat, küll aga soojatootmises kasutati kaheksa tuhat tonni ja energiasektori omatarbes 13 tuhat tonni. Biogaasil puudus energiasektori omatarve, küll aga kasutati seda elektritootmisel 8 mln m³ ja soojatootmisel 6 mln m³. Suur siseriiklik tarve on Eestis põlevkivigaasil, mida kasutati elektritootmiseks 409 mln m³, soojusetootmisel 362 mln m³ ja energiasektori omatarbes 384 mln m³ [7].

1.1.2 Tahkekütused

Tahkekütused Eestis on seadusega määratletud - kütteenaina kasutatavad tahkekütused on: põlevkivi, koks, kivisüsi, pruunsüsi, turvas ja puitkütused. Eestis enim kasutatavad tahked biokütused on: puuhalud, hakkpuit, pelletid, puitbrikett aga ka väiksemal määral aianduses ja loomadepidamisel tekkivat ja kasutatavaid orgaanilisi

materjale nagu sõnnik, põhk, turvas ning peale nende muud olme- ja tööstusjätmed, mille põletamisel eraldub soojust. Tahkekütused on vedelkütustega hinna poolest seotud, seega on vedelkütuste hinnatõus maailmaturul tinginud ka tahkekütuste hinnatõusu. Sellest hoolimata on kodumaiste tahkekütuste nagu puit ja turvas konkurentsivõimelisus soojuse- ja elektriturul paranemas. Nimetatud kütuste kodumaine tarbimine on kasvutrendis ja senine eksport on vähenemas. Kasvutrend on suuresti tingitud nii rajatud koostootmisjaamadest kui ka alles plaanitavatest. Need koostootmisjaamad on siiani kasutanud kütusena puitu ja turvast ning on näidanud end keskkonnasõbralikuna ja majanduslikult efektiivsena. Ei tohi unustada, et nad on ka kõvasti suurendanud nõudlust nende ressursside järgi ja sellega kaasneb ka hinnatõus ning oht ületada jätkusuutliku tarbimise printsiipi. Ka kodumaises põlevkivi kasutuses on muutused toimumas - vähenemas on põlevkivist elektritootmine ja põlevkivi ressursi suunatakse aina rohkem põlevkiviõli tootmiseks. Eestis on arenenud ka puidugraanuli tööstus. Puidugraanul on maailmaturul saanud oluliseks kütuseliigiks, Eesti toodangust on enamus ekspordiks. Kodumaine tarbimine sellel on siiani minimaalne ja suurimad Eesti puidugraanuli ostjad on Taani ja Rootsi [6].

1.2 Jätkusuutlik biokütuse kasutus Eestis

Jätkusuutlik biokütuse kasutus Eestis hõlmab eelkõige hakkepuidu kasutust. Hakkepuidu kasutus on Eesti energeetikasektoris olnud juba aastast 2000 kasvutrendis nagu on näha ka jooniselt (Joonis 0.1) ja joonisega (Joonis 0.2) iseloomustatakse puitkütust kasutavate kateldestatistikat [8]. Seda eelkõige katlamajades ja tööstuses kasutatavates kateldes. Arvestades, et biokütuseid loetakse taastuvateks kütusteks, siis võib seda trendi lugeda keskkonnale positiivseks. Positiivse efekti annab ka biokütuste konkurentsivõimeline hind. Seetõttu on tekkinud plaane seda veel rohkem kasutada - ehitada suuri koostootmisjaamu ja põletada hakkepuitu koos põlevkiviga Narva põlevkivi keevkihtkateldes. Aga siinkohal on tehtud uuringud näidanud ohtusid. 2013. aasta keskkonnaministeeriumi uuring näitas, et kliimapolitiika seisukohalt oleks jätkusuutlik Eestis raiuda 8,4 miljonit tihumeetrit aastas, samas metsanduse arengukavas oli seatud selleks aastaks eesmärk raiuda 12 miljonit tihumeetrit. Sealt on juba näha, et metsaressurss meil Eestis liiga külluslik ei ole ja mõnel aastal see isegi vähenb, mille tõttu tuleb väga täpselt läbi mõelda, kus seda kõige mõistlikum on kasutada. Arengukava räägib, et aastaks 2020 on mõistlik raie maht 13-15 miljonit tihumeetrit, arvestades siis üle Eesti erinevate puuliikide raieküpseks saamist seda iseloomustab tabel (Tabel 0.1) [8]. Jäeb mulje, et tulevikus on ikka kindlasti võimalik kasvatada puiduhakke oskaalu energeetikasektoris seda iseloomustab tabel (Tabel 0.3) [8], aga siin ei tohi unustada, et lisaks sellele, et väärispuit läheb väärindamiseks

erinevatesse ettevõttesse, siis puiduhakkeks sobivale puidule konkureerivad ka inimesed, kes ostavad halupuitu omatarbeks, plaaditootjad, paberitootjad, graanuli tootjad ja tselluloosi tootjad, puidu raiemahtu sortimentide järgi iseloomustab tabel (Tabel 0.2) [8] [9].

Tabel 0.1 Eesti raiemaht aastal 2016 ja uuendusraie vahemikus 2019 - 2028 [8]

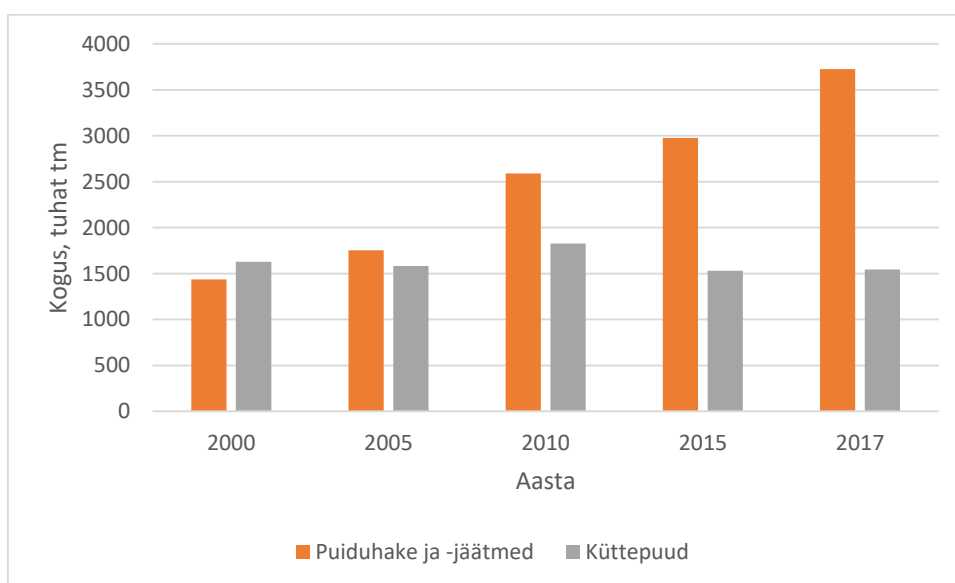
| Raiemaht 1000 tm | 2016 | 2019-2028 aastalank (uuendusraie) | Kasv |
|---------------------|------|---|-------|
| Mänd | 1548 | 2902 | 1354 |
| Kuusk | 4096 | 1846 | -2250 |
| Kask | 2388 | 2997 | 609 |
| Haab | 487 | 1079 | 592 |
| Sanglepp | 644 | 311 | -333 |
| HII-lepp | 481 | 1236 | 755 |
| KOKKU | 9644 | 10371 | 727 |

Tabel 0.2 Eesti raiemaht vahemikus 2019 – 2028 sortimentide järgi [8]

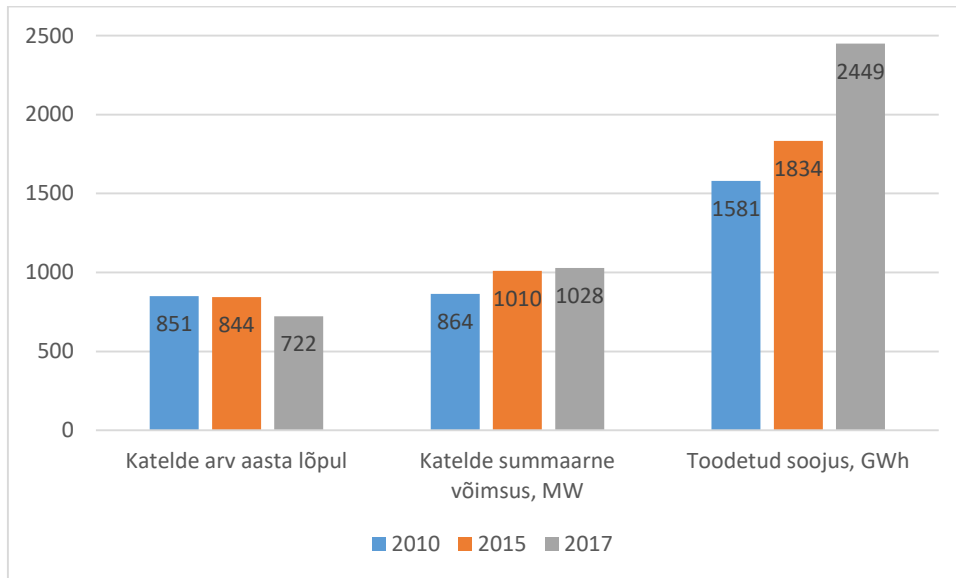
| Sortiment | Uuendusraie 1000 tm | Harvendusraie 1000 tm | Kokku 1000 tm | Osakaal % |
|-----------------|------------------------|--------------------------|---------------------|--------------|
| Mänd palk | 1242,5 | 78,1 | 1320,6 | 13,7 |
| Mänd peenpalk | 439,9 | 94,3 | 534,2 | 5,5 |
| Mänd paberipuu | 379,2 | 102,1 | 481,3 | 5,0 |
| Kuusk palk | 776,3 | 40,4 | 816,7 | 8,5 |
| Kuusk peenpalk | 330,7 | 67,6 | 398,3 | 4,1 |
| Kuusk paberipuu | 545,1 | 94,1 | 639,2 | 6,6 |
| Kask palk | 485,4 | 23,5 | 508,9 | 5,3 |
| Kask paberipuu | 1260,8 | 266,3 | 1527,1 | 15,9 |
| Haab palk | 103,1 | 4,6 | 107,7 | 1,1 |
| Haab paberipuu | 426,6 | 17,3 | 443,9 | 4,6 |
| Lepa palk | 57,8 | 4,2 | 62 | 0,6 |
| Küttepuit | 2576,3 | 211,5 | 2787,9 | 29,0 |
| KOKKU | 8623,7 | 1004,1 | 9627,9 | 100,0 |

Tabel 0.3 Eesti puitkütuste seos raiemahuga 2017 aasta näitel (1 tm = ~2 MWh) [8]

| Eesti 2017 | Mln tm | ~TWh |
|---|--------|------|
| Puidu aastane juurdekasv majandataval metsamaal | 14,09 | 28,2 |
| Raiemaht | 11 | 22 |
| Küttepuidu siseriiklik kasutus | 1,54 | 3,1 |
| Puiduhakke siseriiklik kasutus | 2,7 | 5,4 |
| Puidujäätmete siseriiklik kasutus | 1,02 | 2 |
| Puitpelleti ja -briketi siseriiklik kasutus | 0,27 | 0,6 |
| Puidu kasutus pealleti tootmiseks | 2,34 | 4,7 |
| Puitkütused kokku | 7,89 | 15,8 |
| Puitkütustes kasutatud puidu % raiemahust | 72 | 72 |



Joonis 0.1 puitkütuse kasutus koguste muutused aastatel 2000-2017 [8]



Joonis 0.2 Puit kütustel töötavate katelde statistika aastatel 2010 – 2017 [8]

Lõpetuseks tuuakse välja statistika puitkütuse osakaalust Eestis aastal 2017. Puidul põhines 34,6% energia sisemisest tarbimisest. Elektrienergia siemaine tarbimine oli 10,4 TWh, sellest 7,7% (0,8 TWh) kattis puitkütus. Soojusenergia sisemaine tarbimine oli aga 10,41 TWh, sellest 41,6% (4,2 TWh) kattis puitkütus. Lisaks sellele kasutati 2017. aastal veel puitu muudes valdkondades nagu kodumajapidamiste puitküte 3,2 TWh ja ekspordi puitgraanuli toodang 4,6 TWh. 2016. aasta seisuga võib veel välja tuua puitkütuste osakaalu Eestis toodetavast taastuvenergiast, mis on kogu 5,8 TWh-st 5 TWh ehk 86% [8].

2 Õhusaaste

Kuiv õhk koosneb enamuses lämmastikust (78%), hapnikust (21%), argoonist (1%). Kui tegemist on märja õhuga, siis võib olla veeauru osakaal (0,4-4%), soojem õhk on enamasti veeaururikkam kui jahedam õhk. Õhus leidub aga veel ka tolmu ja palju erinevaid gaase näiteks He, Ne, Kr, Xe, H₂, N₂O, CO, CO₂, CH₄, O₃, NO₂, NH₃ ja SO₂, kuid nende kogused on väga väikesed miljondikosades (ppm). Nende gaaside ja tolmu kogused on õhus piirkonniti väga erinevad, sest nad on nii inimtekkelised kui ka looduses iseeneselikult tekkivad. Näiteks 2011. aasta andmetega oli Euroopa õhus keskmiselt 391 ppm süsinikdioksiidi, mis protsentuaalselt oleks (0,0391%). Põhilised looduses esinevad nähtused, mis õhusaastet tekitavad on liivatormid, metsatulekahjud ja vulkaanipursked. Kõiki lisandgaase ja aineid atmosfääris saasteaineteks ei nimetata, ainult neid, mis esinevad piisavalt suures koguses, et kahjustada inimese tervist, keskkonda või kultuuripärandit. Õigusaktides on õhu saasteaine veelgi piiratum mõiste, seal arvestatakse ainult neid, mis on inimtekkelised

Suureks õhusaaste probleemiks on erinevad mikrogaasid ja -ühendid, mis pärinevad just kütuste põletamisest elektrijaamades, tööstustes ja transpordivahendites. Nende hulka kuuluvad inimtervisele ja loodusele kahjulikud lämmastikoksiidid ja ammoniaak. Lämmastikoksiidid kujutavad loodusele isegi suuremat ohtu kui inimesele, sest neil on võime muuta ökosüsteeme. Lämmastikuühendid satuvad mulda või veekogudesse ja esiteks tõstavad selle toitainerikkust taimedele või vetikatele ning muutes ökosüsteemi omadusi tõrjuvad nad sealt osad taimeliigid välja ja soodustavad muutusega kooskõlasolevate taimede vohamist, veekogus lisaks vetikate vohamisele põhjustavad nad ka eutrofeerumist. Teiseks lämmastikuühendid mõjutavad ka muldade ja magevee hapestumist luues jälle osadele liikidele eelised teisi väljatõrjudes elukeskkonna ebasobilikumaks muutmisega. Vääveldioksiid põhjustab happevihmasid. Ained nagu püsivad orgaanilised ühendid ja raskemetallid, mis ei mõjuta inimest kohe õhkusattudes, vaid pigem akumulieruvad keskkonnas ja kaudselt jõuavad toiduahelaga inimese organismi, kus nad on kahjulikud. Ained nagu benseen ja benso(a)püreen, mis satuvad transpordikütuste põletamisel õhku ja on tuntud vähitekitajad inimesele [10].

2.1 Saasteainete tekkekogused erinevate kütustega ja kuidas neid vähendada

Saasteained põhjustavad erinevaid keskkonnaprobleeme, aga samuti on nende põhjustavatel probleemidel erinev raadius. Järgnev tabel (Tabel 2.1) näitab erinevate saasteainete mõju ulatust.

Tabel 2.1. Saasteaine mõju ulatus järgi [11]

| Mõju ulatus | Saasteained |
|-------------|---|
| Lokaalne | Tahked osakesed, süsivesinikud |
| Regionaalne | Vääveldioksiid, lämmastikoksiidid, lenduvad orgaanilised osakesed |
| Globaalne | Süsinikdioksiid ja teised kasvuhoonegaasid |

Vääveldioksiid eraldub kütuste põletamisel, mis sisaldavad väävlit. Kõik kütused ei sisalda väävlit, nagu näiteks maagaas. Vääveldioksiidi eriheide on ka kütuseti üsna erinev, suurem eriheide on kivisöel ja kütteõlidel, aga puitkütustel on üsnagi madal (Tabel 2.2). Vääveldioksiidi kõige hullem mõju looduses on pinnase ja veekogude hapestumise põhjustamine ning seepärast võetakse kasutusele mitmeid meetmeid, et vähendada õhku paisatava SO₂ kogust. Näiteks suitsugaaside puhastamine või väiksema väävli sisaldusega kütuste kasutamine.

Tabel 2.2. SO₂ eriheide erinevate kütuste korra [11]

| Kütus | SO ₂ eriheide, g/GJ |
|-------------------------|--------------------------------|
| Maagaas | 0 |
| Puitkütused | 10 |
| Kerge kütteõli | 100 - 200 |
| Põlevkiviõli | 400 |
| Raske kütteõli (masuut) | 1250 |

Lämmastikoksiidid ehk NO_x moodustavad põlemisprotsessi ajal lämmastiku reagageerimisega hapnikuga. See võib toimuda ka siis, kui kütus lämmastikku ei sisalda ja reageerib põlemisõhus olev lämmastik. Keskkonnale põhjustatavad probleemid on sarnased SO₂ omadega, lisaks pinnase ja veekogude hapestumisele on probleem ka pinnase ja veekogude üleväetamisega. NO_x tekke vastu kasutatakse eelkõige põlemisprotsessi juhtimist ja kontrollimist, levinumad meetmed on liigõhutehuri vähendamine, põlemistemperatuuri optimaalsena hoidmine, suitsugaaside

retsirkuleerimine ja spetsiaalsete põletite kasutamine. Enamus kütuste eriheide jääb vahemikku 60 - 300 g/GJ, näiteks maagaasil on see madalam väärtus ja kivisöel ning raskel kütteõlil selle kõrgem väärtus.

Süsinikoksiid on kütuse mittetäieliku põlemise tulemus ja eraldub kõikide kütuste põletamisel suuremal või vähemal määral. Sealjuures tuleb märkida, et CO eriheide on gaasilistel ja vedelatel kütustel madalam kui tahketel kütustel. Näiteks puidu põletamise CO eriheide võib olla kuni neli korda suurem kui maagaasi oma. CO eriheide sõltub väga palju põletustehnoloogiast ja selle koguseid eelkõige vähendatakse põlemisprotsessi juhtimise ja reguleerimisega. CO ohtlikkus keskkonnas seisneb eelkõige kaudses seoses osooni moodustumisega troposfääri ja inimesele põhjustab otseses kokkupuutes vere hapnikusiduvuse halvenemist ning kudedes hapnikupuudust.

Kütuse põletamisel tekivad kahte sorti tahked osakesed - mittetäielikult põlenud kütuse osakesed, mida nimetatakse tahmaks ja tuha osakesed, mis on enamasti metallide oksiidid. Tekkivate tahkete osakeste kogus sõltub kütusest ja põlemisrežiimist, tahketest kütustest tekib rohkem ning vedelatest ja gaasilistest vähem. Tahkete osakeste heitkoguste vähendamiseks kõige levinum meede on multitsükloni kasutamine suitsugaaside puhastamiseks. Multitsüklonid on kõige odavam lahendus, mis suudab tagada tahkete osakeste sisalduse suitsugaasides alla 300 mg/Nm³, aga samas on nad pidevas arengus ja kui investeerida kõige kaasaegsematesse multitsüklonitesse, siis on võimalik saavutada ka tahketeosakeste kogus alla 100 mg/Nm³ suitsugaasides.

Lenduvad orgaanilised ühendid, ehk LOÜ on teatud grupp süsivesinikke, mis eraldub kütuste põletamisel. Lenduvate orgaaniliste ühendite heitmete kogused on enamasti väikesed suurtes katlamajades, kus on hea põlemisrežiim. LOÜ kogused on kõrged enamasti väikestes katlamajades, kus on halb põlemisrežiim väikese puidukatlagaga. LOÜ kahjulikkus inimesele ja loodusele seisneb eelkõige selles, et ta aitab kaasa osooni moodustumisele maapinnalähedases atmosfääri kihis.

Kütuste põletamisel eralduvad neis sisalduvad raskemetallid. Neist keskkonnale ohtlikumad on: elavhõbe, arseen, kaadium, kroom, plii, nikkel, vanaadium ja vask. Neist kõige kahjulikumad on kaadium, plii ja elavhõbe, mis on mürgised ka inimesele. Kütused, mis sisaldavad raskemetalle ja mille põletamisel eraldub neid keskkonda on näiteks kivisüsi, põlevkivi, turvas ja puit. Kõige suurem summaarne raskemetallide eriheide on kivisöel - 3455 mg/GJ, kuid neid heitme koguseid on võimalik vähendada suitsugaaside puhastamisega, kasutades näiteks multitsüklonit [11].

2.2 Globaalne CO₂ heitmete statistika 2018. aasta kohta

Alustuseks vaadeldakse riike CO₂ emissioonide järgi - nii riike, kus see on kõrge kui ka riike, kus see on madal. 2018. aastal oli seis selline: Hiina - 9467 Mt; USA - 5118 Mt; India - 2277 Mt; Venemaa - 1755 Mt; Jaapan - 1123 Mt; Saksamaa - 733 Mt; Lõuna-Korea - 704 Mt; Iraan - 632 Mt; Kanada - 596 Mt; Saudi-Araabia - 536 Mt; Indoneesia - 522 Mt; Mehhiko - 430 mt. Nüüd vaadatakse üle ka riigid järjestuse teisest otsast, kes paistavad silma just madalate CO₂ emissioonide poolest: Uus-Meremaa - 31 Mt; Norra - 39 Mt; Rootsi - 39 Mt; Portugal - 50 Mt; Rumeenia - 69 Mt; Kolumbia - 76 Mt; Tšiili - 89 Mt; Kuveit - 92 Mt; Usbekistan - 92 Mt; Belgia - 97 Mt; Nigeeria - 99 Mt; Tšehhi - 101Mt. Sai välja toodud, et riikide CO₂ heitme hulgad on maailmas vägagi erienvad. Kui vaadata tervik pilti, siis on näha, et CO₂ tase on maailmas endiselt tõusuteel, näiteks 2017. aastal tõusid CO₂ emissioonid 2,1% ja 2018. aastal 1,9%, mis on päris suur kasv, kuna me räägime miljonitest tonnidest. 2018. aasta näitel võib näidata ka CO₂ emissioonide kasvu kindlates riikides, näiteks Hiinas oli see 3,1%, Indias 4,2%, Venemaal 3,9% ja USA-s 3,1%. Viimases kahes oli kasv tingitud ka ilmastiku erinevustest võrreldes eelmise aastaga, mitte ainult tootmise suurendamisest. Lõuna-Ameerika, Euroopa ja Jaapan aga aastal 2018 oma emissioone ei kasvatanud. Jaapan ja Euroopa Liit vastupidiselt vähendasid, Euroopa Liit lausa -2,1%. Jaapani edu vähendamisel oli tingitud suuremal päikeseenergia ja tuumaenergia kasutamisel, aga Euroopa Liidu edu jagunes erinevate tasstuvenergia allikate vahel, Saksamaa üleüldise energia tarbimise vähenemises ja ka ilmastikuolud kõikusid vähem [12].

2.3 Maailma õhu puhtus

On olemas internetilehekülg wagi.info, mis kogub erienvate riikide õhukvaliteedi andmeid, analüüsib neid ja annab neile õhukvaliteedi osas hinnagu. Eriliseks teeb selle, aga see, et tegu ei ole ühekordse hinnanguga kaardi peal, vaid seda uuendatakse regulaarselt nii, et selle järgi on võimalik hinnata õhukvaliteeti kindlates piirkondades isegi reaalajas, nagu leht end reklaamib. Tegelikuses siiski uuendatakse andmeid kord tunnis või päevas või harvemini, sõltuvalt info liikumisest. Info leheküljel pärineb erienvatelt riikilikelt agentuuridelt, kes antud riigis õhuemissioonide mõõtmisega tegelevad. Järgnevalt toon mõned näited: Islandi Keskkonnagentuur, India Keskne Saastekontrolli Nõukogu, Mehhiko Riiklik Ökoloogia ja Kliimamuutuste Instituut, Õhukvaliteedi Teabehaldussüsteem Peruu, Bagdadi õhukvaliteedi jälgia USA suursaatkonnas, Jaapani atmosfääri keskkonna piirkondlik vaatlussüsteem koos Kanagawa prefektuuri keskkonnateaduse uurimiskeskusega jne. Ka Eesti kohta leiab seal andmeid, mida esitab sinna Eesti Keskkonnauringute Keskus. Leheküljel

analüüsitakse andmed ja jagatakse kuute kategooriasse inimesele mõju alusel, tabelis on välja toodud lehekülje originaal kirjeldus (Tabel 2.3): 1. hea tase – ohutu, 2. keskmine tase - ohutu või keskmiselt ohtlik mõnele üksikule väga nõrga tervisega inimesele, 3. tase, mis on ebatervislik teatud terviseprobleemidega inimgruppidele, aga enamusele siiski üsna ohutu, 4. ebatervislik tase, mis mõjutab kõigi tervist ja nõrgema tervisega inimestele on keskmisest ohtlikum, 5. väga ebatervislik tase - peaks kuulutama välja hädaolukorra ja kõikide inimeste tervis on ohus, 6. viimane kõige raskem tase on ohtlik, mis põhjustab kõige raskemaid tervisemõjusid, kaasaarvatud surma. Erinevad tasemed on määratud õhukvaliteediindeksi järgi, mis piirkonniti erineb ja sõltub erinevate saasteainete kontsetratsioonist antud piirkonna mõõteseadme juures. Nüüd vaadatakse üle, et mida ja mis probleeme see kaart näitab. Esiteks Eesti õhukvaliteet on hea esimesel tasemel enamuse piirkondades, ainult Kunda ja Tartu piirkonnas on mõneks tunniks tõusnud PM_{2,5} ja PM₁₀ kogused õhus teisele astmele. Euroopa pilt on Eestiga üldjoontes sarnane. Õhukvaliteet on enamasti esimeses kahes klassis ja probleemi kohad on ka PM_{2,5} ja PM₁₀, mis mõneks tunniks kuni mõneks päevaks tõusevad teisele või kolmandale tasemele. Leiduvad mõned üksikud erandid, näiteks Itaalias Saronno Santuario piirkonnas tõusevad PM_{2,5} kogused ka vahepeal neljandale tasemele. Teine näide oleks Ciutadella de Menorca Hispaanias, kus näiteks on O₃ tase tõusnud isegi 5. ja 6. tasemele rohkemaks kui kuueks tunniks. Kolmas näide oleks Bosnia ja Hertsegoviinast Zenica Tetovo piirkonnast, kus lisaks PM_{2,5} tasemele, mis kipub olema 3. ja 4. tasemel läheb vahepeal ka SO₂ heide kolmandale tasemele. Põhja-Ameerika pilt on Euroopaga sarnane, ainult natuke rohkem on seal piirkondi, kus tahked osaksed õhus küündivad kolmandale tasemele. Lõuna-Ameerikas näeme, et lisaks PM_{2,5} ja PM₁₀ koguste kasvule võrreldes Põhja-Ameerika ja Euroopaga on seal ka mitmeid piirkondi, kus on probleeme NO₂ ja O₃ kogustega õhus. Sellised kohad on näiteks: San Mateo Atenco ja Santa Fe Mehhikos. Columbias asub Lõuna-Ameerika kõige kehvema õhukvaliteediga piirkond Usaquen, PM_{2,5} kogused tõusevad kuni mitmeks päevaks 4. ja 5. tasemele, selle juures on veel ka PM₁₀ ja CO koguste kasvud kuni kolmandale tasemele. Aafrika kohta leht eriti head ülevaadet ei anna, kuna mõõdetakse õhuheitmeid üsna vähestes piirkondades. Korralikult on kajastatud ainult Lõuna- Aafrika Vabariik, kus esineb piirkondi, kus õhukvaliteet on hea ja keskmine, aga esineb ka piirkondi, kus tahkete osakeste osakaal on 3-4 tasemel. Huvitav ja autori jaoks ka üllatav on see, et Lõuna-Aafrika Vabariigis on piirkondi, kus on pidevalt O₃ heitmete kogused 3-5 tasemel, sellised piirkonnad on näiteks Dilokong, Khayelitsha ja Springs. Ülejäänud Aafrikas on mõõdetud enamvähem ainult PM_{2,5} ja Keenias ja Etioopias on selle tase 3-4 ja hullemad tasemed nagu 4-5 on Malis ja Etioopias. Kõige hullem piirkond, mida on rohkem mõõdetud on Uganda, seal on igas mõõtepiirkonnas PM_{2,5} heitmete kogus vahemikus 3-6 tase ja see pilt on üsna murettekitav ja tekitab

küsimuse, kas Ugandas on üldse piirkondi, kus õues viibimine ei kahjusta inimese tervist. Araabia poolsaare kandis on seis enamasti õhuheitmete valdkonnas hea, ainuke probleem on PM_{2,5}, mis kohati küündib 3-4 tasemele. Ka Venemaa on üks riike, mille kohta väga täpset ülevaadet leht ei anna, sest arvestades Venemaa suurust, on mõõtepiirkondi vähe ja mõõtepiirkondades on õhuheitmete tasemed enamasti 2. või 3. tasemel seega ei mingeid erilisi murekohti, aga samas on näha, et kindlasti on võimalusi õhukvaliteeti parandada. Uhkust võivad tunda praeguse seisuga Uus-Meremaa, Austraalia ja Jaapan, kus õhukvaliteet on enamasti hea ja kus kõige madalama õhukvaliteediga piirkondades on õhukvaliteet ikkagi keskmise kvaliteediga. Lõpetuseks vaadatakse üle ka kõige suuremad murekohad, milleks on Hiina, India ja ka Tai. Alustan Indiast, kus on ainult üks hea õhukvaliteediga piirkond Flag Pole. Ülejäänud India seis aga on raske, enamasti piirkondade õhukvaliteet on 3 või 4 ja leidub kõvasti piirkondi kus seis on 5 või 6. Olukorrale lisab kriitilisust ka see, et õhukvaliteedi kehv tase ei seisne enamasti piirkondades mitte ainult ühe saasteaine külluses, vaid hoopis mitme. Näiteks Bhosari piirkonnas on probleeme PM_{2,5}, PM₁₀ ja CO heitmetega, Ballygunge piirkonnas aga on probleem PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, NO₂, CO heitmetega ja Patti Mehar, kus on probleemid PM_{2,5}, PM₁₀ ja SO₂. Lisaks sellele on seal veel piirkondi, kus õhukvaliteet on pidevalt tasemel kuus, mis on inimestele väga kahjulik näiteks: Vindhyachal STPS, RIICO Ind. Area III, Hombegowda Nagar ja Sector-D Industrial Area jne. Nagu viimasest nimest võis välja lugeda on riigis tööstuspiirkondi, kus on pidevalt õhukvaliteet inimestele ohtlik ja tuletab meelde tööstusrevolutsiooni aegu ajaloo tunnist. Tai olukord on Indiaga sarnane, kuna enamasti piirkondade õhukvaliteedi tasemega 3 või 4 ja ühtegi hea õhukvaliteediga piirkonda ei leiagi. Küll aga on olukord selles mõttes parem, et ei leidu ka tase kuuega piirkondi. Hiina, kes on maailmas tootmise valdkonnas üks juhtivaid riike, omab ka sellele vastavaid õhuheitmete koguseid ja pilt Hiinast tundub üsnagi halb, kuid sellele vaatamata, kui võrrelda teda teiste riikidega, kus õhukvaliteet on üsnagi halb, siis esimene ja kõige tähtsam erinevus on see, et Hiina tunnistab endale seda probleemi ja üritab seda jõudumööda lahendada. See väljendub selles, et väga põhjalikult ja tihedalt mõõdetakse paljudes piirkondades õhuheitmete koguseid, teiseks kuna Hiina on päris suur riik avatakse seal aina uusi keskkonnaga tegelevaid agentuure, mis keskenduvad just kindlatele piirkondadele, ja kolmandaks ei ole Hiinas eriti piirkondi, kus õhukvaliteet oleks tasemel kuus, keskmine õhukvaliteedi tase on 3-4. Küll aga jääb silma probleem lendavate tahkete osakekestega - need on paljudes piirkondades probleemiks ja seega puudutavad suurt osa Hiina rahvast ning tuginedes WHO arvamusele on just PM_{2,5} inimese tervisele kõige ohtlikum ja see valdkond kindlasti tuleb Hiinas tulevikus kontrolli alla saada, kui Hiina tahab, et nende inimestel ei oleks ohtlik õues viibida. Hiina senine suund probleemi lahendamiseks tundub suurendada energiasektoris maagaasi osakaalu ja sellega vähendada lenduvate

tahkete osakeste hulka [13]. Lõpetuseks tuuakse välja olukorra pilt, mida peatükis kirjeldati joonisega (Joonis 2.1).

Tabel 2.3 Õhukvaliteedi indeksi seletus [13]

| AQI | Air Pollution Level | Health Implications | Cautionary Statement (for PM2.5) |
|---------|--------------------------------|--|---|
| 0 - 50 | Good | Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk | None |
| 51 -100 | Moderate | Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution. | Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion. |
| 101-150 | Unhealthy for Sensitive Groups | Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected. | Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion. |
| 151-200 | Unhealthy | Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects | Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid prolonged outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit prolonged outdoor exertion |
| 201-300 | Very Unhealthy | Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected. | Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid all outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit outdoor exertion. |
| 300+ | Hazardous | Health alert: everyone may experience more serious health effects | Everyone should avoid all outdoor exertion |



Joonis 2.1. Waqi.info 29.02.2020 Maailma õhukvaliteedi seis [13]

2.4 Õhusaaste ohtlikkus, olukord Eestis ja võrdlus teiste riikidega

Tänapäeval on õhu saastatus üks suurimaid keskkonnariske inimese tervisele. ÜRO eestvedamisel tähistatakse juba aastast 1974. ülemaailmset keskkonnapäeva, milleks on 5.juuni. Selle päeva eesmärk on tõsta inimeste teadlikkust keskkonnaprobleemidest ja pöörata tähelepanu keskkonnakaitse olulisusele. Igal aastal keskendutakse eelkõige võõrustajariigi peamistele keskkonnaprobleemidele ja nende lahendamisele. 2019. aastal oli võõrustajariik Hiina ja ürituse keskne teema oli õhusaastatus. Maailma Terviseorganisatsiooni hinnangul hingab 90% inimestest saastunud õhku ja see põhjustab aastas ligikaudu 7 miljonit enneaegset surma [14]. Sellest lähtuvalt peab Maailma Terviseorganisatsioon õhusaastet väga tõsiseks keskkonnariskiks inimese tervisele ning saastunud õhk asub enneaegsete surmapõhjuste edetabeli neljandal kohal.

Maailma Terviseorganisatsiooni hinnangul on kõige ohtlikum õhu saasteaine inimesele ülipeenosakesed (PM_{2,5}). Nende ohtlikkus seisneb just selles, et oma väikeste mõõtmete tõttu tungivad nad sügavale inimese organismi ning jäävad sinna ja põhjustavad mitmeid terviseprobleeme. Ülipeenosakeste põhilised allikad on sõidukite heitgaasid, põlemisprotsessid ja atmosfääris toimuvad keemilised protsessid. Maailma Terviseorganisatsioon seadis õhu puhtusele kriteeriumi, et PM_{2,5} peab olema aastas keskmiselt alla 10 µg/m³. 2018. aasta õhukvaliteedi raport, aga näitas, et 73 uuritud riigist ainult 10 riigi õhukvaliteet vastas puhtaõhu kriteeriumile, nende kümne seas oli ka Eesti. Raportist oli näha, et kõige saastatuma õhuga piirkonnad olid Pakistan, India ja Bangladesh. Sellest raportist võis järeldada, et Eestis on praegu õhukvaliteet hea, mis aga ei tähenda, et meil õhusaastet ei teki [15]. 2017. aasta statistika näitas, et Eestis tekkis 9200 tonni PM_{2,5} ülipeenosakesi [16], mis pärinesid enamjaolt kütuste põletamisest: 28% tööstuslikes põletusseadmetes, 25% kodumajapidamistes ja 25% elektri ja soojuste tootmisel.

Kütuste põletamisel tekkivad olulised õhusaastet põhjustavad ühendid on lämmastik- ja vääveloksiidid, mis võivad osaliselt lahustuda veepiiskades ja muuta sademed happeliseks. Happevihmad on ohtlik globaalne probleem. Happevihmade ohtlikkus seisneb eelkõige selles, et nad otseselt kahjustavad pinnast, taimestikku ja vee-elustikku. Lisaks võivad happevihmad kahjustada ka ehitisi ja vara [17].

OECD on rahvusvaheline majandusorganisatsioon, mis tegeleb ühinenud riikide vahelise teabevahetusega, majandusanalüüside ja -prognoosidega. Siin peatükis on aga juttu

OECD-st just seetõttu, et ta kogub andmeid ja avaldab ka statistikat. Sealhulgas on statistika liikmesriikide õhuemissioonide kohta, mille alusel saab riike võrrelda. Ka Eesti on OECD liikmesriik ning Eesti õhuheitmed on 2017. aastal järgnevad: SO₂ - 38,65 tuhat tonni; NO_x - 33,12 tuhat tonni; tahked osakesed PM₁₀ - 13,91 tuhat tonni; tahked osakesed PM_{2,5} - 9,22 tuhat tonni; CO - 138,13 tuhat tonni; LOÜ - 22,23 tuhat tonni.

Nüüd tuuakse välja andmeid võrdluseks ka teiste riikide kohta. Näiteks esimesena tuuakse välja Austraalia, mis on omaette manner. 2017. aastal olid tema emissioonid: SO₂ - 2288,49 tuhat tonni, NO_x - 2665,39 tuhat tonni, CO - 2815,04 tuhat tonni, LOÜ - 1333,87 tuhat tonni. Austraalia emissioonid olid Eestist kordades suuremad, aga samuti on ka tema pindala ja rahvaarv. Imelik on ainult see, et OECD-l puuduvad andmed seal tekkivate tahkete osakeste heitmete kohta.

Teisena tuuakse välja Saksamaa andmed aastal 2017: SO₂ - 315,43 tuhat tonni, NO_x - 1184,39 tuhat tonni, tahked osakesed PM₁₀ - 206,01 tuhat tonni, tahked osakesed PM_{2,5} - 99,08 tuhat tonni, CO - 2828,19 tuhat tonni, LOÜ - 1068,40 tuhat tonni. Kuna OECD statistikas on näha ka varasemaid aastaid, kuni 1990, siis on näha, et Saksamaa on investeerinud kõvasti õhuemissioonide vähendamisesse ja need on kõvasti vähenenud antud aastate vahemikus. Võrreldes Eestiga on kõik Saksamaa emissioonid suuremad ja see on ka loogiline arvestades, et Saksamaa on pindalalt suurem kui Eesti. Ainus valdkond, kus Eesti on suurem saastaja on see, kui arvutada riigi saaste elaniku kohta.

Kolmandaks tuuakse välja Jaapani andmed, mis on nüüd tiheda asustusega saareriik. 2017. aastal olid õhuemissioonid seal: SO₂ - 695,7 tuhat tonni, NO_x - 1378,43 tuhat tonni, CO - 2656,05 tuhat tonni, LOÜ - 898,75 tuhat tonni. Ka Jaapani tahkete osakeste heitme kohta OECD andmebaasis andmed puudusid, kuid sellest hoolimata on näha, et Jaapani õhuheitmed on kõrged, arvestades, et tegu ei ole eriti suure riigiga. NO_x ja SO₂ on isegi suuremad kui Saksamaal, mis on suurem riik. Aga kui vaadata heitmete hulka elaniku kohta, siis tundub heitmete kogus loogiline, sest Jaapan on üsnagi tiheda asustusega riik.

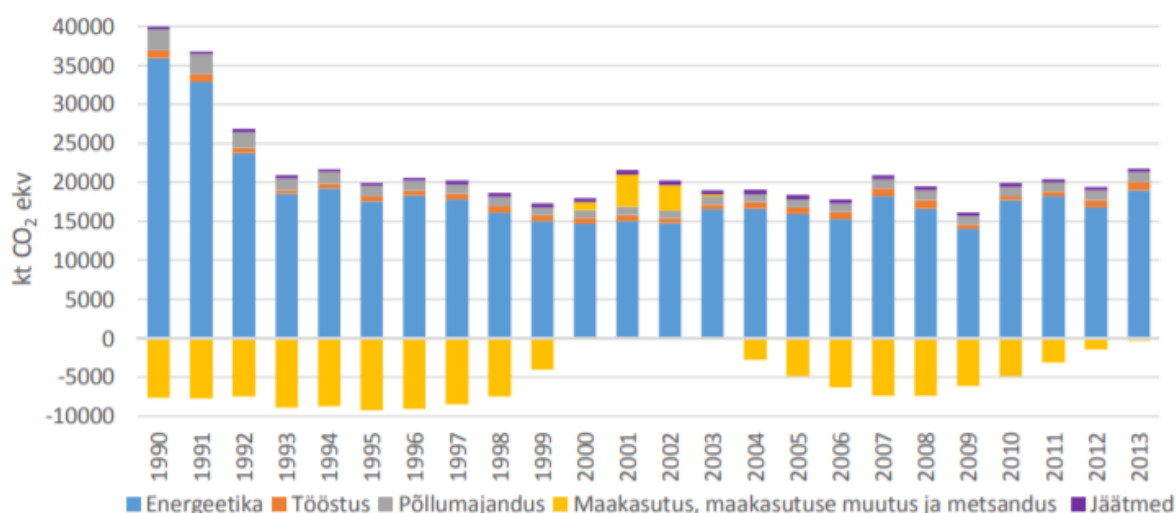
Järgmisena vaadeldakse USA - ühe maailma mõjuvõimsama suurriigi andmeid 2017. aastal. SO₂ - 2489,06 tuhat tonni, NO_x - 9667,77 tuhat tonni, tahked osakesed PM₁₀ - 15519,06 tuhat tonni, tahked osakesed PM_{2,5} - 4042,86 tuhat tonni, CO - 45017,49 tuhat tonni, LOÜ - 12488,31 tuhat tonni. Võrreldes teiste riikidega, mida olen siiani käsitlenud, on USA saastekogused märkimisväärselt suuremad isegi, kui arvestada, et tegu on suure riigiga, kus elab ka suur kogus elanikke. USA, kui vaadata ajalugu kuni

aastani 1990, on teinud ka jõupingutusi, et saastekoguseid vähendada ja need on ka vilja kandnud ning USA saastekogused on aastatega mõõdukalt langenud, kuid viimastel aastatel on see protsess aina aeglustumas, kuna kliimasõbralik poliitika on USA majandusele ja mõjuvõimule ohtlikuks kujunenud ja USA tahab oma energiajulgeolekut säilitada, kasutades arvestatava osana ka fossiilkütuseid.

Nüüd võetakse vaatlus alla ka Eesti lähinaaber Soome, kus saastekogused aastal 2017 on järgmised: SO₂ - 35,28 tuhat tonni, NO_x - 124,91 tuhat tonni, tahked osakesed PM10 - 29.18 tuhat tonni, tahked osakesed PM2,5 - 17,80 tuhat tonni, CO - 326,12 tuhat tonni, LOÜ - 100,92 tuhat tonni. Soome saastekogused on Eestist kõik suuremad, väljaarvatud SO₂ heide, mis on Eestis umbes 3000 tonni suurem. See on jällegi kõik tingitud sellest, et Soome on suurem riik ja suurema elanikkonnaga kui Eesti, Eesti suurem SO₂ heide on tingitud meie põlevkivienergeetikast, kus tekib enamuse Eesti SO₂ heidet. Seda ei saa lugeda otseselt suureks murekohaks, kuna riikide heitmete ülevaade näitab, et enamuse riikides on mõne saasteaine kogus üle keskmise võrrreldes teistega, see on tingitud selle riigi ülesehitusest ja omapäradest, kuna riigid kasutavad erinevaid ressursse oma energeetika ja tööstusvajaduste rahuldamiseks ja seda ei saa muuta igalpool ühesuguseks, sest kliima, maapõuressursside olemasolu, majanduslikud tegurid ja tehnoloogia areng on maailmas riigiti vägagi erinevad [16].

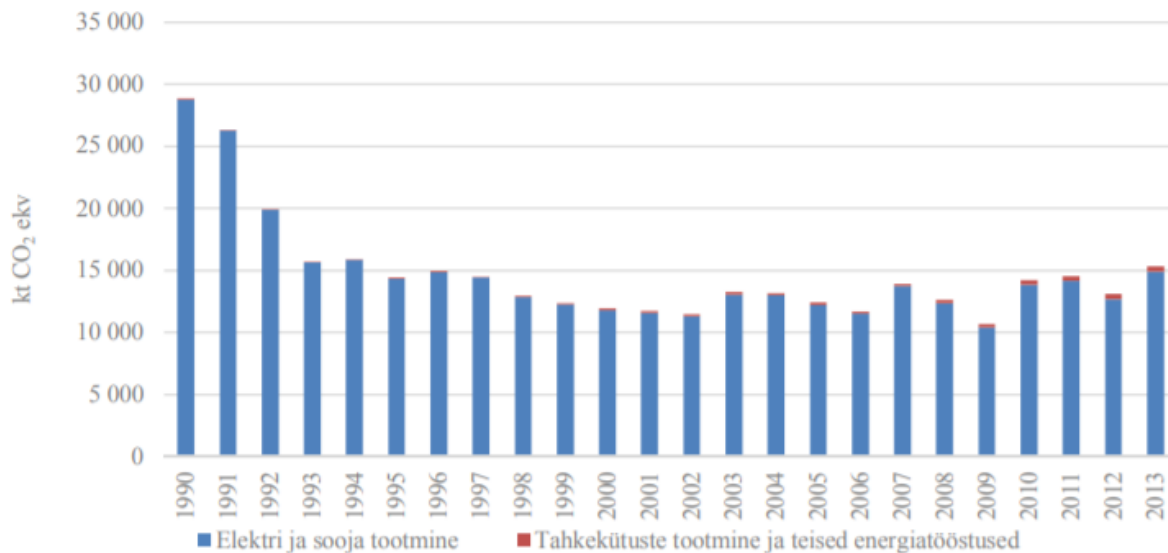
2.4.1 Eesti õhuheitmete muutused aastatel 1990-2013

Aastatel 1990-2013 vähenesid kasvuhoonegaaside heitkogused peaaegu poole võrra nagu näha joonisel (Joonis 2.) See oli põhjustatud sellest, et Eesti iseseisvumisega asendus plaanimajandus turumajandusega [18].



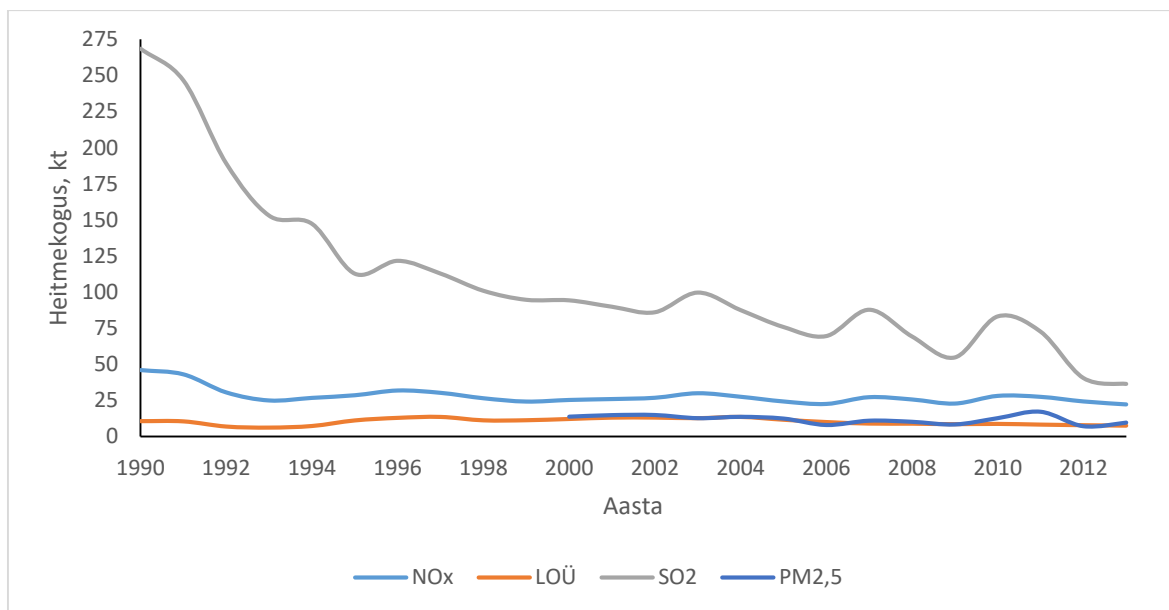
Joonis 2.2. Eesti kt CO₂ ekvivalenti kogused aastatel 1990 – 2013 [18]

2013. aastaks oli energiatööstuses toodetud kasvuhoonegaaside heitkoguste osa 15343 kt CO₂ ekvivalenti joonisel (Joonis 2.). Summaarsest kasvuhoonegaaside heitmest oli see umbes 72%. Võrreldes aluseks võetud 1990. aastaga, vähenesid heitkogused 47%.



Joonis 2.3 Eesti kt CO₂ ekvivalenti kogused energeetikasektoris aastatel 1990 – 2013 [18]

Järgnev joonis (Joonis 2.) näitab energeetikasektoris välisõhku paisatavate saasteainete heitkoguseid aastast 1990-2013. Kuigi kõikide saasteainete heitkogused on olnud enamasti langustrendis, siis ometi võib näha tabelis ka mõningaid muutusi teises suunas. SO₂ heitme langus on olnud suur, aga mitte lineaarne, selle jooksul on esinenud mitmeid mõne aastaseid tõuse. Aastatel 1994-1996 on NO_x, LOÜ ja SO₂ puhul näha saasteainete heitkogustes langustrendi asendumist väikese tõusuga, kuid see kasv kestis ainult paar aastat, millele järgnes langus. Ära tuleb märkida see et PM_{2,5} hakati mõõtma alles 2000 aastast [18].



Joonis 2.4 Eestis energeetikasektoris tekkivad õhuheitmete kogused vahemikus 1990 – 2013 [18]

2.5 Lenduvad tahked osakesed ja nende mõju tervisele

Tahked osakesed õhus võivad olla silmaga nähtavad ja võivad ka olla imepisikesed. Lai varieeruvus on tingitud sellest, et nende hulka kuuluvad kõik õhus lenduvad tahked osakesed, näiteks tahm ja suits, mis on isegi silmaga nähtavad ja imepisikesed tolmu ning mustuse osakesed, mida silmaga ei näe, ainult mikroskoobiga. Põhilised saasteallikad lenduvate tahkete osakeste jaoks on sõidukite heitgaasid, tehaste emissioonid, ehitusplatside tolm, põllutööde tolm ja kivipurustamise tolm ning puidu põletamise suits. Tahked osakesed kodus aga tekivad eelkõige toidu grillimisel puusõega või gaasiga, hoovis hao ja lehtede põletamisel või puidu põletamisel maja kütteks ahjus või kaminas.

Tahked osakesed on õhus leviv saasteaine, millega puutub kokku igal pool, täiesti tahkete osakesete vaba õhku ei leidu. Küll aga on selle kogus õhus varieeruv arvestades ilmastikutingimusi, aastaega ja kohta, kus inimene viibib. Kõige tahkete osakestega kontsentreeritum on õhk suvel, kui on otsene päikesekiirgus ja temperatuur kõrge. Inimese tervisele ohtlikud kogused on enamasti tööstuslike tegevuskohtade aladel ja tiheda liiklusega piirkondades, kus on heitgaaside osakaal õhus suur. Samuti on võimalik puutuda kokku ohtlike kogustega siseruumides, kus on suitsetatud pidevalt ja mida ei õhutata korralikult.

Inimese tervisele on ohtlik kokku puutuda eriti just suures koguses peenosakestega, mis akumulatsioonid tema hingamiselunditesse. Peenosakeste kahju sõltub eelkõige nende mõõtmete väiksusest, et kui kaugemale inimeses nad jõuavad, kõige väiksemad satuvad kopsudesse või absorbeeruvad vereringesse, põhjustades kõige rängemaid tervisehädaid. Levinumad tervisehädaid, mis kaasnevad pideva kokkupuutega peenosakestega on hingamishaiguste hullenemine, kopsutalitluse halvenemine, krooniline bronhiit ja lõpuks ka hingamishäiretest põhjustatud surm. Suuremad osakesed tekitavad kiiremini tervisevaeguseid, mis on küll natuke kergemad. Näiteks raskendavad hingamishaiguste, nagu astma, seisundit, põhjustavad köha, hingeldust, hingamisteede ärritust ja vaevalist hingamist. Suuremad tahked osakesed annavad endast inimesele kiirelt märku ja suunavad teda nimetatud vaevustega lahkuma nii, et enamasti teadmatuses inimesed väga palju suuremaid osakesi sisse ei hinga. Väiksemate peenosakestega on suurem oht saada tervisekahjustus ilma seda tähele panemata. Tahketest osakestest võib inimene saada mürgituse ja sellisel juhul tuleb pöörduda perearsti poole. Eriti ohustatud on just lapsed, vanurid ja inimesed kopsu- või südamehaigustega [19].

2.5.1 Õhusaaste peenosakeste näol maailmas ja Eestis

Eelpool on räägitud sellest juba, kuidas Maailma Terviseorganisatsioon peab kõige ohtlikumaks õhusaasteks praegusel hetkel PM_{2,5} peenosakesi, mis põhjustavad mitmeid tervisevaegusi ja mille mõjupiirkondades elab ligi 95% maailma rahvastikust. 2016. aasta statistika järgi põhjustas õhusaaste PM_{2,5} reostusega üle nelja miljoni enneaegse surma läbi krooniliste kopsu ja hingamisteede haiguste, kopsuvähi ja südamepuudulikkuse. Maailma Terviseorganisatsiooni uuringute kohaselt on ohtlik PM_{2,5} tase rohkem kui 10 mikrogrammi kuupmeetri kohta, kuid ei välista seda, et ka väiksem kogus võib inimese tervist mõjutada. Kõige suuremad murepiirkonnad on PM_{2,5} koha pealt Aafrikas ja Lähis-Idas, kus mitmes riigis ulatub peenosakeste kontsentratsioon õhus üle 100 mikrogrammi kuupmeetri kohta. Näiteks Saudi Araabia - 188 mikrogrammi kuupmeetris, Niger - 204 mikrogrammi kuupmeetris ja Egiptus - 126 mikrogrammi kuupmeetris. Uuringud näitavad, et neis piirkondades on õhus suur hulk lenduvat mineraalide tolmu kaevandustest, inimesed kodus põletavad tahkeid kütuseid ja kasutatakse alepõllundust. Need eripärad peaksid seletama neid rekordilisi saastekoguseid õhus. Järgmine murekoht asub Lõuna-Aasias, kus PM_{2,5} saaste on vahemikus 50-100 mikrogrammi kuupmeetris keskmiselt, mis on põhjustatud suurest tahkekütuste tarbimisest, tööstusest ja transpordi heitgaasidest. Kuigi probleemi teadvustatakse on see kulgenud tõusujoones. Kui võtta näiteks, et 2010. aastal oli maailma keskmine PM_{2,5} näitaja 43,2 mikrogrammi kuupmeetri kohta, siis 2016. aastaks oli see juba 51,1 mikrogrammi kuupmeetri kohta. Eriti jõuliselt kasvas see just

Lõuna-Aasia riikides, väljaarvatud Hiinas PM_{2,5} heitme kogused on stabiliseerunud ja kergelt isegi langenud, sest nad on suunanud energeetikasektorit rohkem maagaasi kasutuse suunas.

Eestis on Maailma Terviseorganisatsiooni näitajate alusel PM_{2,5} saaste normi piires ja ei tohiks inimestele ohtlik olla, Eestis on keskmiselt PM_{2,5} kogus 8 mikrogrammi kuupmeetri kohta. Kuid Keskkonnaagentuuri väitel ei ole siiski Eestis õhukvaliteet igal pool nii hea ja nende 2011. aastal Tartu Ülikoolis läbiviidud uuringu alusel sureb enneaegselt Eestis igal aastal ülipreenete osakeste tõttu välisõhus ligi 600 inimest ja põhjustab muid tervise probleeme, mis arvestatavalt mõjutab Eesti kogumajandust läbi suuremate haigekassa kulude ja töötulemuslikkuse vähendamisega [20].

3 Saasteallikad

Järgnevas peatükis käsitletakse saasteallikatena erinevaid põletusseadmeid, mida kasutatakse soojuse tootmiseks, elektritootmiseks ja erinevates ettevõtetes tootmisprotsessis. Analüüsi osas käsitlen eraldi ka asfalditootmis tehaseid saasteallikatena. Kuna saasteallikate õhuheitmete voogudes on saasteainete kontsentratsioonid, sõltuvalt põletuseadme tüübist, põletus režiimist ja kütusest, mida katel tarbib, erinevad, siis on neile kehtestatud erinevad piirnormid, millele nad Euroopa Liidus vastama peavad. Samuti toon välja ja kirjeldan mitmeid tehnoloogiaid, mis on kasutusele võetud, et suitsugaase puhastada ja õhku paisatavaid heitmeid vähendada.

3.1 Keskmise võimsusega põletusseadmed

Euroopa Liit on praeguse seisuga kõige edumeelsem õhuemissioonide vähendaja maailmas. Keskkonnasõbralik ja jätkusuutlik areng aga ei tule sellegipoolest kergelt – Euroopa Liit peab sekkuma investeringutega ning toetustega arendamiseks keskkonnasõbralike projekte ja lahendusi ning samuti seadusandlusega piirama mitte keskkonnasõbralike lahendusi ja suunama neid ennast parandama ja täiustama. Keskmise võimsusega põletusseadmed on näide just ühest sellisest valdkonnast, millele loodi oma direktiiv, mida järgides Euroopa Liidu õhukvaliteet arvestatavalt paraneb, kuna liikmesriikides on kokku umbes 143000 keskmist põletusseadet, mida kasutatakse erinevatel otstarvetel. Näiteks elektritootmine, elamuküte, kaugküte ja kaugajahutus, sooja ja auru tootmine mingi protsessi jaoks. Direktiivi eesmärk on nõuda uute põletusseadmete valikul parima võimaliku tehnoloogia kasutamist ja olemasolevate põletusseadmete efektiivsemaks muutmist. Nii on võimalik vähendada NO_x , SO_2 ja PM_{sum} heitmeid. Nimivõimsus, mille järgi liigitatakse põletusseadmed keskmisele võimsusele vastavaks on 1-50 MW [21].

Euroopa Parlament võttis vastu direktiivi 2015. aastal kuna tekkis vajadus õhku eralduvate saasteainete koguste piiramiseks puhta õhu poliitpaketi raames. Tabelites (Tabel 0.1),(Tabel 0.2)ja(Tabel 0.3)on välja toodud SO_2 , NO_x ja tolmu heitme piirnormid, mis hakkavad kehtima keskmistele põletusseadmetele, mis on valmis ehitatud enne direktiivi jõustumist.

Tabel 0.1 Keskmise võimsusega põletuseadmete SO₂ heitme piirnormid [22]

| <i>Kütuse liik</i> | <i>1 – 5 MW</i> | <i>5 – 20 MW</i> | <i>20 – 50 MW</i> |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <i>Biomass</i> | <i>200 mg/Nm³</i> | <i>200 mg/Nm³</i> | <i>200 mg/Nm³</i> |
| <i>Tahke fossiilne kütus</i> | <i>1100 mg/Nm³</i> | <i>1100 mg/Nm³</i> | <i>400 mg/Nm³</i> |
| <i>Vedelkütus</i> | <i>350 mg/Nm³</i> | <i>350 mg/Nm³</i> | <i>350 mg/Nm³</i> |
| <i>maagaas</i> | - | | |
| <i>Gaaskütused üldiselt</i> | <i>200 mg/Nm³</i> | <i>35 mg/Nm³</i> | <i>35 mg/Nm³</i> |

Tabel 0.2 Keskmise võimsusega põletuseadmete NO_x heitme piirnormid [22]

| <i>Kütuse liik</i> | <i>1 – 5 MW</i> | <i>5 – 20 MW</i> | <i>20 – 50 MW</i> |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>Biomass</i> | <i>650 mg/Nm³</i> | <i>650 mg/Nm³</i> | <i>650 mg/Nm³</i> |
| <i>Tahke fossiilne kütus</i> | <i>650 mg/Nm³</i> | <i>650 mg/Nm³</i> | <i>650 mg/Nm³</i> |
| <i>Vedelkütus</i> | <i>650 mg/Nm³</i> | <i>650 mg/Nm³</i> | <i>650 mg/Nm³</i> |
| <i>maagaas</i> | <i>250 mg/Nm³</i> | <i>200 mg/Nm³</i> | <i>200 mg/Nm³</i> |
| <i>Gaaskütused üldiselt</i> | <i>250 mg/Nm³</i> | <i>250 mg/Nm³</i> | <i>250 mg/Nm³</i> |

Tabel 0.3 Keskmise võimsusega põletuseadmete tolmu heitme piirnormid [22]

| <i>Kütuse liik</i> | <i>1 – 5 MW</i> | <i>5 – 20 MW</i> | <i>20 – 50 MW</i> |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <i>Biomass</i> | <i>50 mg/Nm³</i> | <i>50 mg/Nm³</i> | <i>30 mg/Nm³</i> |
| <i>Tahke fossiilne kütus</i> | <i>50 mg/Nm³</i> | <i>50 mg/Nm³</i> | <i>30 mg/Nm³</i> |
| <i>Vedelkütus</i> | <i>50 mg/Nm³</i> | <i>30 mg/Nm³</i> | <i>30 mg/Nm³</i> |
| <i>maagaas</i> | - | | |
| <i>Gaaskütused üldiselt</i> | - | | |

Lõpetuseks tuuakse välja tabeliga (Tabel 0.4) nõuded uutele ehitatavatele põletuseadmetele.

Tabel 0.4 Õhu heitmete piirnormid keskmistele põletuseadmetele, mis valmivad peale direktiivi jõustumist [22]

| Saasteaine | Tahke biomass | Muud tahkekütused | Gaasiõli | Vedelkütused (v.a gaasiõli) | Maagaas | Gaaskütused (v.a maagaas) |
|-----------------|--------------------|--------------------|----------|-----------------------------|---------|----------------------------------|
| SO ₂ | 200 ⁽¹⁾ | 400 | — | 350 ⁽²⁾ | — | 35 ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ |
| NO _x | 300 ⁽⁵⁾ | 300 ⁽⁵⁾ | 200 | 300 ⁽⁶⁾ | 100 | 200 |
| Tolm | 20 ⁽⁷⁾ | 20 ⁽⁷⁾ | — | 20 ⁽⁸⁾ | — | — |

⁽¹⁾ Väärtust ei kohaldata seadmete puhul, mis põletavad üksnes puidupõhist tahket biomassi.

⁽²⁾ 1 700 mg/Nm³ väikestesse eraldatud võrkudesse või üliväikestesse eraldatud võrkudesse kuuluvate seadmete puhul kuni 1. jaanuarini 2025.

⁽³⁾ 400 mg/Nm³ madala kütteväärtusega koksiahjugaaside korral ning 200 mg/Nm³ madala kütteväärtusega kõrgahjugaaside korral (raua- ja terasetööstus).

⁽⁴⁾ 100 mg/Nm³ biogaasi puhul.

⁽⁵⁾ 500 mg/Nm³ seadmete puhul, mille summaarne nimisoojusvõimsus on võrdne või suurem kui 1 MW ja võrdne või väiksem kui 5 MW.

⁽⁶⁾ Väikestesse eraldatud võrkudesse või üliväikestesse eraldatud võrkudesse kuuluvate seadmete puhul 450 mg/Nm³ raske kütteeõli põletamisel, mis sisaldab 0,2–0,3 % lämmastikku, ja 360 mg/Nm³ raske kütteeõli põletamisel, mis sisaldab vähem kui 0,2 % lämmastikku, kuni 1. jaanuarini 2025.

⁽⁷⁾ 50 mg/Nm³ seadmete puhul, mille summaarne nimisoojusvõimsus on võrdne või suurem kui 1 MW ja võrdne või väiksem kui 5 MW; 30 mg/Nm³ seadmete puhul, mille summaarne nimisoojusvõimsus on üle 5 MW ja võrdne või väiksem kui 20 MW.

⁽⁸⁾ 50 mg/Nm³ seadmete puhul, mille summaarne nimisoojusvõimsus on võrdne või suurem kui 1 MW ja võrdne või väiksem kui 5 MW.

Hiljem töö põhiosas võrdlen mitmeid Eestis mõõdetud keskmisi põletusseadmeid ja uurin mitmed neist vastavad etteantud nõuetele [22].

3.2 Suure võimsusega põletusseadmed

Euroopa Liidus loetakse suureks põletusseadmeks põletusseadet, mille nimivõimsus on vähemalt 50MW ja kasutab ükskõik millist kütust. Suure võimsusega põletusseadmed on Euroopa Liidus ka suured õhuheitmete tekitajad ja seetõttu on neid seadusandlusega ja direktiividega juba mitmeid aastaid suunatud oma tolmu, NO_x ja SO₂ heidet vähendama. Õhuheitmete vähendamise protsess on olnud ka üsnagi edukas, seda iseloomustab järgnev graafik (Joonis 0.1), kus on näha erinevate saasteainete vähenemise protsenti aastatel 2004 kuni 2015. Kuigi saasteainete koguste suurtest põletusseadmetest langus on juba olnud SO₂ - 71%, NO_x - 38% ja tolmu ehk PM_{sum} - 75%, siis endiselt on plaanis Euroopa Liidul langustrendi jätkata ja on kehtestatud uued, veel rangemad normid suurtele põletusseadmetele uue direktiivi raames [23].

Chart – Indexed SO₂, NO_x and dust emissions from large combustion plants in the European Union



Joonis 0.1 Euroopa Liidu suurtest põletuseadmetest tekkivate õhuheitme koguste protsentuaalne langus vahemikus 2004 - 2015 [23]

Suure võimsusega põletusseadmed on veel jagatud omaette gruppideks piirangute määramisel, enamasti siis võimsuse kasvu ja kasutatava kütuse järgi. Esimesena käsitletakse SO₂ heitmete piirnorme tuues välja ühste tabeli (Tabel 0.5), kus on kokku pandud erinevad kütuse liigid ja võimsus vahemikud.

Tabel 0.5 Suure võimsusega põletuseadmete SO₂ heitme piirnormid [24]

| Kütuse liik | 50 – 100 MW | 100 – 300 MW | > 300 MW |
|-----------------------|------------------------|--|------------------------|
| Biomass | 200 mg/Nm ³ | 200 mg/Nm ³ | 200 mg/Nm ³ |
| Tahke fossiilne kütus | 850 mg/Nm ³ | 200 mg/Nm ³ | 200 mg/Nm ³ |
| Vedelkütus | 850 mg/Nm ³ | 400-200 mg/Nm ³ (Sirgjooneline vähenemine) | 200 mg/Nm ³ |
| Gaaskütused üldiselt | 35 mg/Nm ³ | | |

Järgmisena vaadeldakse NO_x piinorme, mis on seatud suurtele põletusseadmetele NO_x õhuemissioonide jaoks. Need on välja toodud samuti kompaktses tabelis (Tabel 0.6), kus on samuti kokku pandud erinevad kütused ja võimsus vahemikud.

Tabel 0.6 Suure võimsusega põletuseadmete NO_x heitme piirnormid [24]

| Kütuse liik | 50 – 100 MW | 100 – 300 MW | > 300 MW |
|-----------------------|-------------|--------------|----------|
| Biomass | 400 | 300 | 200 |
| Tahke fossiilne kütus | 400 | 200 | 200 |
| Vedelkütus | 400 | 200 | 200 |
| maagaas | 150 | 150 | 100 |
| Gaaskütused üldiselt | 200 | | |

Suurtele põletusseadmetele on seatud ka karmid piirangud tolmu õhuemissioonidele. Tolmu saab jagada osakese suuruse järgi PM_{2,5} ja PM₁₀, aga Euroopa Liidu direktiivis arvestatakse tolmu PM_{sum} ja piirang kehtib sellele. Tolmule kehtivad piirnormid toon välja järgmises tabelis Tabel 0.7 [24].

Tabel 0.7 Suure võimsusega põletuseadmete tolmu heitme piirnormid [24]

| Kütuse liik | 50 – 100 MW | > 100 MW |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Biomass | 50 mg/Nm ³ | 30 mg/Nm ³ |
| Tahke fossiilne kütus | 50 mg/Nm ³ | 30 mg/Nm ³ |
| Vedelkütus | 50 mg/Nm ³ | 30 mg/Nm ³ |
| Gaaskütused üldiselt | 5 mg/Nm ³ | |

3.3 Põletusseadmetest tekkivate õhuheitmete vähendamine ja suitsugaaside puhastamine

Õhuemissioonide kogused, mis tekivad kahest ühesugusest põletusseadmest, mis kasutavad ühesugust kütust, võivad olla vägagi erinevad, sest on olemas mitmeid erinevaid viise ja tehnoloogiaid, kuidas suitsugaase puhastada või põlemisprotsessi reguleerida ja efektiivsemaks muuta.

Esimene tehnoloogiline lahendus, mida käsitletakse on tsüklon. Tsüklon puhastab suitsugaase tahketest osakestest, kasutades selleks tsentrifugaaljõudu, mis tuleb tsüklonisse siseneva suitsugaasi pöörlemisest. Tsentrifugaaljõu tõttu satuvad tolmu osakesed tsükloni välisseinale, mida mööda nad vajuvad alla kogumisanumatesse. Suitsugaasi pöörlemiskiirus määrab protsessi efektiivsuse, mida kiirem pöörlemine, seda suurem tsentrifugaaljõud ja seda tõhusam on suitsugaasidest tolmuosakeste eemaldamine. Tsüklonitega aga ei saa puhastada suitsugaase 100% tolmust, seega seda kasutatakse eelpuhastusetapina.

Teine tehnoloogia, mida käsitletakse on samuti mõeldud suitsugaasidest tahkete osakeste eemaldamiseks. Elektrifilter koosneb negatiivsetest pihustamiselektroodidest ja positiivsetest sadestamiselektroodidest, mille vahel rakendatakse alalispinget 20-100 kV. Protsess töötab nii, et tolmuosakestes indutseeritakse elektrostaatiline laeng, mille mõjul nad hakkavad liikuma sadestuselektroodi suunas, kus tolmuosakesed kogutakse. Tehnoloogia eelised on vastupidavus, väike hooldusvajadus, võime puhastada kõrge tahkete osakeste sisaldusega suitsugaasi ja kõrge efektiivsus - kuni 99,8%. On olemas ka märg elektrifilter, mis suudab ka keemiliste protsesside heitgaase puhastada. Tihti kasutatakse seda just auruga küllastunud gaaside puhastamiseks, kust saab edukalt eraldada väävelhappe udu.

Kolmas meetod suitsugaaside puhastamiseks on olnud kasutuses juba üle 15 aasta. Kottfiltritiga eelkõige eemaldatakse tahkeid osakesi, aga vähemal määral on võimalik eraldada ka gaasilisi komponente. Kottfiltrisüsteem koosneb enamasti mitmest järjestiku asetsevast kambrit, mis on üksteisest sulguvate klappidega eraldatud. Suitsugaas ajub läbi kangakoti ja moodustab sadestunud tahke kihi. Kottfiltreid tehakse erinevatest materjalidest, näiteks: looduslikud ja tehiskiud, metallist, mineraalidest ja klaasist. Lisaks peentolmule saab kottfiltriga eemaldada ka gaasilisi komponente, kui kasutada lubja sissepritset.

Neljas meetod on mõeldud lämmastikuoksiidide heitmete vähendamiseks. Selektiivne mittekatalüütiline reaktsioon, millega lisatakse suitsugaasidele ammoniaagivett, mis põhjustab keemilise reaktsiooni, mille käigus NO_x ühendid muutuvad lämmastikuks ja veeks. Ammoniaagi vesilahust pihustatakse mitmest kohast suitsugaasidele nii-öelda erinevatelt söödatasanditelt. Et reaktsioon toimiks peab igal söödatasandil valitsema pihustatavas lahuses kindel temperatuur. Pihustamiseks kasutatakse auru või suruõhku. Denitrogeenimisprotsess toimub temperatuuri vahemikus 850-1050 °C. Kui suitsugaaside temperatuur on liiga kõrge, siis ammoniaagi lahus hoopis põleb

keskkonnale kahjulikuks NO_x heitmeks. Seega tuleb mõõta suitsugaaside teekonnal temperatuuri ja pihustada ammoniaaki just õige temperatuuri vahemikuga tasemel. Protsess on kõige efektiivsem, kui düüsidest pihustatakse rohkem ammoniaagi lahust, kui tarbitakse, kuid sellisel juhul tuleb lisada lõpu poole ka suitsugaaside üleliigsest ammoniaagist puhastamise protsess.

On olemas ka selektiivne katalüütiline reaktsioon suitsugaaside NO_x heitme vähendamiseks. Sellisel juhul peab suitsugaas läbima reaktori torni, kus on mitu katalüsaatori kihti. Katalüsaator võib olla paigutatud kahe erineva struktuuri järgi: plaatstruktuur, kui suitsugaas on kõrge tolmu sisaldusega või kargstruktuur, kui suitsugaasi on juba tolmu puhastatud. Düüside kaudu juhitakse ka siin puhastustehnoloogias ammoniaagi lahust suitsugaasidesse. Katalüsaatorid asetsevad reaktori tornis mitmel tasandil ja on ehitatud modellaarse ehitussüsteemi järgi. Keraamilised struktuurid on kaetud katalüütilise materjaliga, milleks võib olla näiteks volframoksiid või titaan-vanaadium. NO_x heitme vähendamise efektiivsust mõjutab nii konkreetne katalüsaatori materjal kui ka selle maht. Reaktsiooni efektiivseks toimimiseks on tähtis ka õige temperatuurivahemik, mis on 300-400 °C. Siiski üritatakse seda protsessi läbi viia pigem madalal temperatuuril 320 °C, sest protsessi efektiivsus on seal temperatuurivahemikus ühtlane ja kõrgemate temperatuuride kasutamine on ebapraktiline, kui see nõuab lisakütust, et kompenseerida energiakaod protsessis. Kuid 320 °C madalamal temperatuuril ka ei ole mõttekas reaktsiooni läbi viia, sest siis võib düüsidest tulev ammoniaagilahus reageerida ammoniaagi sooladeks, mis hakkavad omakorda katalüsaatoreid blokeerima, aga need soolad ei moodustu kõrgematel temperatuuridel alates 320 °C.

Suitsugaaside pesur on märgpuhastussüsteem, mis on eriline tehnoloogia selles mõttes, et ta mitte ainult ei puhasta suitsugaase, vaid tõstab ka kogu energiatootmise protsessi kasutegurit. Suitsugaaside pesur paigaldatakse enamasti suitsugaaside teekonna lõpu poole, siis kui tolmu osakesed on juba suitsugaasidest teiste tehnoloogiatega eemaldatud. Suitsugaaside pesuri pesuprotsess eemaldab arvestatava efektiivsusega suitsugaasidest vesinikkloriidi, SO₂ ja raskmetallide nagu kaadiumi ja elavhõbeda heitmeid. Küll aga on edukaks puhastus protsessiks vaja vähemalt kahte puhastusetappi, sest erinevad saasteained vajavad erinevat puhastuskeskkonda. Raskemetallid, vesinikkloriid ja vesinikfluoriid vajavad happelist puhastuskeskkonda, aga edukas vääveldioksiidi eemaldus vajab hoopis neutraalset keskkonda. Suitsugaaside pesuriga puhastusprotsess kulgeb järgmiselt: alustuseks, suitsugaasid juhitakse kitsasse terasmahutisse ja jahutatakse 70° C peale, sest siis on vees hea lahustuvus komponentide jaoks, mida soovitakse eemaldada. Pesuril on suur

deflektorkonstruksiooni pindala ehk suurendatud pindala, mis tagab suitsugaaside intensiivse segamise puhastusvedelikuga. Protsessis tekkinud reovesi kontsentreeritakse aurustamisega ja seejärel eemaldatakse saasteained.

Viimane tehnoloogia, mida käsitletakse on pihustusabsorbeerijaid, mis on mõeldud gaasiliste saasteainete eemaldamiseks. Tööpõhimõte on saasteained muuta tahketeks sooladeks absorptsiooni lahuse lisamisega. Pihustus absorberis tekitatakse sisenevates suitsugaasides turbulents pihustusimendis asuvate deflektorplaatide abil. Seejärel juhatakse sisse neeldumislahus läbi düüside, neeldumislahus on enamasti pihustatud vesilahus, mis meenutab udu. Protsessi üks eesmärke on vähendada ka reovee koguseid nii, et neeldumislahuses olevad saasteained seotakse lubjaga pärast vee aurustamist. Ka pihusti absorbeerija töös on tähtis õige temperatuurigradient. Samuti mida madalam on esialgne suitsugaaside tekkimistemperatuur, seda paremini puhastab protsess suitsugaase raskemetallide heitmetest. Seda kasutatakse ka SO₂ heitmete vähendamiseks [25].

4. Eksperimentaalne osa

Selles peatükis käsitletakse andmemassiivist saadud andmeid nagu katlede õhu emissioonid, võimsused ja kütused. Peatükis uuritakse enim kasutatud kütuste elementaarkoostiseid ja ainete sisaldust nagu N ja S, mis põlemis protsessis saaste aineid SO₂ ja NO_x moodustavad. Samuti teostatakse võrdlus põletuseadmete õhuheitmete mõõtetulemuste ja Euroopa Liidu direktiiviga seatud piirnormide vahel ja tehakse järeldused, et kui paljusid põletuseadmeid tuleb kaasajastada uute suitsugaaside puhastus seadmete lisamisega. Peatüki lõpus analüüsitakse ka asfalditehaste töö õhuheitmete koguseid.

4.1 Andmetöötlus

Töö algne eesmärk oli analüüsida aruandeid, mida Tallinna Tehnikaülikooli energiatehnoloogia instituut on koostanud erinevatest soojustehnilistest mõõtmistest üle Eesti juba aastaid, et nende põhjal koondada andmeid ja saada parem ülevaade erinevate punktsaasteallikate õhuemissioonidest. Analüüsi kokku 93 aruannet ajavahemikust 2016 - 2020. Kahjuks kõik 93 aruannet ei olnud mõõtnud kõik samu näitajaid, sest mõõtmised olid tehtud ettevõtetele ja ettevõtted sageli ei soovinud lasta kõiki mõõtmiseid teostada või tellisid kogu õhuemissioonide mõõtmise asemel hoopis mõne suitsugaaside puhastus seadme efektiivsuse mõõtmise ning mõndades kohtades käidi mõõtmisi kordamas. Seega valim enamus analüüsi osade juures on siiski mõnevõrra väiksem kui aruannete koguarv. Analüüsi esimene etapp oli raportid jagada kolmeks, mõõteobjekti järgi: 78 tahkekütuse katelt, 21 vedelkütuse katelt ja 18 asfalditehast, sest neid ei sa käsitleda ühesuguste põletuseadmetena oma ehituse eripärade tõttu. Kuna raporteid eraldi lugedes on raske saada olukorrast terviklikku ettekujutust, siis koostas in lõputöö raames Exceli tabeli, kus tõin iga rapordi kohta välja kõik tähtsamad andmed: töö tellija, mõõtmise kuupäev, põletusseadme asukoht, katla nimi, kütus ja kütuse elementaaranalüüs, kütuse niiskus, kütuse tuhasisaldus, kütuse alumine kütteväärtus, põletusseadme nimivõimsus ja võimsus mõõtmiste ajal, kasutegur, suitsugaaside temperatuur, suitsugaaside O₂, CO₂ ja H₂O sisaldus, põletusseadme CO, VOC/LOÜ, NO_x, SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ ja PM-sum heitmed ning suitsugaaside mahtkulu. Nende koondatud andmetega on võimalik analüüsida kui paljude keskmise võimsusega põletusseadmete heitmed vastavad uues keskmise võimsusega põletusseadmete direktiivis sätestatud õhuheitmete piirväärtustele. Lisaks saab informatsiooni mitmetes teistes valdkondades, näiteks katlede paiknemine Eestis, millised on katelde tüübid ja mudelid, mis erinevate piirkondade kaugkütet varustavad, asfalditehaste paiknemist Eestis ja milliseid kütuseid need kasutavad, ka lokaalsete

õhuheitmete koguseid erinevates piirkondades lokaalsete põletuseadmete järgi, leida, mis tüüpi ja millise võimsusega põletusseadmeid on Eestis rohkem ja milliseid vähem. Samuti võib analüüsida kütuseid mida Eestis kasutatakse ja millised on nende omadused.

4.2 Kasutatavate kütuste koostis

Aruannete analüüsis ilmnas, et tahkeid kütuseid kasutavad põletusseadmed kasutasid ainult biokütuseid, suurem osa kasutas puitkütuseid, aga arvestatav osa kasutas ka tükkturnast. Vedelkütuste juures domineeris põlevkiviõli. Selles peatükis vaatleme nende kütuste elementaarkoostiseid ja kui palju realselt need kütused kilogrammis saastet põhjustavat väävlit ja lämmastiku sisaldavad.

Esiteks vaatlen puitkütuseid, mis on küll enamasti hakkepuut aga mitmes analüüsitud katlas põletatakse ka hakkepuiduga koos saepuru, puukoort ja jääkpuitmaterjale tootmisprotsessidest. Puitkütuse tarbimis aine aluminekütteväärtus varieerus vahemikus 5,73 – 17,3 MJ/kg. Puitkütuse elementaarkoostised varieeruvad järgnevas vahemikes: C – 48,35% - 53,3% ja keskmine süsinikusisaldus oli 49,8%, H - 7,7% - 5,26% ja keskmine oli 6,3%, N – 0,1% - 0,46% ja keskmine lämmastiku sisaldus oli 0,32%, S – 0,01% - 0,07% ja keskmineväärtus oli 0,03%. Arvestades elementaaranalüüsi keskmisi väärtuseid võib öelda, et üks kilogramm puitkütust sisaldab keskmiselt 0,3 grammi väävlit ja sellest tekib 0,6 grammi SO₂ heidet ja lämmastiku sisaldus on 3,2 grammi ja sellest tekib 10,5 grammi NO_x heidet.

Tükkturna tarbimis aine aluminekütteväärtus varieerus vahemikus 11,8 – 13,45 MJ/kg. Tükkturna elementaarkoostis varieerub järgnevas vahemikes: C – 53,1% - 55,3% ja keskmine oli 54%, H – 4,9% - 6,2% ja keskmine oli 5,7%, N – 2,4% - 2,5% ja keskmine oli 2,46%, S – 0,28% - 0,4% ja keskmine oli 0,33%. Tükkturna puhul sisaldab üks kilogramm kütust elementaaranalüüsi järgi keskmiselt 3,3 grammi väävlit ja sellest tekib 6,6 grammi SO₂ heidet ja lämmastiku sisaldus on 24,6 grammi ja sellest tekib 80,8 grammi NO_x heidet.

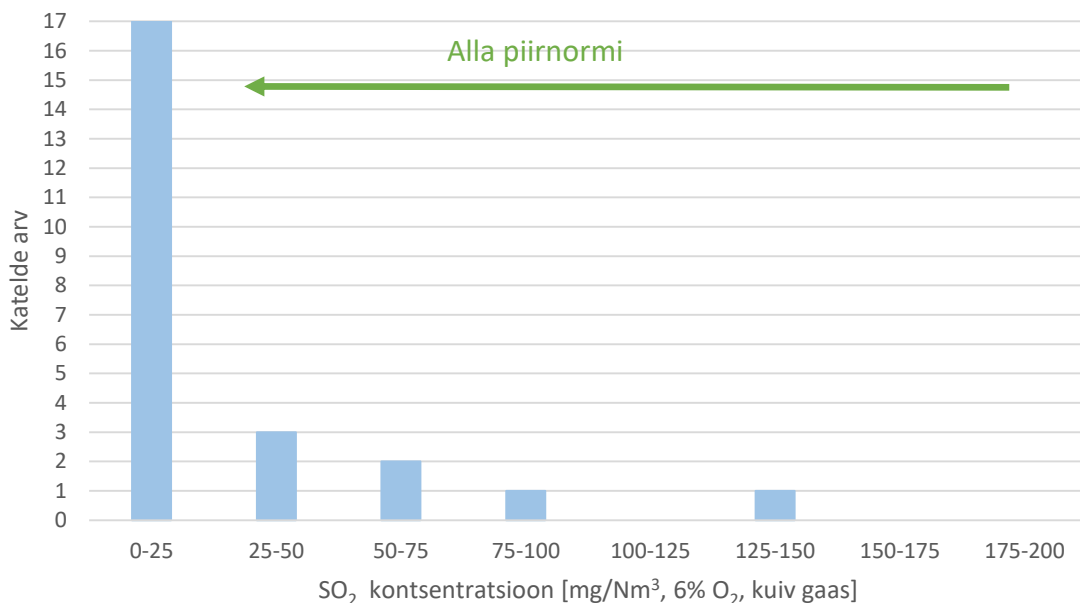
Põlevkiviõli kuivaine aluminekütteväärtus varieerus vahemikus 38,32 – 40,47 MJ/KG. Põlevkiviõli elementaarkoostis varieerus eelmistest kütustest märksa vähem C – 82,49%, H – 10,42% ja N – 0,15%, ainuke arvestatav varieeruvus oli S sisalduses, mis oli vahemikus 0,63% - 0,67% ja keskmine oli 0,65%. Põlevkiviõli puhul sisaldab elementaaranalüüsi järgi üks kilogramm kütust 6,5 grammi väävlit ja sellest tekib 13 g SO₂ heidet ja lämmastiku sisaldus on 1,5 grammi, mille põletamisel tekib teoreetiliselt 4,93 grammi NO_x heidet.

4.3 Olemasolevate põletusseadmete vastavus Euroopa Liidu direktiividele

Suurte põletusseadmete analüüsi osa on selle töö raames väikene, sest ainult üks mõõtmise toimus põletuseadmele, mille nimivõimsus on üle 50 MW, millest alates loetakse direktiivi järgi põletuseademed suureks. Selleks osutus Mustamäel asuv katlamaja, kus oli maagaasil töötav gaasikatelede kompleks, mille nimivõimsus oli 100 MW. Direktiiv näeb ette, et sellise võimsusega põletusseadme heitmete piirnormid on $35 \text{ mg/Nm}^3 \text{ SO}_2$, $150 \text{ mg/Nm}^3 \text{ NO}_x$ ja 5 mg/Nm^3 tolmuheitmeid. Ainuke mõõdetud suur põletusseade vastab täielikult direktiivile - kõik näitajad on märgatavalt alla piirnormide.

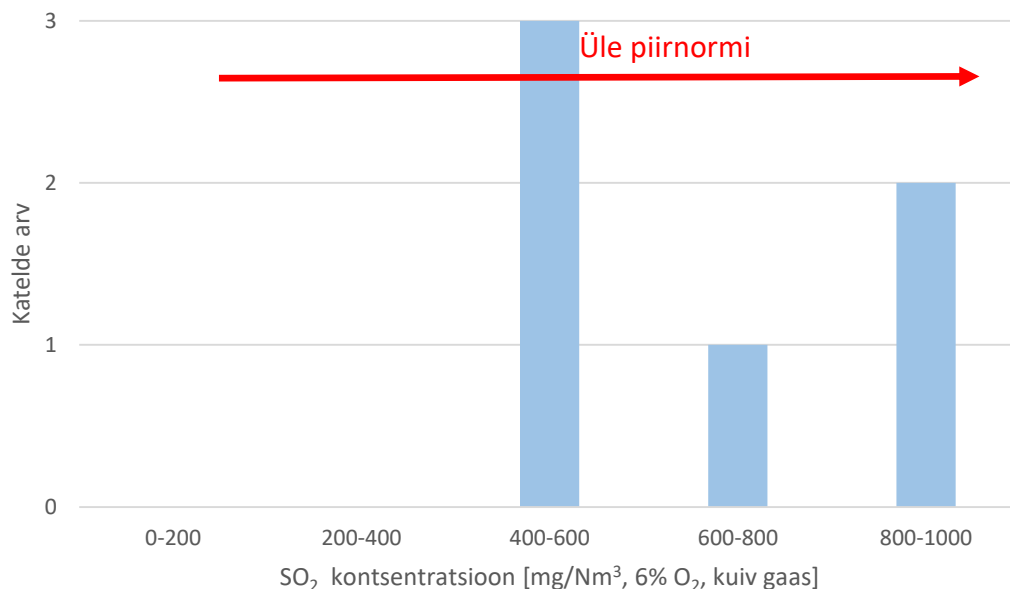
Nüüd liigutakse aga kaalukama osa juurde, milleks on keskmise võimsusega põletusseadmed. Selliseks loetakse põletusseadet, mille võimsus on 1-50 MW ja sellised on enamuse põletusseadmed, mille mõõtmise aruandeid ma analüüsisin. Ainult üks suur põletusseade oli ja 18 olid väikese võimsusega põletusseadmed alla 1 MW, kuid nende hulgas oli mõõtmisi, kus nimivõimsus oli 0,99 või 0,9 MW, aga mõõtmiste ajal saavutati 1 MW või isegi natuke suuremaid võimsusi. Siiski liigitan katlaid nimivõimsuste järgi.

Esimene grupp, mida keskmise võimsusega põletusseadmetest võrdlema hakkam on nimivõimsusega vahemikus 1-5 MW ja kasutavad tahket kütust. Tahkele biokütusele seatud heitme piirangud on järgmised: $200 \text{ mg/Nm}^3 \text{ SO}_2$, $650 \text{ mg/Nm}^3 \text{ NO}_x$ ja 50 mg/Nm^3 tolmuheitmeid. Ülejäänud tahketele kütustele kehtib see erand, et SO_2 võib olla kuni 1100 mg/Nm^3 . Selliseid katlaid oli analüüsis 31 tükki ning kasutati kahte kütust. Esiteks puidupõhised biokütuse katlad, mida oli 24 ja nad kõik vastasid SO_2 piirnормile, mis on näidatud järgnevas tabelis (Joonis 0.1).



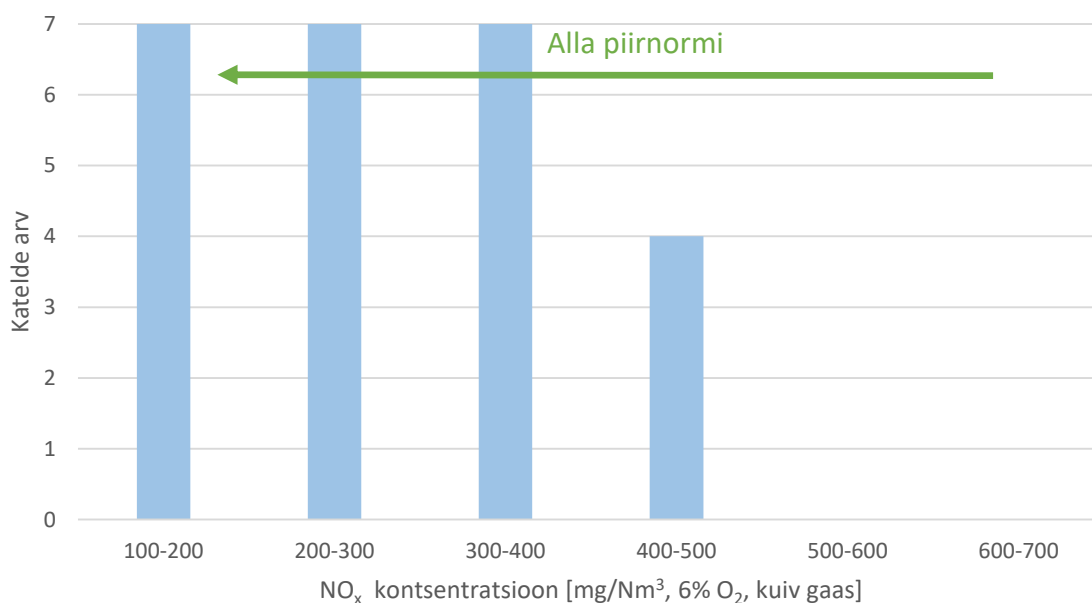
Joonis 0.1 Puitkütuseid kasutavate katelde arv vastavalt SO₂ heitmete vahemikule

Teised katlad kasutasid tükkturvast ja nemad kahjuks ükski ei mahtunud piirnormi sisse, nagu on näha joonisel (Joonis 0.2). Vastupidiselt puitkütust kasutavatele kateltele, kus SO₂ kontsentratsioon põlemisgaasides oli enamuse juhtudel kordades madalam kui piirnorm, siis tükkturba kasutamisel oli SO₂ kontsentratsioon põlemisgaasides kordades kõrgem piirnormist ja neil on kindlasti vaja rakendada suitsugaaside puhastus meetmeid SO₂ õhuemissioonide vähendamiseks.

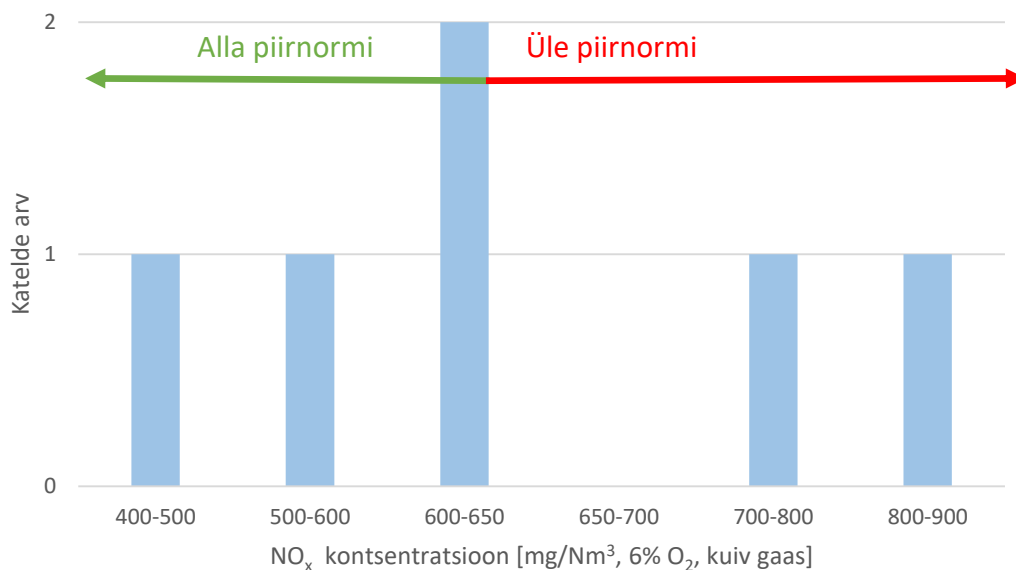


Joonis 0.2 Tükkturvast kasutavate katelde arv vastavalt SO₂ heitmete vahemikule

NO_x heitmega on olukord parem. Kahjuks siiski kõik 31 katelt direktiivile ei vasta aga probleemseid katlaid on ainult kaks võrreldes SO₂ heitmetega, kus probleemseid katlaid oli kuus. Üks probleemne katel oli näiteks Narva-Jõesuus asuv 2,5 MW-ne Orions-3H3B katel, mis töötab tükkturba või puiduhakke peal, aga antud juhul töötas ta tükkturba peal. Selle katla keskmine NO_x heide oli 762 mg/Nm³, mis on 112 mg/Nm³ võrra suurem, kui direktiiv ette näeb. Olukorra parandamiseks peaksid nad ilmselt kasutusele võtma selektiivse mitte-katalüütilise/katalüütilise reaktsiooni, mis võimaldab suitsugaasides olevat NO_x kontsentratsiooni vähendada. Eestis on juba olemas katlamaju, mis seda tehnoloogiat kasutavad ja suitsugaasidesse ammoniaagi lahust pritsivad ning sellega NO_x ühendid lämmastikuks ja veeks muudavad. Teine normile mittevastav katel on Kundas asuv Austria päritolu katel AGRI AVR 3000, mille nimivõimsus on 3 MW. Ka see katel töötab tükkturbal ning tema keskmine NO_x kontsentratsioon oli 854 mg/Nm³, mis tähendab, et ta ületab piirnormi 204 mg/Nm³ võrra ning kindlasti on vaja investeerida ja installeerida katlale NO_x heitmete vähendamise süsteem. Olukord väga halb ei tundu ka NO_x heitmete juures, sest üle normi olid ainult 2 katelt 31-st, küll aga tuleb tõdeda, et võimsuste piirkonnas 1-5 MW oli piirnormi täitmine ainult tükkturbal töötavate katelde mure. Puiduhakkel töötavad katlad jäid kindlalt piirnormi alla samas, nagu on näha joonisel (Joonis 0.3), kuid tükkturbal töötavad katlad olid enamuses 500-650 mg/Nm³ kandis ja kaks tükki olid isegi üle selle, nagu on näha joonisel (Joonis 0.4).

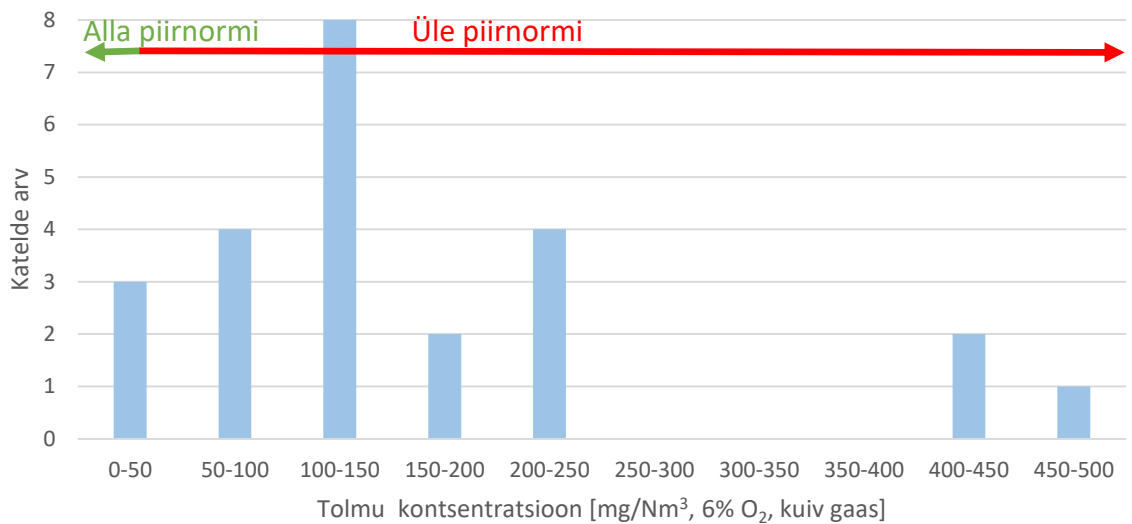


Joonis 0.3 Puitkütuseid kasutavate katelde arv vastavalt NO_x heitmete vahemikule



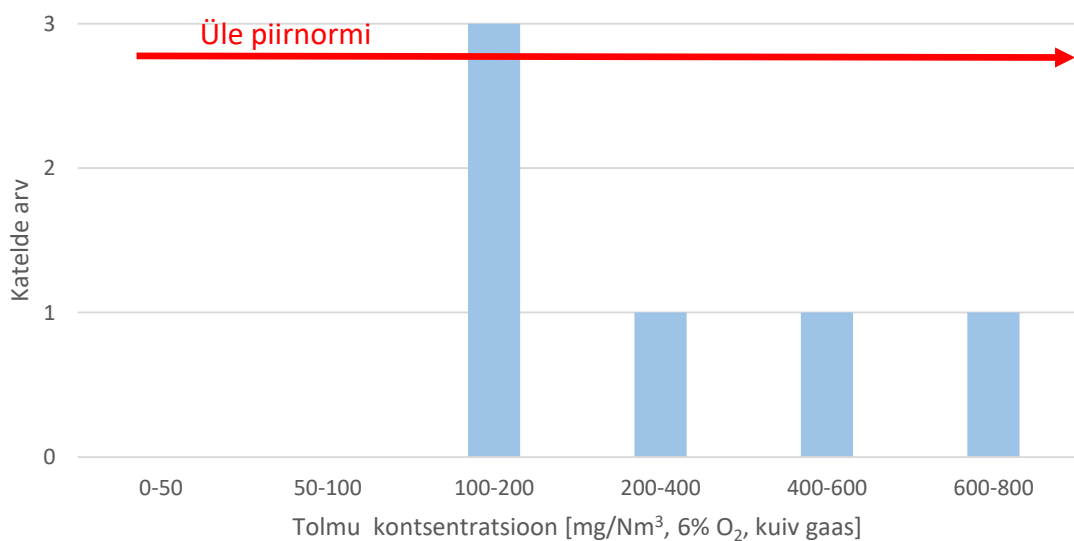
Joonis 0.4 Tükkturvast kasutavate katelde arv vastavalt NO_x heitmete vahemikule

Problemaatiline aga on seis tolmuheitmega - 31 katlast vastas piirnormile ainult kolm. Tõsiasi on see, et piirnormile vastamiseks on vaja katlal mitmeid suitsugaaside puhastustehnoloogiaid, enamasti ühest ei piisa. Mitmed katlad, millel oli multitsüklon ja suitsugaaside pesur, olid siiski normist kõrgema heitme kontsentratsiooniga. Sellest võib järeldada, et on vaja lisada veel mitmele katlale elektrifilter või kottfilter, et rohkem tolmuosakesi suitsugaasidest püüda. Kõik kolm piirnormile vastavat katelt olid puitkütuseid kasutavad, kuid järgmiselt jooniselt (Joonis 0.5) on näha, et enamus puitkütuseid kasutavate katelde tolmuheitmed ületavad piirnormi mitmekordselt ja tolm on siiani saasteaine, mille eemaldamist suitsugaasidest tuleb kõige rohkem edendada.



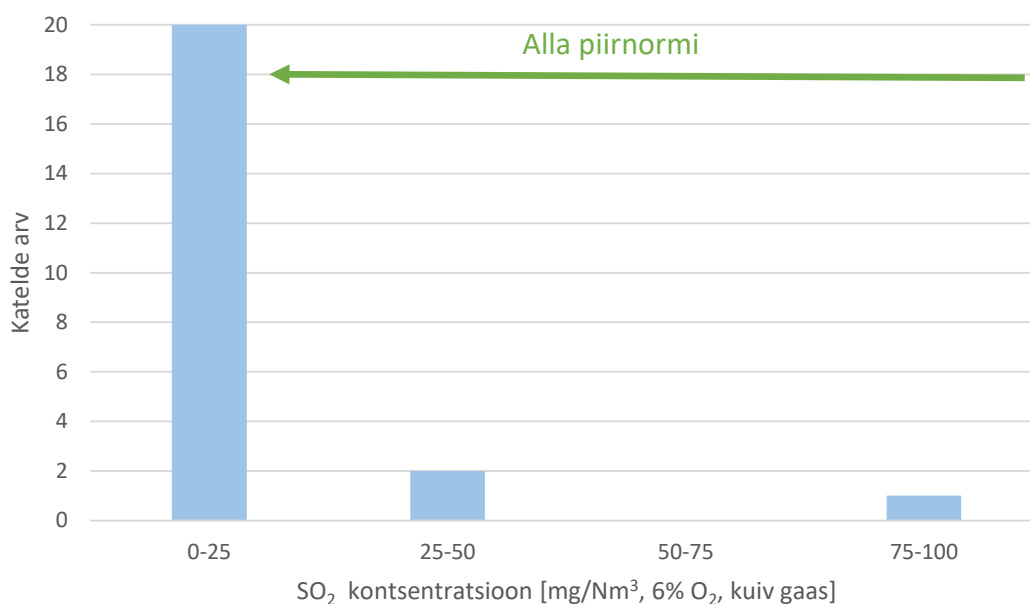
Joonis 0.5 Puitkütuseid kasutavate katelde arv vastavalt tolmu heitmete vahemikule

Tükkturvast kasutavate katelde tolmu heitmed olid kõrgemad puitkütust kasutavate katelde heitmetest, nagu on näha järgmiselt jooniselt (Joonis 0.6). Kõige enam ületas piirnormi Uuemõisas asuv tükkturbal töötav 2,5 MW katel Orions-3H3, mida käidi korduvalt mõõtnud. Esimene kord oli summaarne tolmu kontsentratsioon põlemisgaasides (PMsum) 721 mg/Nm³ ja teine kord 595 mg/Nm³. Esimene tulemus ületas piirnormi enam kui 14/kordselt, mis on üsna tõsine kogus. Ülejäänud joonist vaadates on näha, et enamus katelaid ületavad piirnormi mitmekordselt ja vajavad mitmete suitsugaaside puhastusseadmete installimist, et normile vastata.



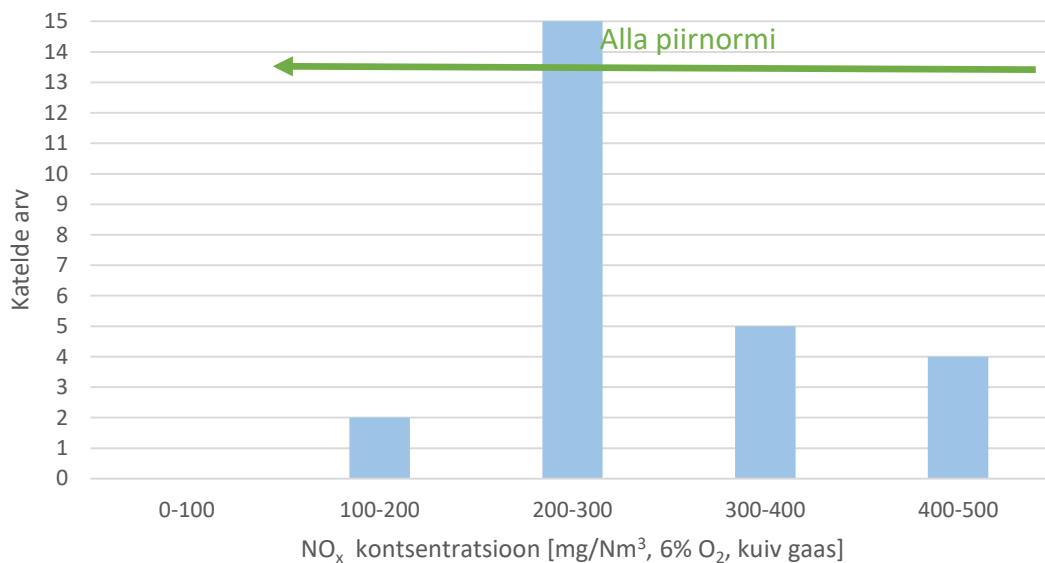
Joonis 0.6 Tükkturvast kasutavate katelde arv vastavalt tolmu heitmete vahemikule

Järgmisena analüüsin tahkeid kütuseid põletavaid katlaid, mis on võimsusega vahemikus 5-50 MW. SO₂ piirnorm tahkele biokütusele on 200 mg/Nm³ ja teistele tahketele kütustele (fossiilsed kütused) 400 mg/Nm³, kuid vahemikus 5-20 MW võib see olla ka 1100 mg/Nm³. NO_x heitme piirnorm on kõikidel juhtudel 650 mg/Nm³ ja tolmu kontsentratsioon peaks olema alla 30 mg/Nm³, aga kateldel võimsusega 5-20 MW võivad olla 50 mg/Nm³. Tänu erandidetele piirnormide juures jagan ka vahemiku 5-50 MW kaheks vahemikuks: üle 5-20 MW ja üle 20-50 MW. Alustan 5-20 MW katelde analüüsiga. Neid on analüüsis 26 ja alustan taas SO₂ heitmete analüüsiga, mis oli taaskord väga hea, sest mitte ükski katel piirnormi ei ületanud, aga lisaks sellele olid kõikide katelde heitmed vähemalt poole madalamad kui piirnorm lubab, nagu on kujutatud tabelis (Joonis 0.7). Samuti tuleb täheldada, et selles võimsuste vahemikus kasutasid kõik katlad puitkütust. Seega ka kütus ei ole eriti väävlirikas.



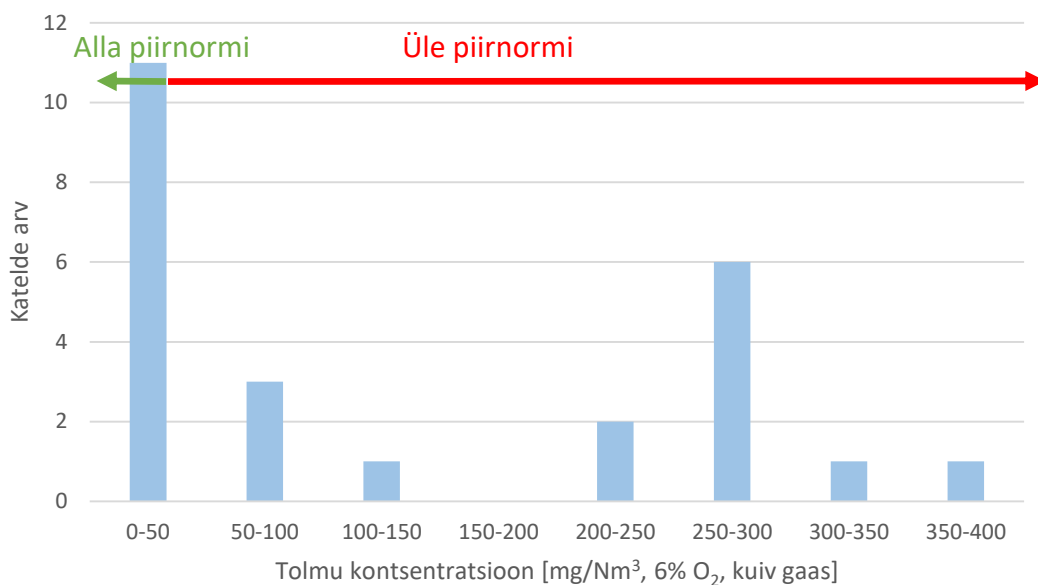
Joonis 0.7 Puitkütuseid kasutavate katelde arv vastavalt SO₂ heitme vahemikule

Ka NO_x heitmetega on selles vahemikus korras, nagu on näha järgneval joonisel (Joonis 0.8), kõige kõrgemad heitmed jäävad siiski alla 500 mg/Nm³, mis on piirnormist üle 150 mg/Nm³ madalam ja siin lähiajal investeeringuid NO_x heitmete vähendamiseks teha pole vaja.



Joonis 0.8 Puitkütuseid kasutavate katelde arv vastavalt NO_x heitme vahemikule

Tolmuheitmetega on olukord taaskord problemaatiline, 14 katelt 26-st ületavad piirnormi, nagu on näha joonisel (Joonis 0.9). Analüüs näitas, et kateldel võimsuse vahemikus 10-20 MW on tolmu heide märgatavalt madalam, võrreldes vahemikuga 5-10 MW. See võib olla seotud sellega, et võimsama katlaga on tehtud suurem investeering suitsugaaside puhastusseadmetesse. Seda tähelepanekut toetab ka tõsiasi, et kõige suurema tolmuheitmega on siin vahemikus kõige väiksema võimsusega 5,2 MW-ne biokütuse katel Raplamaalt, mille tolmu kontsentratsioon oli 351 mg/Nm³. See 351 mg/Nm³ tolmu heitmeid oli aga siiski peaaegu poole väiksem kui suurim tolmu heide, mida nägime kateldel 1-5 MW. Seega olukord vahemikus 5-20 MW on märgatavalt normilähedasem kui kateldel võimsusega vahemikus 1-5 MW.



Joonis 0.9 Puitkütuseid kasutavate katelde arv vastavalt tolmu heitme vahemikule

Nüüd analüüsitakse ka vahemikku üle 20-50 MW, kus on ainult kaks katelt, kuigi ühte neist käidi kaks korda mõõtmis. Need kaks katelt vastavad kõigil mõõtmistel kolmele põhilisele piirnormile (SO₂, NO_x ja PM_{sum}). See näitab, et piisava investeeringuga on võimalik saada kõik katlad piirnormidele vastavaks ja üldiselt heitmed üsna madalaks muuta, sest katldes võimsusega 22,8 ja 48 MW on mõlemas saavutatud PM_{sum} alla 10 mg/Nm³, NO_x alla 260 mg/Nm³ ja SO₂ alla 40 mg/Nm³, mis on kõik kõvasti alla ettenähtud piirnormi.

Järgmisena võetakse ette vedelkütustel töötavad katlad ja analüüsitakse nende vastavust piirnormidele. Samuti, nagu tahkete kütustega kateldegaga, alustatakse analüüsi kateldest võimsustega 1-5 MW. Ettenähtud saasteainete piirnormid vedelkütustele põletamisel selles katelde võimsuste vahemikus on 350 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x ja 50 mg/Nm³ PM_{sum} heidet. Kuna analüüsitakse maagaasil töötavaid katlaid koos vedelkütuste kateldegaga, siis märgitakse ära, et maagaasi kasutades on NO_x piirnorm 250 mg/Nm³. Selliseid põletusseadmeid oli seitse ja nendest neli kasutasid kütusena maagaasi. Maagaasi kasutavatest kateldest kaks vastasid piirnormile ja kaks mitte. Piirnormile ei vastanud kaks gaasimootorit CATERPILLAR G3516 LE, mille NO_x heitmed olid 351 ja 285 mg/Nm³, mis on üle normi ja vajavad vähendamist. Aruandest ilmnes, et nende suitsugaaside katalüütiline puhastusseade oli mõõtmiste ajal katki. Maagaasil muret SO₂ ja tolmuheidetega pole. Ülejäänud kolm katelt töötasid vedelkütuste peal, milleks olid LPG ja põlevkiviõli mark c. LPG katelidel ka probleemi SO₂ heitmega pole, aga põlevkiviõlil töötaval õlikatlal VAPOR oli SO₂ 992 mg/Nm³, mis on

kõvasti üle piirnormi. Selle vähendamiseks tuleks kasutusele võtta pihustusabsorbeerijate tehnoloogia või suitsugaaside pesur. NO_x ja tolmu LPG ja õli kateldele probleeme ei valmista ja kontsentratsioonid on alla piirnormi. Vahemikus 5-50 MW on vedelkütuse katlaid kaheksa, neist kolm on maagaasi katlad. Piirnormid sellistele vedelkütuse katledele on 350 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x ja tolmu 30 mg/Nm³. Maagaasikateldele on piirnorm 200 mg/Nm³ NO_x heitmeid. Maagaasikateltega siin võimsusklassis probleemi ei ole - NO_x heitmed on kindlalt alla piirnormi. SO₂ heitmega aga on probleem just neljal põlevkiviõli katlel, neil kõigil on SO₂ heide üle 1000 mg/Nm³, mis on piirväärtusest ligi 3 korda suurem ja nad peavad kindlasti hakkama kasutama kas suitsugaasipesureid või pihustusabsorbeerijate tehnoloogiat, võimalus on ka hakata kasutama väiksema väevli sisaldusega kütust. Samas on neil selleks mõnevõrra aega, kui nad kasutavad raskeid kütteõlisid, sest raskeid kütteõlisid kasutavatele kateldele kehtivad kuni 2030. aastani kõrgemad SO₂ heitme normid. NO_x heitmetega pole probleemi ka LNG ja põlevkiviõli katelidel, aga tuleb täheldada siiski, et põlevkiviõli katelde NO_x heitmed on tunduvalt suuremad kui maagaasi või LNG omad. Tolmuga pole siin võimsus klassis probleemi ühelgi katlal ja see on tingitud sellest, et tegu ei ole tahkete kütustega.

4.4 Asfalditehaste analüüs

Lisaks erinevate katlamajade ja tootmisettevõtete põletusseadmetele teostati ka mõõtmisi mitmele asfalditehasele. Oma analüüsis käsitleti 18 erinevat asfalditehast. Asfalditehaseid käsitleti teistest põletusseadmetest eraldi, sest nende olukord tavalistest kateldest on erinev mitme põhjuse tõttu. Näiteks, ei ole need paigutatud, vaid paljud neist on mobiilsed, et varustada asfaltit just piirkonda, kus seda vaja on, nad ei hoia kindlat töövõimsust aastaringselt, vaid käivitatakse vastavalt vajadusele ja toodetakse vajalik kogus asfalti kindla objekti jaoks, viimaks see, et tolmuheitmed ei tulene otseselt kütuse põletamisest, vaid hoopis asfalti tooraine kuivatamisest. Analüüsi muudab natuke keerukamaks tõsiasi, et raportites ei olnud märgitud kõikide asfalditehaste põletusseadmete nimivõimsuseid ega ka töövõimsuseid, kuid kõikidest, mille võimsused üles märgiti, võib järeldada, et asfalditehaste põletusseadmete võimsused on vahemikus 10-20 MW.

Järgmisena vaadeldakse erinevaid saastekoguseid erinevaid kütuseid kasutavatel asfalditehastel. Esimesena analüüsitakse maagaasi kasutavaid asfalditehaseid, seega nende SO₂ heide on põhiliselt olematu. Keskmine NO_x on 100 mg/Nm³, mis mahub Euroopa Liidu direktiivi keskmise võimsusega põletusseadmete piirväärtusesse ja tolmu heide on 60,1 mg/Nm³, mis on küll keskmise põletusseadme direktiivis väljatoodud piirnormist suurem, aga siiski mitte palju suurem. Järgmisena vaatlen kerge kütteõli

kasutavat asfalditehast. Siinkohal mingit keskmist arutada ei saa, kuna analüüsin seda ühe näite põhjal. Nimetatud asfalditehase heitmed on järgmised: esiteks SO₂ heide 13,9 mg/Nm³ on üsnagi madal ja tugevalt alla Euroopa Liidu direktiivi, ka NO_x heide mahub ilusti piirnormi sisse, see on 137,6 mg/Nm³ - üsnagi sarnane maagaasi asfalditehase heitme kogusega. Tolmu kontsentratsioon on 34,6 mg/Nm³, mis on madalam maagaasikatelde keskmisest ja peaaegu mahub ka direktiivi piirnormi sisse. Enamus asfalditehastest kasutab aga kütusena põlevkiviõli, neid oli 13 tükki 18-st. Nende keskmine SO₂ heide on 392,8 mg/Nm³, mis ei ületagi väga palju piirnormi, kuid see keskmine ei moodustu sarnastest mõõtmistest ehk reaalsuses on nende asfalditehaste hulgas põletusseadmeid, mille SO₂ on alla 100 mg/Nm³ ja ka selliseid millel on üle 1000 mg/Nm³. Sellest võib järeldada, et asfalditehased kasutavad erinevat toorainet oma asfaldi segus ja see mõjutab õhuemissioonide koguseid. NO_x keskmine heide oli 312,3 mg/Nm³, see mahub ilusti piirnormi sisse ja keskmine iseloomustab olukorda üsna täpselt. Nii suurt kõikumist, nagu SO₂ heitmetega oli, ei ole. Tolmu keskmine heide on 209 mg/Nm³, mis on tuntuvalt üle piirnormi, kuid see keskmine jällegi koosneb asfalditehastest, millest kaks tükki on isegi alla tolmu piirnormi, aga seal on ka kaks tükki mille tolmuheide on üle 500 mg/Nm³ kohta. Erinevus tuleb ilmselt erinevast toorainest, mida kasutatakse, filtrite töö erinevast efektiivsusest, kottfiltrite konditsioonist (kas katki või mitte) või siis erinevatest suitsugaaside puhastustehnoloogiatest.

KOKKUVÕTE

Töö raames analüüsiti 93 aruannet erinevate põletusseadmete mõõtmistest, mis teostati vahemikus 2016 – 2020. Töö raames koostati ühtlane andmemassiiv, kus põletusseadmed jagati kolme rühma: tahkekütuse katlad, vedel- ja gaasilise kütuse katlad ning asfalditehased. Täiendavalt jagati katlaid nimivõimsuse järgi väikese võimsusega (alla 1 MW), keskmise võimsusega (1-50 MW) ja suure võimsusega (üle 50 MW) põletusseadmeteks. Töös analüüsiti katlede vastavust Euroopa Liidu põletusseadmetele kehtestatud piirnormidele SO₂, NO_x ja tolmu heitme kogustes. Analüüsis oli ainult üks suure võimsusega põletusseade, millele kehtivad heitmete piirnormid on 35 mg/Nm³ SO₂, 150 mg/Nm³ NO_x ja 5 mg/Nm³ tolmuheitmeid. Põletusseade vastas kõigi kolme saasteaine korral piirnormidele. Analüüsi põhiosa moodustasid keskmise võimsusega põletusseadmed, mis jagati veelkord nimivõimsuse järgi väiksemateks gruppideks, sest neile kehtestatud piirnormid erinevad (1-5 MW, 5-20 MW ja 20-50 MW). Vahemikus 1 – 5 MW olid tahke kütuse katlad kokku 31, mis töötasid hakkepuidul ja tükkturnal. Tükkturnal töötavatel kateldel olid suuremad raskused piirnormidesse mahtumisel, elementaaranalüüs näitas ka seda, et tükkturnal on kilogrammi kohta kõrgem N ja S sisaldus kui hakkepuidul ja sellest on ka tingitud tema suuremad SO₂ ja NO_x heitmed. Neile kehtivad heitme piirangud on järgmised: 200 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x ja 50 mg/Nm³ tolmu heitmeid. Selles võimsusvahemikus mahtusid kõik hakkepuitu kasutavad katlad SO₂ heitme piirnormi sisse, samas tükkturnal töötavad katlad olid kõik üle piirnormi. Selles võimsusvahemikus NO_x heitmega on olukord parem - enamus katlaid mahub piirnormi sisse, ainult kaks tükkturnal töötavat katelt ei suuda täita piirnormi. Selles võimsusvahemikus probleemikoht oli aga tolmu heide, milles piirnormile vastasid ainult 3 hakkepuidu katelt ja kõik ülejäänud katlad ületasid piirnormi. Tükkturna katlad ületasid piirnormi rohkem kui hakkepuidu katlad. Selles võimsusvahemikus oli vedelat ja gaasilist kütust kasutavaid katlaid kokku seitse. Vedelat kütust kasutavatele kateldele kehtivad piirnormid on 350 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x ja 50 mg/Nm³ PM_{sum} heidet ning maagaasi kehtib piirnorm 250 mg/Nm³ NO_x. Maagaasi põletusseadmeid neist oli neli ja kaks neljast ei mahtunud NO_x heitme piirnormi sisse. Teiste heitmetega maagaasi põletusseadmetel probleeme ei olnud. LPG-d kasutavad kaks katelt mahtusid kõikide piirnormide sisse, kuid põlevkiviõlil töötav katel ületas SO₂ piirnormi, samas NO_x ja tolmu heitme piirnormi mahtumisega probleemi ei olnud. Võimsusvahemikus 5 - 20 MW kasutasid kõik tahkekütuse katlad kütusena hakkepuitu. Neid oli 26 ja neile kehtivad piirnormid olid 200 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x, tolmu heide võiks olla soovitatavalt 30 mg/Nm³, aga lubatud on 50 mg/Nm³ olemas olevatele katledele. Nad kõik mahtusid SO₂ ja NO_x heitme piirnormide sisse. Taaskord oli probleemikohaks tolmu heide, kus 14

katelt 26-st ületasid piirnormi. Võimsusklassis 5 – 50 MW vedelkütuse ja gaasi katlaid oli 8. Vedelkütuse kateldele kehtivad piirnormid on 350 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x ja tolmu 30 mg/Nm³, maagaasile kehtib tolmu piirnorm 200 mg/Nm³. Selles võimsusklassis oli kolm gaasikatelt, mis mahtusid piirnormi sisse ning LNG katel, mis mahtus kõikide piirnormide sisse. Neli põlevkiviõli kasutavat katelt, mis mahtusid tolmu ja NO_x heitme piirnormi sisse, aga kõik ületasid SO₂ piirnormi mitmekordselt. Tahkekütuse katlaid võimsusvahemikus 20 – 50 MW oli ainult kaks - need mõlemad kasutasid kütusena hakkepuitu ja vastasid kõikidele piirnormidele, milleks olid tolmu 30 mg/Nm³, NO_x alla 650 mg/Nm³ ja SO₂ 200 mg/Nm³.

Järeldused lõputööst on, et hakkepuitu kasutavad katlad on võimelised vastama piirnormidele, kuid vajavad kindlasti mõne täiendava suitsugaaside tolmu puhastamise tehnoloogia installeerimist, praegusel juhul on kõigil kateldel multitsüklonid, aga ainult nendest piirnormile vastamiseks ei piisa. Tükkurvast kasutavad katlad ei vasta piirnormidele ilma suurte investeeringuteta suitsugaaside puhastusseadmetesse, kuna antud tingimustes nad ületavad piirnorme märkimisväärselt. Põlevkiviõli kasutavad katlad peavad tegema investeeringuid just pihustusabsorbeerijatesse ja suitsugaaside pesuritesse, et vähendada SO₂ heidet. Näha oli ka seda, et suuremate võimsustega katlad mahtusid paremini piirnormidesse kui madalamate võimsustega. Sellest võib järeldada, et suuremate kateldegaga on tehtud suurem investeering ja paigaldatud rohkem suitsugaaside puhastusseadmeid, mis on piirnormidele vastamiseks hädavajalik.

Töösse ei mahtunud kõikide andmete analüüs, mida arunannetest Exceli tabelisse koguti. Võimalik oleks veel analüüsida näiteks erinevate põletuseademe LOÜ, CO ja kasutegureid erinevates võimsusklassides ja erinevate kütustega.

SUMMARY

Within the framework of the work, 93 reports were analyzed from measurements (between 2016 and 2020) of air emissions of different combustion plants. The data was compiled into a table, where the combustion plants were divided into three groups: solid fuel boilers, liquid and gas fuel boilers and asphalt plants. In addition, the boilers were divided into small (less than 1 MW), medium (1-50 MW) and large (more than 50 MW) capacity classes according to their rated capacity. The work analyzed the compliance of boilers with the limit values for SO₂, NO_x and dust emissions set for combustion plants in the European Union. The analysis included also one large combustion plant (>50 MW) with emission limit values of 35 mg/Nm³ SO₂, 150 mg/Nm³ NO_x and 5 mg/Nm³ dust emissions. The plant complied with all three emission limits.

The main part of the analysis consisted of medium capacity combustion plants, which were again divided into smaller groups according to the nominal capacity, as the limits set for them differed in the range (1-5 MW, 5-20 MW and 20-50 MW). Between 1 and 5 MW, there were a total of 31 solid fuel boilers operating on wood chips and lump peat. Boilers operating on lump peat had greater difficulties in meeting the limits, elemental analysis also showed that lump peat has a higher N and S content per kilogram than wood chips, which also results in higher SO₂ and NO_x emissions. Their emission limits are as follows: 200 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x and 50 mg/Nm³ of dust. Within this capacity range, all wood-fired boilers met the SO₂ emission limit, while lump-fired boilers all exceeded the limit. In this capacity range, the situation is better with NO_x emissions - most boilers meet the limit, as only two boilers fueled with lump peat cannot meet the limit. In this capacity range, however, the problem was dust emissions, with only 3 woodchip boilers meeting the limit value and all other boilers exceeding the limit value. Lump peat boilers exceeded the limit to a greater extent compared to woodchip boilers. There were a total of seven liquid and gaseous fuel boilers in this capacity range. The limit values for boilers using liquid fuels are 350 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x and 50 mg/Nm³ of dust emissions, and the limit value for natural gas is 250 mg/Nm³ NO_x. There were four natural gas combustion plants and two of the four did not fit within the NO_x emission limit value. There were no problems with other emissions from natural gas combustion plants. The two boilers using LPG were within all limits, but the oil-fired boiler exceeded the SO₂ limit, while there was no problem with the NO_x and dust emission limit. In the capacity range of 5 - 20 MW, all 26 solid fuel boilers used wood chips as fuel. The applicable limit values for these boilers are 200 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x, dust emissions could preferably be 30 mg/Nm³, but 50 mg/Nm³ is allowed for existing ones. They all met the SO₂ and NO_x emission limits. Once again, the problem

was dust emissions, where 14 boilers out of 26 exceeded the limit value. In the capacity class of 5 - 50 MW there were 8 liquid fuel and gas boilers. The limit values applicable to liquid fuel boilers are 350 mg/Nm³ SO₂, 650 mg/Nm³ NO_x and 30 mg/Nm³ of dust, for natural gas the NO_x limit value is 200 mg/Nm³. In this capacity class there were three gas boilers and one LNG fired boiler that met the limit. Four boilers using shale oil met the dust and NO_x emission limits, however, exceeded the SO₂ limit. There were only two solid fuel boilers in the 20-50 MW range - both using wood chips as a fuel and meeting all the limit values of 30 mg/Nm³ dust, less than 650 mg/Nm³ NO_x and 200 mg/Nm³ SO₂.

The conclusions of the thesis are that boilers using wood chips are able to meet the limit values, but installation of additional flue gas dust cleaning technology is mandatory. Boilers using lump peat do not comply with the limit values without further large investments in flue gas cleaning equipment, as in these conditions they significantly exceed the limit values. Boilers using shale oil need to invest in spray absorbers and flue gas scrubbers to reduce SO₂ emissions. It could also be seen that boilers with higher capacities fit better within the limits than with lower capacities. It can be concluded that larger boilers have invested more and more flue gas cleaning equipment has been installed, which is essential to meet the limit values.

The analysis of all the data collected from the reports in an Excel spreadsheet was not included in the work. It would also be possible to analyze, for example, the VOC, CO and efficiency of different combustion plants in different power classes and with different fuels.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- [1] „Coal“, 17.12.2019. [Online]. Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/coal>. [Vaadatud: 28-märts-2020].
- [2] „Renewables“, 11.02.2020. [Online]. Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. [Vaadatud: 28-märts-2020].
- [3] „Gas“, 17.12.2019. [Online]. Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/gas>. [Vaadatud: 28-märts-2020].
- [4] „Nuclear“, 28.11.2019. [Online]. Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/nuclear>. [Vaadatud: 28-märts-2020].
- [5] „Oil“, 27.03.2020. [Online]. Available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/oil>. [Vaadatud: 28-märts-2020].
- [6] „Kütused“. [Online]. Available at: <https://energiatalgud.ee/index.php/Kütused?menu-60>. [Vaadatud: 18-veebr-2020].
- [7] „ENERGIABILANSS --- Aasta, Näitaja ning Kütuse/energia liik“, 2018. [Online]. Available at: <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>. [Vaadatud: 20-apr-2020].
- [8] J. Aun, „Eesti puitkütuste ressurss ja kasutus“, 2019. [Online]. Available at: <https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/metsaressurss.pdf>.
- [9] Ü. Kask, „ENERGIAALLIKAD Põlevad ja mittepõlevad“, 2016.
- [10] S. Mynhardt, „Õhk , mida me hingame“, lk 1–9.
- [11] „Erinevate saasteainete mõju keskkonnale“. [Online]. Available at: http://www.tresorgas.ee/index.php?frm_app_page=6&frm_app_action=1&frm_app_id=19. [Vaadatud: 07-märts-2020].
- [12] „CO2 emissions from fuel combustion“. [Online]. Available at: <https://yearbook.enerdata.net/co2-fuel-combustion/CO2-emissions-data-from-fuel-combustion.html>. [Vaadatud: 01-märts-2020].
- [13] „World’s Air Pollution: Real-time Air Quality Index“. [Online]. Available at: <https://waqi.info/>. [Vaadatud: 29-veebr-2020].

- [14] „Air pollution“. [Online]. Available at: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. [Vaadatud: 28-märts-2020].
- [15] „Ambient Air Quality Database Application“. [Online]. Available at: <https://whoairquality.shinyapps.io/AmbientAirQualityDatabase/>. [Vaadatud: 20-märts-2020].
- [16] „Emissions of air pollutants“. [Online]. Available at: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_EMISSIONS. [Vaadatud: 22-veebr-2020].
- [17] E. Grüner, „Eesti õhk on üks maailma puhtamaid“, 05.06.2019. [Online]. Available at: <https://www.pollumajandus.ee/uudised/2019/06/05/eesti-ohk-on-uks-maailma-puhtamaid>. [Vaadatud: 15-veebr-2020].
- [18] „Kliimapoliitika põhialused aastani 2050 Energeetika ja tööstuse valdkonna mõjude hindamine Tallinn 2016“, 2016.
- [19] „Tahked osakesed“. [Online]. Available at: <http://kemikaalimaailm.sm.ee/kemikaalid/tahked-osakesed.html>. [Vaadatud: 03-märts-2020].
- [20] Belkin.Märt, „Õhusaaste maailmas on tõusuteel, Eestis asjad korras“, 20.04.2018. [Online]. Available at: <https://www.aripaev.ee/uudised/2018/04/20/ohusaaste-maailmas-on-tousuteel-eestis-asjad-korras>. [Vaadatud: 04-märts-2020].
- [21] „The Medium Combustion Plant Directive“. [Online]. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/mcp.htm>. [Vaadatud: 08-märts-2020].
- [22] E. Parlamendi, J. A. Nõukogu, ja D. Ei, „EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV (EL) 2015/ 2193, - 25. november 2015, - keskmise võimsusega põletusseadmetest õhku eralduvate teatavate saasteainete heite piiramise kohta“, nr 1386, 2020.
- [23] „Large combustion plants“. [Online]. Available at: <https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/lcp/chapter3.htm>. [Vaadatud: 11-märts-2020].
- [24] E. Parlament, J. A. Euroopa, E. Parlamendi, E. Parlamendi, ja E. Parlamendi, „EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV 2001/80/EÜ, 23. oktoober

2001, teatavate suurtest põletusseadmetest õhku eralduvate saasteainete piiramise kohta. EÜT L 309, 27.11.2001", kd 299, nr 7, lk 1–21, 2001.

- [25] „End of the Line for Pollutants“. [Online]. Available at: <https://www.eew-energyfromwaste.com/en/environment/flue-gas-cleaning.html>. [Vaadatud: 19-märts-2020].