

Alina Tselovalnikova

**JÄÄTMETE PÕLETAMINE
ELEKTRITOOTMISEKS JA IRU JAAMA
VÕRDLUS TEISTE EUROOPA
ETTEVÕTETEGA**

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut
Keskkonnatehnoloogia ja- juhtimine õppekava

Juhendaja: Deniss Klauson

Tallinn 2023

Mina, Alina Tselovalnikova, tõendan et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Deniss Klauson (allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihthitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Alina Tselovalnikova

sünnikuupäev: 12.05.2000

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihthitsentsi) enda loodud teose Jäätmete põletamine elektritootmiseks ja Iru jaama võrdlus teise Euroopa ettevõtetega

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihthitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1 JÄÄTMETE UTILISEERIMINE	6
2 JÄÄTMETE PÕLETAMISE VÕIMALUSED.....	9
3 JÄÄTMETE PÕLETAMINE ELEKTRIENERGIA TOOTMISEKS EUROOPA LIIDUS.....	10
4 JÄÄTMETE PÕLETAMINE EESTIS	12
4.1 Iru jäätmejaam	12
5 JÄÄTMETE PÕLETAMINE SAKSAMAAL	20
5.1 Kölni jäätmeenergiajaam, AVG Köln	20
6 JÄÄTMETE PÕLETAMINE ROOTSIS.....	25
6.1 Mälarenergi AB	25
7 JÄÄTMETE PÕLETAMINE TAANIS.....	30
7.1 Taani Amager Bakke jäätmeenergiajaam.....	30
8 JÄÄTMETE PÕLETAMISE PARIM VÕIMALIK TEHNIKA	34
KOKKUVÕTE.....	36
SUMMARY	37
TÄNUAVALDUSED	39
VIIDATUD ALLIKAD.....	40

SISSEJUHATUS

Ökoloogia on 21. sajandil üks kõige olulisemaid teadusharudest, mis on seotud paljude ühiskondliku tegevuse valdkondadega. Tänapäeva väljakutsed, nagu kliimamuutused, õhu, pinnase ja vee reostus, ökosüsteemide hävitamine, jt nõuavad kiireloomulisi ja tõhusaid lahendusi, et säilitada meie planeet ja tagada jätkusuutlik areng. Nende väljakutsetega toimetulemiseks on vaja uuenduslikke lähenemisviise, nagu jäätmete põletamine.

Jäätmete põletamine on üks võimalus jäätmete käitlemiseks ja samal ajal energia tootmiseks. Kui seda tehnoloogiat rakendatakse õigesti, võib see olla tõhus ja keskkonnasõbralik viis jäätmete käitlemiseks, sest see vähendab oluliselt jäätmete hulka prügilates, seeläbi prügilate poolt tekitatavat keskkonnakoormust, ja sammegselt vähendab sõltuvust fossiilkütustest elektrienergia tootmisel.

Jäätmete põletamine elektrienergia tootmiseks on üks viis, kuidas saab toota elektrit taastumatutest energiaallikatest. See protsess hõlmab jäätmete põletamist spetsiaalsetes ahjudes, et toota soojusenergiat ja seejärel kasutada seda aurugeneraatorite abil elektri tootmiseks.

Jäätmete põletamisel elektrienergia tootmiseks on mitmeid eeliseid:

- Esiteks, aitab see vähendada prügilate kasutamist, kuna suur osa jäätmetest, mis muidu jõuaksid prügilatesse, võib muuta kasulikuks energiaks, ja lõpp-ladestamiseks jääb oluliselt väiksem kogus tuhka.
- Teiseks, võib see aidata vähendada fossiilkütuste, näiteks söe ja gaasi kasutamist energiatootmisel. Saadud soojusenergia omakorda kasutatakse auru tootmiseks, mis jõuab turbiinidele ja nendega ühendatud elektrigeneraatoritele, mis omakorda toodavad elektrit.
- Samuti võib jäätmete põletamine elektrienergia tootmiseks olla kohalikul tasandil tõhus alternatiiv energia tootmiseks, eriti juhul, kui pole piisavalt ruumi, et rajada suuri päikese- või tuuleenergia projekte. Lisaks sellele, et see protsess võib vähendada prügilate koormust ja süsinikdioksiidi emissioone, võib see aidata ka vähendada sõltuvust fossiilkütustest ja suurendada energiajulgeolekut. Kõik suitsugaasid puhastatakse enne nende väljutamist atmosfääri, et vähendada saasteainete mõju keskkonnale.

Jäätmete põletamisel elektrienergia tootmiseks on ka mõningaid väljakutseid. Jäätmete põletamisega kaasnevad keskkonnaalased probleemid, nagu õhusaaste (sh lõhnad) ja müra, ning see võib kaasa tuua

ka mürgiste heitmete probleeme, nagu raskmetallid, lämmastikoksiidid ja vääveloksiidid. Seetõttu on oluline, et jäätmete põletamist käsitletakse hoolikalt ja võetaks kasutusele sobivad tehnoloogiad, et minimeerida võimalikku negatiivset mõju keskkonnale ja tervisele.

Antud töö eesmärk on uurida ja võrrelda jäätmete põletamist Iru jaamas teiste Euroopa ettevõtetega. Leida nende eelised ja puudused jäätmete põletamisel. Töös selgitatakse välja, kui palju energiat tekib jäätmete põletamiseks. Uuritakse kui palju põletatakse prügi ja kui palju satub keskkonnale kahjulikke aineid.

Selleks antud töös võrreldakse jäätmete põletamist erinevates riikides asuvates ettevõtetes. Töös uuritakse, kuidas jäätmeid kõrvaldatakse ja mis on selle positiivsed aspektid. Igas riigis jäätmete utiliseerimine toimub erineval viisil ning iga ettevõtte toodab erineva koguse energiat jäätmete põletamisest.

Töös uuritakse jäätmete põletamise eeliseid ja puudusi ning seda, millistes riikides ja ettevõtetes toimub jäätmete põletamine energiatarbimiseks ohutumalt.

1 JÄÄTMETE UTILISEERIMINE

Jäätmete utiliseerimine hõlmab erinevaid protsesse ja meetodeid, mille eesmärk on vähendada lõpp-jäätmete hulka ja selle negatiivset mõju keskkonnale. Jäätmete utiliseerimine on protsess, mille käigus jäätmetest vabanetakse, kuid samal ajal püütakse ära kasutada nende energia- ja materjaliväärtusi nii palju kui võimalik. Jäätmete utiliseerimine hõlmab erinevaid meetodeid, sealhulgas jäätmete taaskasutamist, ringlussevõttu, kompostimist, bioloogilist lagundamist ja energiakasutust. Jäätmete utiliseerimise eesmärk on saada jäätmetest kasu, kasutades neid ressursina uute materjalide ja toodete loomiseks või taastuenergia tootmiseks. [1], [2]

Iga meetod omab oma eelised ja puudused, mis on kirjeldatud tabelis. (Tabel 1)

Tabel 1. Jäätmete utiliseerimise eelised ja puudused

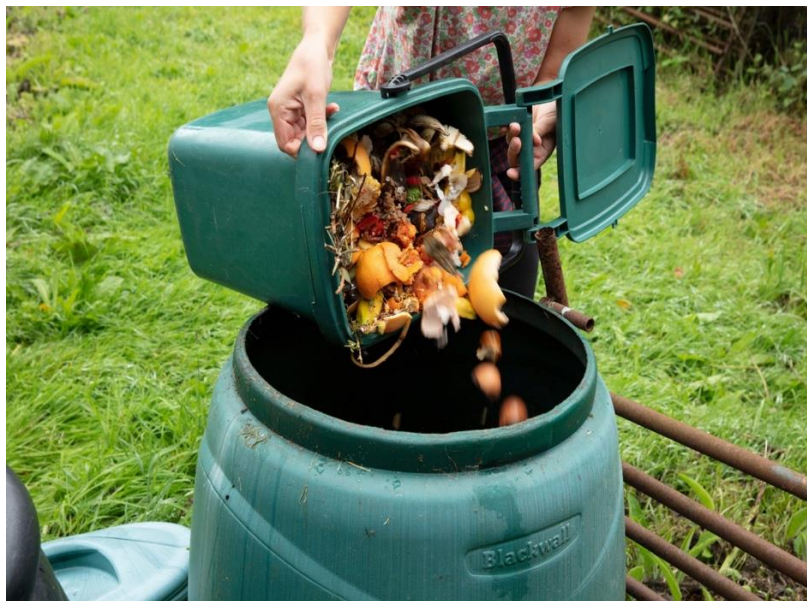
Utiliseerimise meetodid	Eelised	Puudused
Jäätmete taaskasutamine	Jäätmete hulga vähendamine	Energia ja ressurse nõuetamine
	Loodusvarade säästmine	Võib olla kulukas
	Energia tarbimise vähendamine	
Jäätmete kompostimine	Jäätmete hulga vähendamine	Võib olla ebameeldiv lõhn
	Produktiks on põllumajanduses või haljastuses kasutatav muld	Vajab aega ja tööd
	Lihtne protsess	Nõuab ruumi
	Raha säästamine	Ei sobi kõigile jäätmetele, tekkinud komposti kvaliteet ja koostis
Jäätmete põletamine energia tootmiseks	Jäätmete vähendamine	Töötlemise kulud
	Energia tootmine	Energiatootmise keskkonnamõju

Utiliseerimise meetodid	Eelised	Puudused
	Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine	Kogumise ja sorteerimise probleemid
	Loodusvarade säästmine	
Jäätmete ladustamine	Odav	Keskkonna saastamine
	Jäätmete vähendamine	Kasvuhoonegaaside ja nõrgvee eraldamine
	Biogaas	Nõuab ruumi

Jäätmete utiliseerimise meetodid sõltuvad jäätmete tüübist, koostisest ja kogusest, samuti riiklikke ja piirkondlikke seadusandlikke nõuetest. Näiteks võib prügilatesse ladestamine olla lubatud mõnes piirkonnas, kuid teistes on see keelatud või piiratud.

Jäätmete utiliseerimise meetodid hõlmavad järgmist:

- Materjalide taaskasutamine - see protsess hõlmab jäätmete ümbertöötlemist uuteks toodeteks või materjalideks. Näiteks võib vanadest ajalehtedest või paberikottidest valmistada uusi paberitooted, nagu nt.
- Biolagunevate jäätmete kompostimine - biolagunevaid jäätmeid, nagu toidujäätmeid ja aiapäätmeid, samuti reoveepuhastusjaamade muda, saab kompostida, et toota biogaasi ja kompostmulda, mis on kasulik taimede kasvatamisel (**Error! Reference source not found.**).
- Jäätmete põletamine energia tootmiseks - jäätmeid, mida ei saa taaskasutada ega kompostida, saab põletada elektri- ja soojusenergia tootmiseks.
- Jäätmete ladustamine - jäätmeid, mis ei sobi taaskasutamiseks, kompostimiseks ega põletamiseks, ladustatakse kontrollitud tingimustes spetsiaalsetes prügilates, ja jäätmetest toodetav biogaas on kasulik energiaallikas.



Joonis 1. Kompostimisega jäätmete vähendamise vastu [3]

Jäätmete utiliseerimine on oluline keskkonnakaitse seisukohalt, kuna see aitab vähendada jäätmete kogust, mis mida ladestatakse prügilatesse, kus need võivad kahjustada keskkonda ja tervist. Jäätmeprügilas toimuvad anaeroobsed lagunemisprotsessid, mida teostavad bakterid hapniku puudumisel. Need protsessid viivad mürgise gaaside eraldumiseni, mis sisaldab väga tugevat kasvuhoonegaasi – metaanooli, ja ohtlikke saasteainete (sh raskmetalle) sisaldavate nõrgvete tekkeni ja on ohtlik inimeste tervisele. Samuti võib jäätmete utiliseerimine aidata vähendada sõltuvust fossiilkütustest ning edendada jätkusuutlikumat majandust. [4]

Jäätmete utiliseerimine võib aga olla kulukas ja keeruline protsess, eriti kui jäätmete kogus on suur või nende koostis on mitmekesine. Seetõttu on oluline edendada jäätmekäitluse teadlikkust ning toetada innovatiivseid lahendusi, mis võimaldavad jäätmete efektiivsemat utiliseerimist.

2 JÄÄTMETE PÕLETAMISE VÕIMALUSED

Jäätmete põletamine on üks võimalus jäätmete käitlemiseks. Seda meetodit kasutatakse üldiselt siis, kui jäätmeid ei saa muul viisil töödelda või kui nende taaskasutamine ei ole majanduslikult või tehniliselt mõistlik. Samas, peavad jäätmete koostis ja kogused olema põletamiseks sobiv. Jäätmete põletamine on keerukas protsess, mis nõuab spetsiaalset seadmete ja tehnoloogiat. [5]

Jäätmete põletamine võib toimuda erinevates seadmetes, nagu näiteks prügilakütteseadmed, põletusahjud ja elektrijaamad. Kütuseks võib kasutada erinevaid jäätmeid, nagu näiteks segaolmejäätmeid, ohtlikke jäätmeid, biolagunevaid jäätmeid ja teisi. [5]

Enne tahkete kommunaaljäätmete põletamist sorteeritakse need, et eemaldada tervisele ja keskkonnale ohtlikud komponendid nagu akud, luminofoorlampsid, lakid ja värvid. Seejärel jahvatatakse jäätmed peeneks ja saadetakse põletamisele. [6]

Seega, jäätmete põletamine on üks võimalus jäätmete käitlemiseks, kuid selle kasutamine peaks olema hästi läbimõeldud, et tagada seadmete ja tehnoloogia korrektne toimimine ning vältida kahjulikke mõjusid keskkonnale ja inimeste tervisele.

3 JÄÄTMETE PÕLETAMINE ELEKTRIENERGIA TOOTMISEKS EUROOPA LIIDUS

Jäätmete põletamine elektrienergia tootmiseks on üks taastuvenergia allikaid, mida kasutatakse Euroopa Liidus, kuid see on ka üsna vasturääkiv teema, sest see võib kaasa tuua negatiivseid keskkonnamõjusid.

Euroopa Liidu direktiivides on sätestatud teatavad nõuded, mis peavad olema täidetud, kui jäätmeid põletatakse elektrienergia tootmiseks. Nende nõuete hulka kuuluvad jäätmete koostise piirangud, heitgaaside emissiooni piirangud ja ohutusmeetmed. Üks Euroopa Liidu kehtivatest direktiividest, mis reguleerib jäätmete põletamist elektrienergia tootmiseks, on Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2018/851/EÜ jäätmete käitlemise kohta. [7]

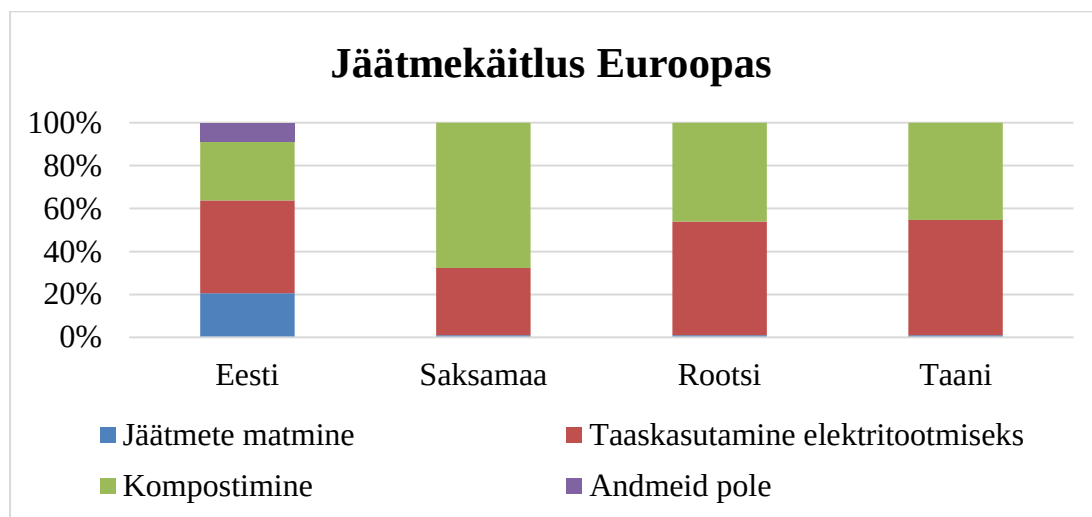
Euroopa Liit on võtnud endale kohustuse laiendada taastuvenergia kasutamist ja vähendada süsinikdioksiidi heitkoguseid, et võidelda kliimamuutustega.

Euroopa Liit on vastu võtnud õigusaktid, mis piiravad kahjulike heitmete teket ja reguleerivad nende heitkoguseid.

Mitmed Euroopa riigid kasutavad jäätmepõletustehnoloogiat, et vähendada prügilatesse ladestatavate jäätmete hulka ja toota energiat:

- Saksamaal on üle 70 jäätmepõletusjaama. Saksamaa on üks suurimaid jäätmepõletusel toodetud elektritootjaid.
- Eestis on jäätmete põletamine elektri tootmiseks üks tahkete olmejäätmete (MSW) kõrvaldamise viise.
- Taani ühes põletustehases põletatakse aastas 500 000 tonni jäätmeid. [8]
- Rootsi on üks kõige edukamaid riike jäätmepõletuse tehnoloogia kasutamisel, kasutades jäätmepõletust kaugkütte allikana. [9]

Joonis 2 nätab kuidas Eesti, Saksamaa, Rootsi ja Taani käitleb jäätmeid.



Joonis 2. Jäätmekäitlus Euroopas [10]

4 JÄÄTMETE PÕLETAMINE EESTIS

Jäätmete põletamine on Eestis olnud pikka aega üks peamisi meetodeid jäätmete käitlemiseks.

Eestis on kokku üheksa jäätmete põletamise tehist, mis kasutavad jäätmete energiakasutuse tehnoloogiaid. Need tehased asuvad Tallinnas, Tartus, Pärnus, Jõhvis, Kunda ja Ragn-Sells on rajamas uut jäätmete põletamise tehist Kohtla-Järvele. Jäätmete põletamise tehased võimaldavad toota elektrienergiat ja soojust ning vähendada samal ajal jäätmete hulka, mis ladestatakse prügilatesse. Jäätmete põletamisel saadava energia osakaal Eestis moodustab umbes 20% kogu riigi energiatarbimisest. [11]

Eesti seaduste kohaselt võib jäätmeid põletada vaid spetsiaalselt selleks ettenähtud jäätmete põletamise seadmetes, millel on vastav keskkonnaluba ning mis vastavad teatud nõuetele, sealhulgas heitmete piirväärtustele. Jäätmete põletamine avalikus kohas, nagu näiteks aias või tänavaääres, on keelatud. [11]

Keskkonnareostuse vältimiseks reguleerib jäätmete põletamist Eestis rida seadusi, mis seavad piirmäärad õhusaaste tasemetele ja nõuavad põletusseadmetelt heite piirväärtuste järgimist. Selleks on käivitatud mitmeid riiklikke programme, mis toetavad jäätmete sorteerimist ja taaskasutust ning soodustavad jäätmete põletamise asemel alternatiivsete lahenduste kasutamist, mistõttu põletamise osakaal jäätmekäitluses Eestis väheneb. Seetõttu töötavad tehased ISO standardite ja Euroopa Liidu direktiivide järgi, mida kirjeldatakse allpool. Samuti on kavas rajada uusi tehaseid, kus kasutatakse keskkonnasõbralikumaid jäätmekäitlusmeetodeid nagu biolagunevate jäätmete kompostimine ja biodiisli tootmine.

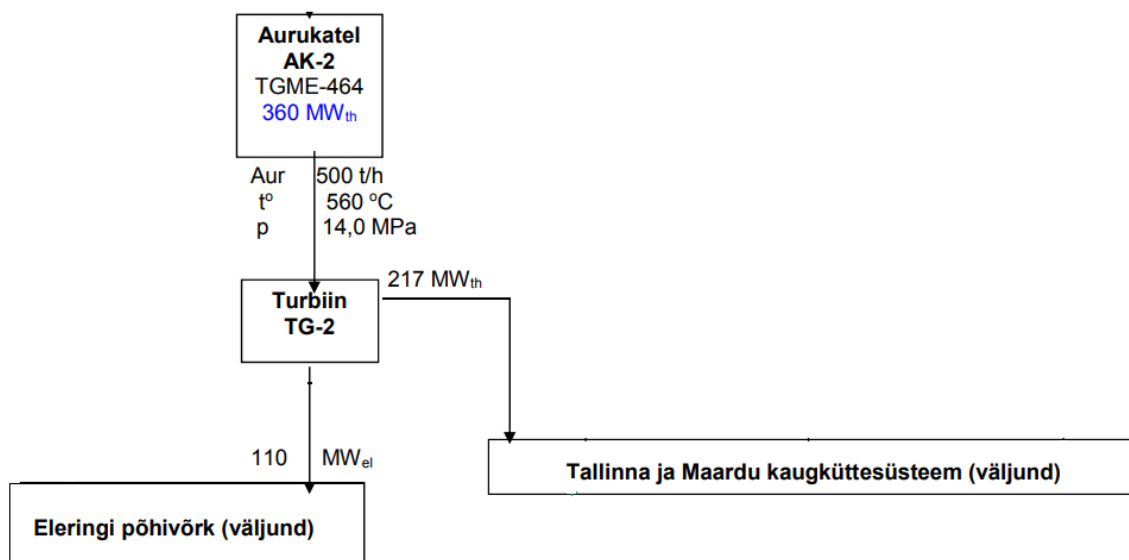
4.1 Iru jäätmejaam

Iru elektrijaam on üks riigi suuremaid jäätmeenergeetika ettevõtteid Eesti Energia tütarettevõttes Enefit Green, mis tegeleb peamiselt olmejäätmete põletamisega.

Iru elektrijaam on teinud mitmeid investeeringuid seadmetesse ja tehnoloogiatesse, et vähendada jäätmete põletamisest tekkivat keskkonnamõju. Näiteks on jaam varustatud kaasaegsete gaaside puhastamise seadmetega, mis eemaldavad tahkeid ja gaasilisi saasteaineid heitgaasidest. Lisaks on

jaamal ka süsteemid, mis jälgivad heitgaaside koostist ja tagavad, et heitgaasid vastavad kehtivatele keskkonnanõuetele. [12], [13]

Elektrijaamal on üks energiaplokk võimsusega 110 MWe elektrienergiat ja 217 MWth soojusenergiat, millel on vasturõhul töötav turbiin nimega TG-2. Turbiinil on eraldi aurukatel võimsusega 360 MWth. Elektrijaamas on ka jäätmeenergiaplokk, mis toodab 19,3 MWe elektrit ja 80 MWth soojusenergiat. Lisaks on olemas kolm veesoojenduskatelt võimsusega 116 MWth ja üks aurukatel võimsusega 18 MWth. (Joonis 3)



Joonis 3. Energiatootmise põhimõtteline skeem [14]

Tehnilise lahenduse kohaselt saavad korraga töötada kaks energiaplokki, mille koguvõimsus on 129 MWe elektrit ja 297 MWth soojusenergiat, ning kolm veekatelt võimsusega 332 MWth. Elektrijaama paigaldatud summaarne soojusvõimsus on 629 MWth. Pärast jäätmete põletamist satuvad keskkonda saasteaneid, mis on näidatud tabelis (

Tabel 2).

Tabel 2. Iru jaama tööl tekkivad atmosfääriheitmed ja nende seadustega lubatud kogus aastas [15]

Saasteaine, t	Lubatud kogus aastaks*, t	2019	2020	2021
Lämmastikdioksiid NOx	3600,323	218	247,49	220,48
Süsinikoksiid CO	710,324	16,9	10,98	7,75
Mittermetaansed lenduvad orgaanilised ühendid NMVOC	111,618	1,58	1,1	0,83
Süsinikdioksiid CO2	1 419 611,723	126 587	136 956	141 215
Väeveldioksiid	111,691	21,2	22,02	31,19
Tahked osakesed summaarselt	29,816	0,79	0,63	0,32
Ammoniaak	14,82	4,07	1,8	0,65
Plii ja ühendid, ümberarvutatuna	17,165	0,35	0,3	0,01

Tabelit vaadates on näha, et saasteainete heitkogused Eestis aja jooksul vähenevad. Heitkoguste regulatsioonid vastavad maksimaalsetele lubatud väärtustele. Iru elektrijaamas jäätmete põletamise tabeli põhjal võib järeldada, et Eestis on olemas meetmed ja süsteemid jäätmete põletamisel tekkivate heidete tõhusaks kontrollimiseks ja vähendamiseks, mis aitab vähendada negatiivset mõju keskkonnale ja vastab regulatiivsetele nõuetele.



Joonis 4. Iru Elektrijaam [16]

Enefit Greeni elektrijaam töötleb aastas kuni 260 000 tonni segaolmejäätmeid. Keskmiselt võtab prügipõletusjaam vastu 80 prügiauto koormat päevas. Jäätmeid ei sorteerita jaamal eraldi, kuna prügipõletusjaama tehniline lahendus ei nõua segaolmejäätmete purustamist ega sõelumist enne põletamist. Sissesõidul ja väljasõidul jaamast kaalutakse prügiautosid. Igal autol on oma elektrooniline kiip, mis registreerib automaatselt toodud jäätmete kaalu. Kaalumise tulemusena koostab ettevõtte automaatselt arve, mis sõltub toodud jäätmete kaalust. See tähendab, et mida rohkem jäätmeid tuuakse, seda kõrgem on arve, mille ettevõtte saadab prügiauto omanikele. Selline süsteem võimaldab tõhusalt jälgida ja kontrollida toodud jäätmete kogust ning tagab õiglasema jaotamise prügi utiliseerimise kulude vahel prügiauto omanike vahel, lähtudes nende toodud jäätmete kaalust. [17], [18]

Kuidas elektrijaamas jäätmeid põletatakse?

Jäätmete vastuvõtusaal on ette nähtud aastase jäätmevoo vastuvõtmiseks, mis ulatub kuni 260 000 tonnini. Enamus sellest kogusest pärineb Eestist, samal ajal kui viimastel aastatel tuuakse lisaks

meretranspordiga Iirimaalt täiendavad 20 000 tonni ning väike osa Soome linnast Turust. Prügi Tallinnast ja lähedalasuvatest asulates tuuakse tavaliste prügiautodega, samas kui kaugemate piirkondade prügi transporditakse suuremõõtmeliste poolhaagistega, kuna see on ökonoomsem. Enne põletamist ei toimu segaolmejäätmete sorteerimist. Tänu suletud ehitusele ei tunne Iru naabruskonna elanikud erinevaid jäätmete lõhnu. Viie vastuvõtuaugu kaudu suunatakse jäätmed spetsiaalsesse mahutisse. [17], [18]

Jäätmebunker on suur ja ohutu tulekindel betoonkonteiner, kus hoitakse prügi. Bunker suudab mahutada kuni 4000 tonni jäätmeid, tagades 4-5 päeva töövaru. Enamik päeva jooksul saabunud prügist põletatakse järgmiseks hommikuks. Bunkeris liigutavad hiiglaslikud haardurkraanad jäätmed vastuvõtuavade vastas asuvasse seinu, koguvad need hunnikutesse ja segavad erinevad partiid, tagamaks jäätmete ühtlasemaid põlemisomadusi katlas. Kraanade töö bunkeris on täielikult automatiseeritud. Laserid skaneerivad nii katlasse sisenemise kütuse taset kui ka bunkeris sisu ning kraanade tööd juhib suurema osa ajast arvuti automaatselt. [17]

Bunkeris on tulekustutussüsteem, mis mängib olulist rolli turvalisuse tagamisel. Aeg-ajalt satub bunkerisse põlev prügi, nagu sigaretisalud või tuhk kaminast. Prügi võib süttida ka kodukeemia põhjustatud keemiliste protsesside tulemusena, elektroonikaseadmete patareide või aktiveerimata ilutulestikuraketide viskamise tagajärjel. Seetõttu on tõhus tulekustutussüsteem oluline osa bunkrist, mis võimaldab kiiresti hakkama saada tekkivate tulekahjudega jäätmetehnilas. Automaatsed soojuskaamerad jälgivad jäätmeid ja annavad koheselt teada prügi temperatuuri tõusust. [17]

Läbi kuue ava jõuab prügi prügipõletuse katlasse, mis töötleb kuni 720 tonni segaolmejäätmeid päevas. See teeb kokku 260 tuhat tonni aastas. Põletamine toimub suures koldes, millel on roovitud restid, sarnaselt koduste ahjude ja kaminatega. Peamine erinevus seisneb selles, et kalduv põrand ja liikuv katla põrand puhastatakse automaatselt tuhast, võimaldades katlal töötada mitu kuud järjest. [17]

Gravitatsiooni mõjul kukuvad jäätmed läbi söötmissaadme katlasse ja süttivad. Kalduv katla põrand koos liikuvate restidega liigutab põlevat massi läbi katla umbes 2 tunniga ja umbes 3/4 prügi mahust põleb ära. Järelejäänud tuhk kukub läbi katla roovitud resti ääre ja pärast veega kustutamist suunatakse tuhakonteinerisse. Katel kujutab endast soojusvahetit, mille seintes on sadu veega täidetud torusid, kus põlemise soojuse mõjul algab keemine ja see muutub aurukeseks. Kuumad suitsugaasid väljuvad

katlast läbi täiendavate soojusvahetite. Tekkiv aur, mille temperatuur on umbes 400 °C, liigub katla ja soojusvahetite seintelt turbini, kus seda kasutatakse elektrienergia tootmiseks. Soojusvahetites soojendatakse 400 °C-st aurutõmmet suitsugaasidega, mis omakorda jahtuvad umbes 1000 °C-selt temperatuurilt ligikaudu poole võrra ja suunatakse puhastussüsteemi. [17]

Turbiinid ja generaator koos prügipõletuskatlagaga asuvad elektrijaama vanemas osas, samas saalis koos gaasikatla turbiinidega. 400 °C kuum aur, mis tuleb prügipõletuskatlast, suunatakse torude kaudu otse turbiini. Kõrgrõhu aur läbib tihedalt paigutatud turbiinilabasid ja paneb turbiini pöörlema. Generaator on turbiiniga ühendatud võlliga ning generaatori pöörlemisel toodetakse elektrit, mis edastatakse 10,5 kV pingega kaablite kaudu elektrijaama seina taga asuvatesse transformaatoritesse. Transformaatorid tõstavad pinget 110 kV-ni ja suunavad elektrienergia edasi Eleringi kõrgepingeliinide kaudu, mis jaotatakse üle kogu Eesti. [17]

Turbiid ja generaator suudavad muundada ainult kuni 40% aurue energiast elektrienergiaks. Üle 2/3 aurue energiast jääb soojuseks. Just selle lihtsa fakti tõttu on nii katlamajades kui ka tuumaelektrijaamades ühise elektri- ja soojuse tootmine kõige tulusam ja keskkonnasõbralikum viis elektrienergia tootmiseks - kui elekter ja soojus toodetakse koos. [17]

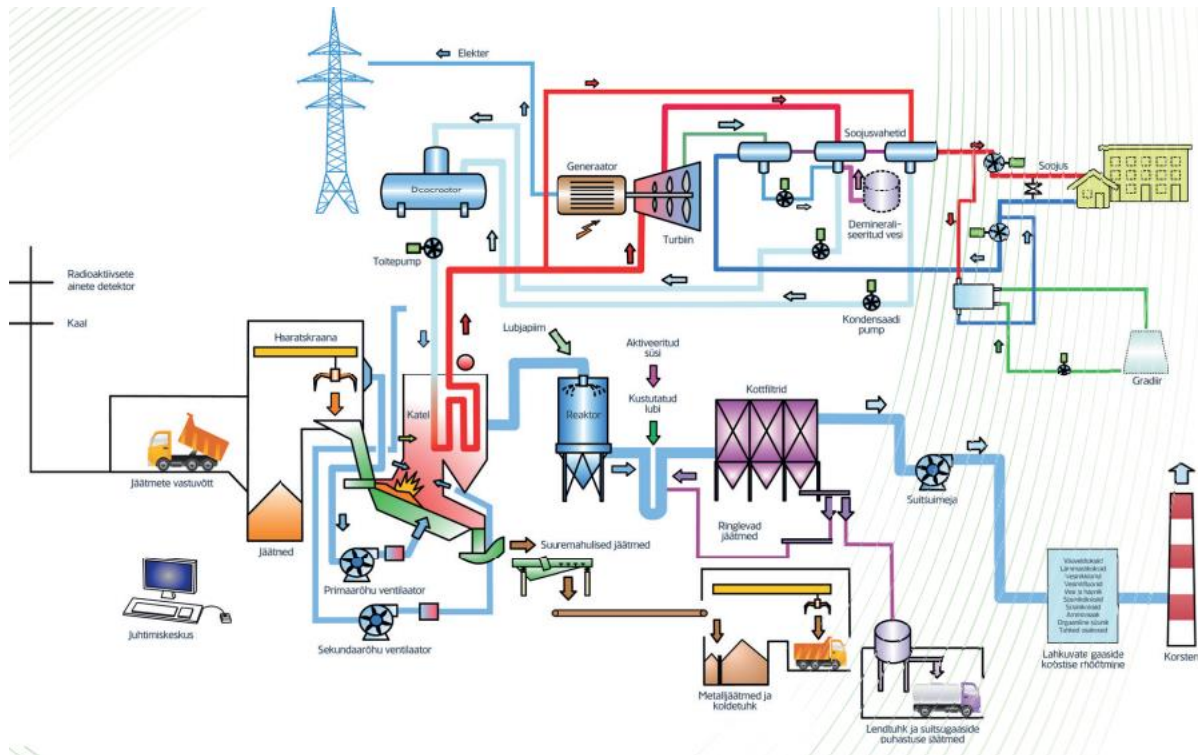
Generaatori võimsus on 116 MW. Aastane maksimaalne elektrienergia tootmisvõimsus generaatoril on piisav, et varustada Lasnamäe kodutarbijaid elektriga. Esimene energiaplokk on välja lülitatud, samas kui teine, võimsam energiaplokk on töökorras ja valmis vajadusel energiat tootma. [17]

Jäätmete põletamisel tekib oluline kogus heitgaase. Puhastusseadmete osakaal prügilas asuva jäätmekütuse jaama maksumusest moodustab peaaegu poole ning see on äärmiselt tõhus suitsugaaside puhastussüsteem.

Puhastusprotsess koosneb kolmest etapist: esimeses etapis pritsitakse suitsu lubjapiimaga, mis jahutab kuumaid gaase, seob süsihappegaasi ning lämmastiku ja vää vli oksiide . Lubjapiima valmistatakse kasutades lubja peent pulbrit. Seejärel liigub suits U-kujulise toru kaudu, kus kustutatud lubi neutraliseerib järelejäänud happelisi gaase ja aktiivsüsi adsorbeerib põlemise bvaheproduktidena tekkivaid orgaanilisi ühendeid. Lõpuks läbib gaas kangasfiltrite, mis eemaldavad suitsust peaaegu kogu tolmu. Seega kokkuvõttes õhusaaste, mida põhjustab Iru jäätmekütuse põletusjaam, mis töötleb

suurema osa Eesti segajäätmetest, on võrreldav kõigist umbes 35 keskküttega eramajapoolt tekitatud õhusaastega. [17], [19]

Jahutustorn ehk gradiir mängib olulist rolli soojusenergia hajutamisel. Elektrienergia tootmise protsessis saab vaid umbes 40% aurust saadavast soojusenergiast efektiivselt ära kasutada. Ülejäänud osa võib suunata soojusvõrkudesse ja kasutada kütteks, kuid sellises koguses soojuse vajadus pole alati olemas. Hetkel saab jahutustorn vaid väikese koguse soojusenergiat, peamiselt sooja aastaajal. Jahutustorni alumises osas asub 60 meetri läbimõõduga ringikujuline soojusvaheti, kus tsirkuleerib kuum vesi. Ülevalt kastetakse seda veega, et kiirendada soojuse hajumist. Soe aur tekib laias torus sees ja edastab tõhusalt soojusenergiat atmosfääri. [17] Joonis 5 näitab kuidas töötab Iru jäätmeenergiaplok.



Joonis 5. Jäätmeenergiaploki skeem [20]

5 JÄÄTMETE PÕLETAMINE SAKSAMAAL

Jäätmete põletamine Saksamaal on olnud oluline osa riigi jäätme käitluse strateegiast. Saksamaa on üks juhtivaid riike jäätmete põletamisel ja enam kui 60% Saksamaal tekkinud jäätmetest läheb energiatootmisega põletamisele. Jäätmepõletusest saadava energia osakaal Saksamaal moodustab umbes 10% kogu riigi energiatarbimisest. [21]

Saksamaa jäätmete põletamise sektor on hästi reguleeritud ja põletusprotsessid peavad vastama rangetele keskkonnanõuetele. Näiteks on kehtestatud normid õhupuhastussüsteemidele, et tagada saasteainete heitkoguste minimeerimine.

Eelmisel aastal oli Saksamaal 68 kohalikku prügilat, mille koguvõimsus oli umbes 20 miljonit tonni. Lisaks oli umbes 30 jäätmekütusel töötavat elektrijaama, mis tarnisid lähedal asuvatele ettevõtetele energiat. Nende elektrijaamade koguvõimsus oli umbes 5 miljonit tonni. [21]

Kõigepealt kogutakse prügi spetsiaalsesse mehaaniliseks sorteerimiseks mõeldud konteinerisse, et parendada selle energiaväärtust. Seejärel saadetakse prügi prügilatehasse, kus kasutatakse erinevaid põletamistehnoloogiaid, sõltuvalt ahjude tüübist. Saksamaal on kõige levinum meetod kihtpõletusmeetod, mis hõlmab kuuma õhuvoolu juhtimist prügikihile, mis on laotatud riivitud restile. Selle meetodi kasutamisel ei nõuta prügi erilist ettevalmistust.

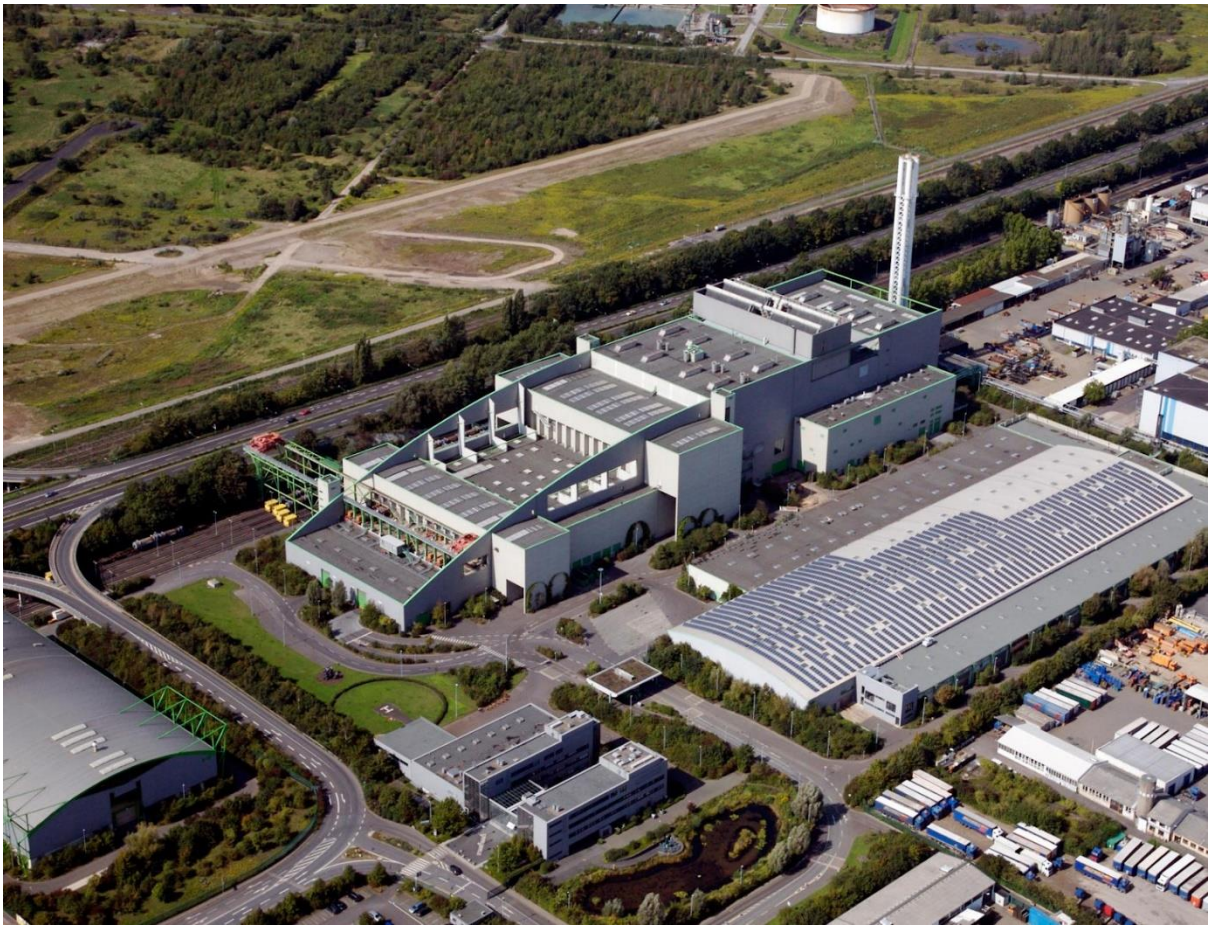
Saksamaal on levinud ka jäätmete põletamine keevkihis, mis on populaarne meetod. See tehnoloogia kasutab tahke kütuse põletamist kateldes, kus tekib keev kiht kütuseosakeste ja mittesüttivate materjalide osakeste segust. Põlemise ajal hakkavad osakesed õhuvoolude mõjul aktiivselt liikuma, luues vedeliku efekti. See meetod vähendab heitmete toksiliste ainete emissiooni põletamisel, kuid ei sobi segajäätmete utiliseerimiseks kõrge jääkladude ja heitmete hulga tõttu. Seetõttu kasutatakse seda eelnevalt sorteeritud jäätmete põletamiseks. [21]

5.1 Kölni jäätmeenergiajaam, AVG Köln

Kölni jäätmeenergiajaam - tehase, mis on disainitud ja ehitatud Kölnis kodumajapidamis- ja suurjäätmete ning muu kodujäätme ohutuks ja usaldusväärseks põletamiseks. See tehas on üks maailma kõige tõhusamaid ja keskkonnasõbralikumaid prügilatehasi, mille eesmärk on jäätmete töötlemine vastavalt kõrgetele keskkonnastandarditele. Lisaks annab tehase tootmine olulise panuse

energiatootmisse, töötades soojuselektrijaamana ja tootes elektrit ja auru tõhusalt ja keskkonnasõbralikult. [22]

See töötleb jäätmeid, mis on kogutud eraldi kodumajapidamiste jäätmemahutitesse, samuti jääke, mis on jäänud pärast sega-ehitus- ja äriliste jäätmete sorteerimist. Enamus jäätmeid toimetatakse raudteed mööda, kasutades jäätmevedude jaoks kahte ülekandeterminali Kölni linnas, mille üldine töömaht on umbes 250 000 tonni aastas. Ülejäänud jäätmed toimetatakse veoautodega. [23]



Joonis 6. Kölni jäätmeenergiajaam [24]

Kölni jäätmejaama töötappid:

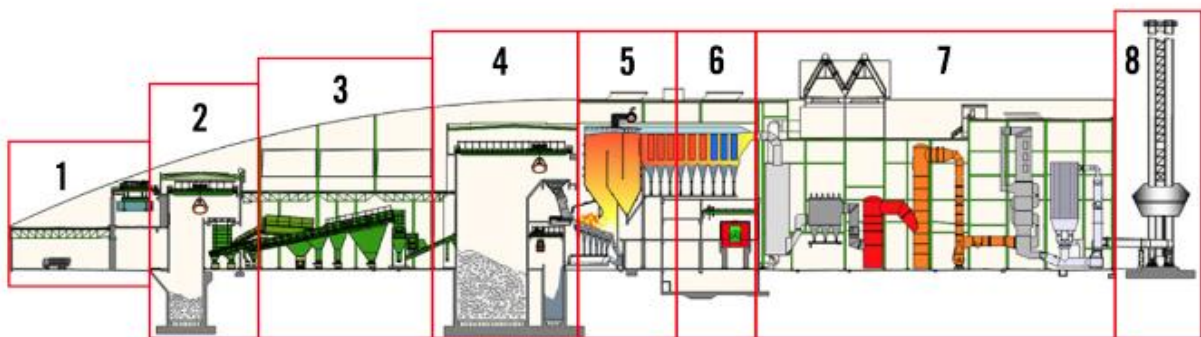
1. Kohaletoimetamine. Jäätmed tarnitakse prügilasse kahe meetodiga. Enamus olmejäätmeid transporditakse suletud konteinerites raudteel, samas kui olme- ja suuremahulised jäätmed tuuakse prügilasse autotranspordiga läheduses asuvatest kohtadest. Sorteerimistehaste jäägid tarnitakse prügilasse nii raudtee kui ka autotranspordiga. [22]

2. Päevane jäätmepunker. Esimeses bunkris võetakse erinevad jäätmete fraktsioonid vastu erinevates tsoonides nende järgnevas töötlemiseks. See esimene bunker on mõeldud ainult erinevate jäätme fraktsioonide eraldi vastuvõtmiseks. [22]
3. Jäätmekäitlus. Erinevate jäätme fraktsioonide, sealhulgas kodumajapidamise ja suurte jäätmete ning sorteerimisjääkide, maksimaalselt ühtlase kütuse saamiseks tuleb neid pärast töötlemist hoolikalt segada. See nn homogeniseerimise protsess tagab ühtlase ja kvaliteetse põlemise. Seejärel liiguvad jäätmed konveieritel teisele jäätmekonteinerile, mis on mõeldud jääkide jaoks. [22]
4. Jääkjäätmepunker. Neli eraldiseisvat põletusliini võtavad vastu jäätmeid, mida jagavad nendevahelised kaks sõltumatut kraanat. Igal põletusliinil võib põletada kuni 20 tonni jäätmeid tunnis sõltuvalt nende soojusvõimsusest. Lisaks täidab jääkide mahuti ka puhverfunktsiooni, tagades igal ajal piisava koguse jäätmeid kõikidele põletusjoontele isegi siis, kui jäätmete kohaletoimetamine on peatatud (näiteks nädalavahetustel või pühade ajal). [22]
5. Ahju- ja katlaruum. Jäätmed tarnitakse põletuskambritesse läbi bunkrite, kus kuus rullikut aeglaselt edastavad põleva materjali edasi. Jäätmed jäävad rullikrestile umbes üheks tunniks ja põlevad täielikult temperatuuridel vahemikus 1000 °C kuni 1200 °C. Põlemine toimub päri voolu põhimõttel, kus põletatavad jäätmed ja heitgaasid liiguvad ühes suunas. See võimaldab heitgaaside ja tolmu, mis vabaneb põletamisprotsessi käigus, suunata "kuuma leegi" kaudu põlemiskihi lõpus, kus keemilised ühendid lagunevad juba põletuskambris ja tolmu kontsentratsioon ning saastavate ainete sisaldus väheneb miinimumini. Jäätmed põlevad ise, ilma täiendava põletamiseta. Kuid kui katelt käivitatakse maagaasil töötavate põletitega, tuleb enne jäätmete katlasse paigutamist tagada vastavalt seadusandlusele temperatuuri vähemalt 850 °C. [22]
6. Energia tootmine. Selleks kasutatakse 56 MW võimsusega turbogeneraatorit, mis töötab soojuse ja elektri koostootmise põhimõttel. Prügi põletamisel eraldub soojus, mida kasutatakse vee soojendamiseks. Tekkinud aur, mille temperatuur on umbes 400 °C, siseneb 40 bar rõhu all olevale turbiinile. See paneb turbiini labad liikuma ja generaator hakkab tootma elektrit. Sellest energiakogusest piisab umbes 100 000 majapidamise elektrivarustamiseks, mis moodustab 20–25% Kölni elanikkonnast. [22]
7. Heidete kontroll. Lisaks energiale ja jääkidele tekivad põlemisprotsessis heitgaasid, milles sisalduvad erinevad saasteained, nagu tolmu, soolad, lämmastiku ja väävli oksiidid ja raskmetalle,

sh elavhõbedat. Selle probleemi lahendamiseks kasutavad prügilate põletusjaamad puhastussüsteemi, mille esimene samm on heitgaaside jahutamine 170 °C-ni ja tuhaosakeste filtreerimine kanga filtris, mida täitumisel maetakse koos teiste jääkidega tagasitäite materjalina maa alla. Seejärel läbib heitgaas kaheastmelise puhastussüsteemi, kus happelised gaasid ja elavhõbe seotakse aluselise lahusega skrubberis ning lämmastikoksiidid lagunevad veeauruks ja lämmastikuks DeNOX katalüütilises neutraliseerijas, kuhu lisatakse ammoniaagivee. Dioksiinid ja furanid hävitatakse termilise oksüdatsiooni abil. Lõpuks läbib heitgaas enne viimast puhastusetappi koksifiltri, kus toimub orgaaniliste ühendite adsorptsioon söega. Seejärel jahvatatakse kasutatud koks ja põletatakse ahjus, et hävitada sellele adsorbeerunud saasteained. [22]

8. Mõõtmamaja. AVG Kölni tehases mõõdetakse heitgaase regulaarselt spetsiaalse mõõtemaja abil, mis asub otse korstna juures. Saadud andmed edastatakse andmesideühenduse kaudu otse Kölni linnaosavalitsusele. [25]

Joonis 7 näiab kuidas väljanäevad kõik protsessi.



Joonis 7. Kölni jäätmeenergiajaam [25]

Pärast jäätmete põletanist satuvad keskkonda saasteaineid, mis on näidatud tabelis (Tabel 3Tabel 3).

Tabel 3. Kölni jäätmeenergiajaama tööl tekkivad atmosfääriheitmed ja nende seadustega lubatud kogus aastas [26]

Saasteaine, mg/Nm ³	Lubatud kogus aastaks	2022
Vingugaas	50	2,4
Süsinik	10	0,0
Vesinikkloriid	10	0,3
Vääveldioksiid	50	0,2
Lämmastikdioksiid	150	39,4
Ammoniaak	10	0,4
Tolm	5	0,1
Vesinikfuoriid	1	<0,0300
Kaadmium/tallium	0,05	<0,0013
Elavhõbe	0,03	<0,0001
Metalliid (antimon, arseen, plii, kroom, koobalt, vask, mangaan, nikkel, vanaadium, tina)	0,5	<0,0123
Üldine arseen, kaadmium, koobalt, kroom	0,05	<0,0040
Dioksiinid/furaanid	0,1	<0,0013

6 JÄÄTMETE PÕLETAMINE ROOTSIS

Rootsiis on olemas soojuselektrijaamad ja katlamajad, mis kasutavad jäätmeid soojuse ja elektri tootmiseks. Soojuselektrijaamades annavad suitsugaasid veele soojust, mis muutub aurumise käigus turbiinide liikumiseks elektrienergia tootmiseks, ning ülejäänud energia kasutatakse keskkütte jaoks. Katlamajades kasutatakse jäätmeid ainult soojuse tootmiseks. Rootsis on paljud majapidamised ühendatud keskküttesüsteemiga, mis võimaldab jäätmetest saadavat energiat tõhusalt kasutada. Rootsi keskmine soojuselektrijaamade jäätmetest saadav energia katab rohkem kui viiendiku riigi keskkütte vajadusest. [26]

Umbes 50% Rootsi kommunaaljäätmetest kasutatakse energia tootmiseks soojuse, elektrienergia ja jahutuse kujul. Rootsi on Euroopas jäätmetest energia tootmise valdkonnas liider. Euroopa Liidu raamdirektiivi ja Rootsi jäätmekäitluse määruse kohaselt käsitletakse jäätmete põletamist tõhusa energia taastamisega kui töötlemise vormi. Rootsi tehased vastavad kõrgetele energiatõhususe kriteeriumidele. Jäätmete põletamisel saadava energia osakaal on ligikaudu 8-9% kogu riigi energiatarbimisest. [26], [27]

6.1 Mälarenergi AB

Rootsis tegutseb ettevõtte nimega Mälarenergi AB, mis omab mitmeid jäätmeenergiajaamu üle riigi ning on üks suuremaid jäätmete põletamiseks ja elektritootmiseks spetsialiseerunud ettevõtteid Euroopas. See jaam asub Västeråsis, Rootsis ja on üks suurimaid Euroopas. [7]

Vähemalt alates 1954. aastast on Mälarenergi varustanud Västeråsi elanikke tsentraalse soojusvarustusega. Täna on tsentraalse soojusvarustuse võrk ulatusega 81 km ning 98% Västeråsi linnaosas asuvatest kinnisvaraobjektidest on varustatud tsentraalse soojusvarustusega Mälarenergi soojuselektrijaamast. Mälarenergi tehase töötlemiseks jõudvad jäätmed pärinevad eraisikutelt, ettevõtetelt, koolidelt ja ettevõtetelt üle Rootsi, osaliselt roheliste prügikonteinerite ja osaliselt taaskasutatavate kütusekonteinerite kaudu. Kuid ka jäätmed teistest Euroopa riikidest jõuavad sinna. [7]

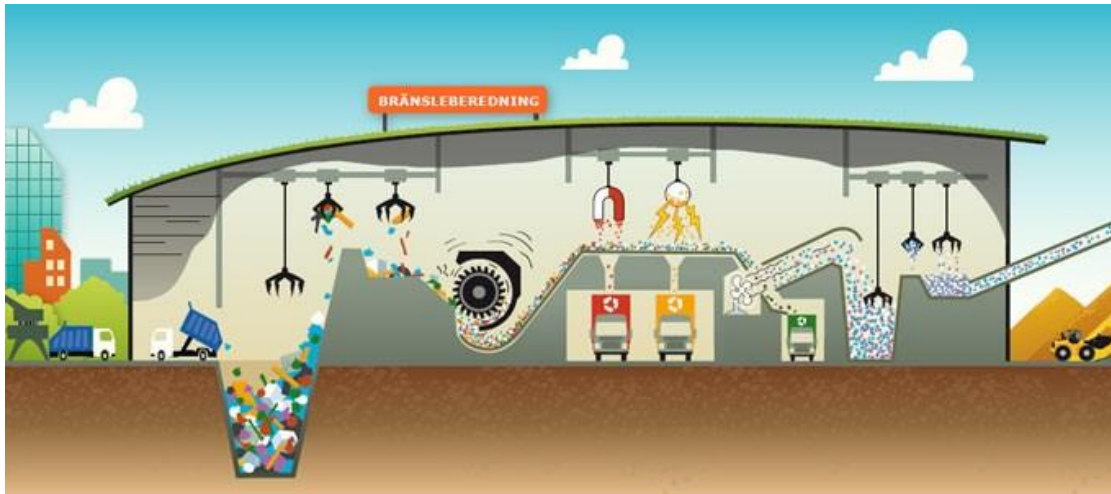


Joonis 8. Mälarenergi AB [28]

Mälarenergia tehases 6. blokis muudetakse jäätmed soojuseks ja elektrienergiaks. Seda blokki kasutatakse elektrienergia ja keskse soojusvarustuse tootmiseks. [29]

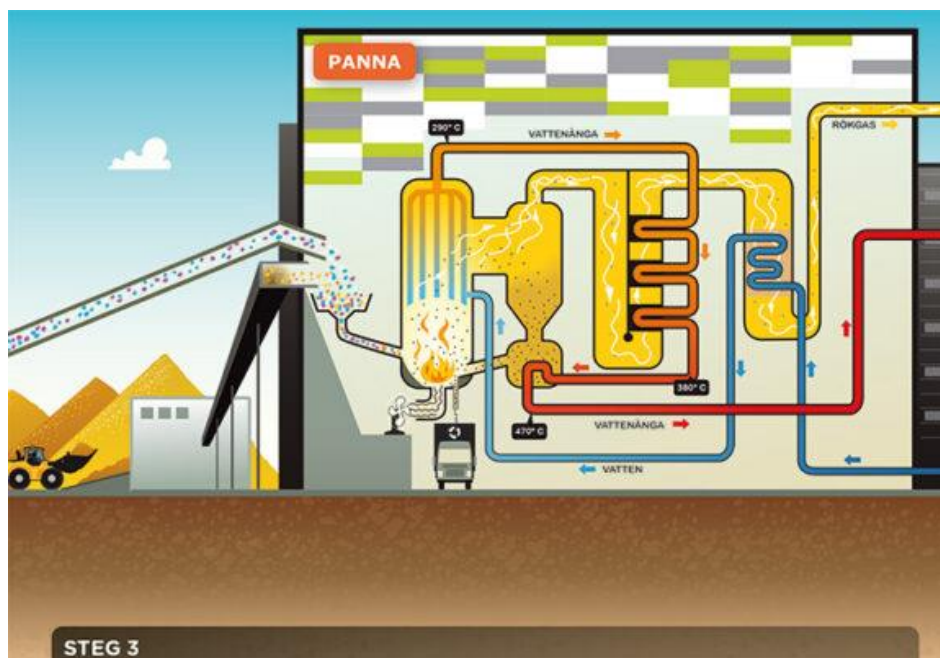
Töö etapid:

1. Kodudest ja tööstusallikatest kogutakse põlevad jäätmed, mida eelnevalt sorteeritakse ja saadetakse tehase kütuse vastuvõtjasse. Seal kaalutakse ja kontrollitakse jäätmeid enne nende mahapanemist esimesse vastuvõtu punkti. Nad ootavad seal edasist ettevalmistamist. Haaravad küünised segavad ja sorteerivad jäätmed, et need muutuksid maksimaalselt ühtlaseks, seejärel viiakse need purustisse, mis lõikab need tükkideks suure jõuga. Seejärel sorteeritakse välja metalle ja jäätmeid saadetakse ümbertöötlemiseks. Rasked materjalid, nagu kivi, klaas ja keraamika, eemaldatakse ja saadetakse ümbertöötlemisele või prügilasse ladestamiseks. Pärast kütuse ettevalmistamist suunatakse see suletud konveierlintidega katlasse. (Joonis 9) [29]



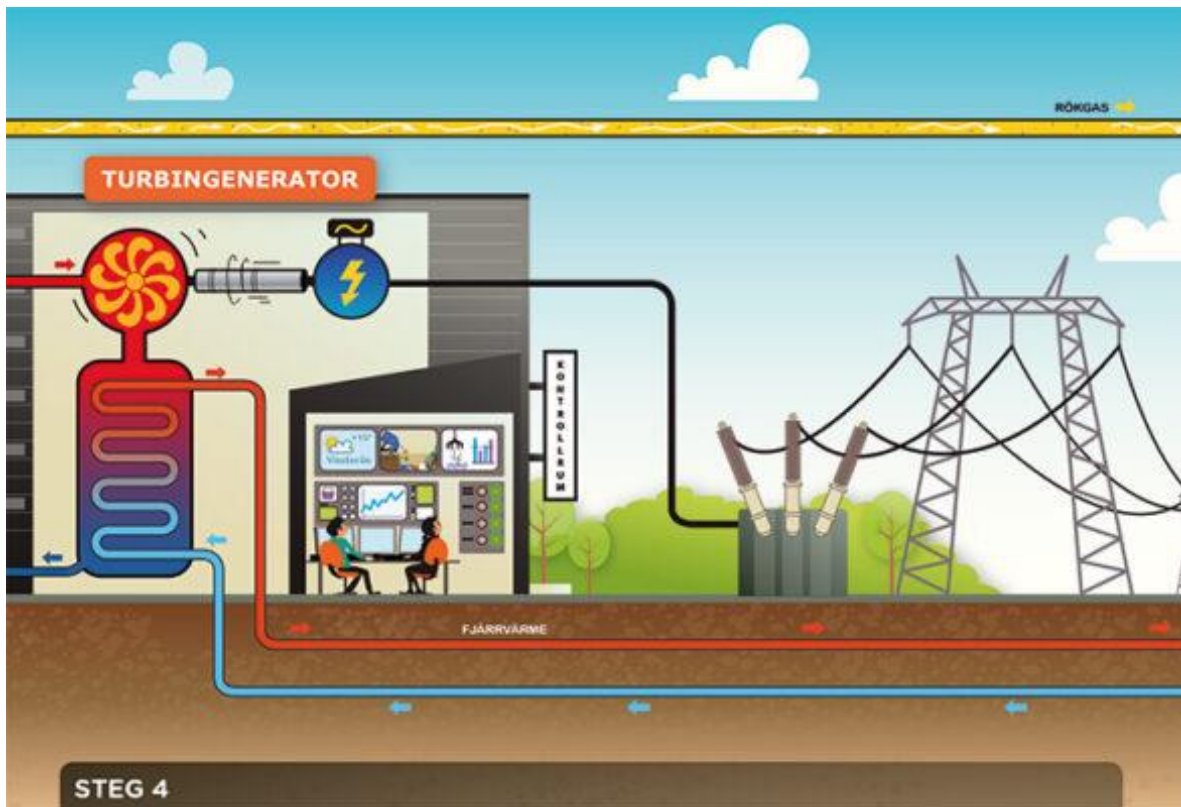
Joonis 9. Kütuse ettevalmistamine [29]

2. Katlas põletatakse nii bio- kui ka tööstusjätmeid. Katlas on nn tsirkulatsioonkeedukihid, mis tagavad sujuvama ja tõhusama põlemise. Katel võtab vastu umbes 60 tonni jäätmeid tunnis. Kuni 90% kütuses sisalduvast energiast kasutatakse ära. Põletamine toimub kõrgel temperatuuril, vähemalt 850 °C juures, et vältida keskkonnoahtlikke kõrvalproduktide teket. Nüüd viiakse vesi pannile. Vesi kuumeneb suitsugaaside abil. Tekkinud veeaur suunatakse turbiini ja suitsugaasid suunatakse puhastusseadmetesse. (Joonis 10) [29]



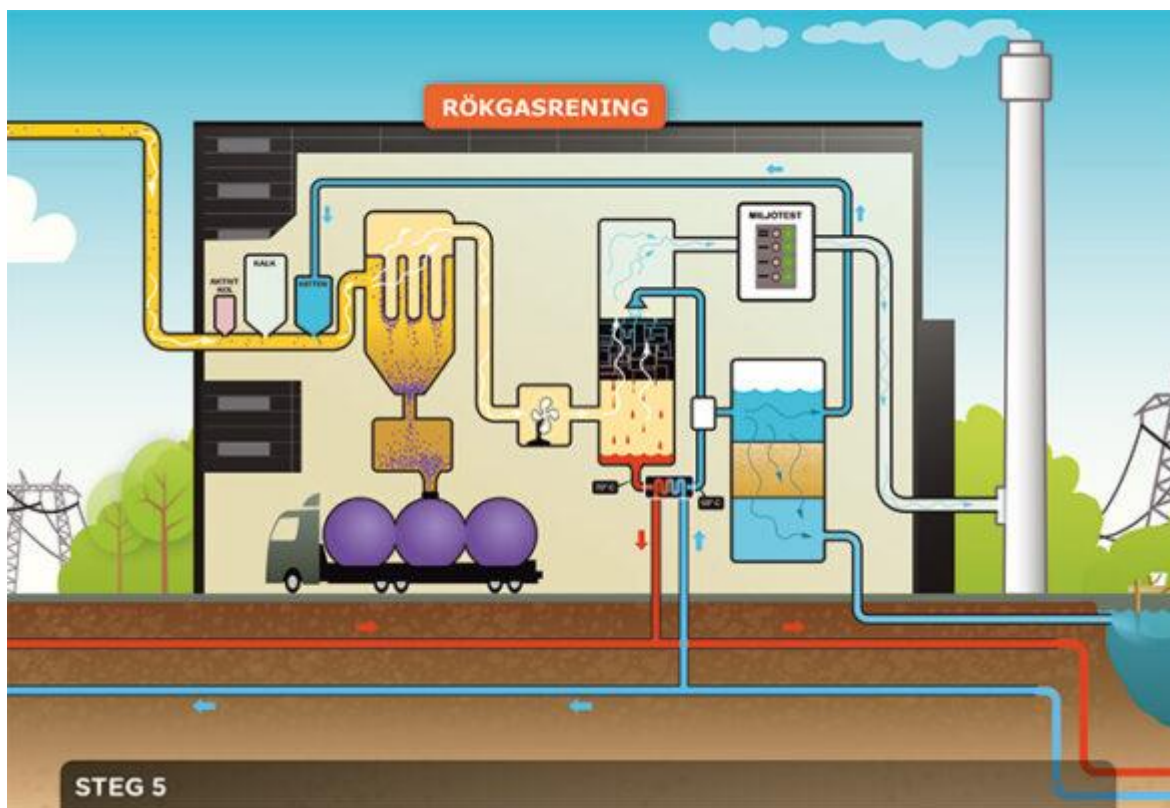
Joonis 10. Katlamaja [30]

3. Kui kuum aur läbib turbiini, põhjustab see generaatoriga ühendatud rootori pöörlemist. Toodetud elekter suunatakse transformaatori kaudu Rootsi energiavõrku. Järelejäänud energia kuuma veena kasutatakse keskküttesüsteemi jaoks. Pärast seda aur jahutatakse, kondenseeritakse ja saadud vesi naaseb katlasse. Sellise protsessi tulemusel kasutatakse kuni 90% tarnitud energiast. (Joonis 11) [30]



Joonis 11. Turbiini generator [30]

4. Suitsugaaside puhastamisel kasutatakse aktiivsöe ja lubja lisamisel põhinevat meetodit keskkonnakahjulike ainete, aga ka happeliste gaaside, raskmetallide ja muuabsorbeerimiseks. Ülimalt suur voolikufilter püüab mõned neist osakestest kinni ja ülejäänud osakesed töödeldakse koos muu materjaliga lubjapiimaga kipsi saamiseks. Seda kipsi kasutatakse vanade lubjakarjäärade täitmiseks. Ülejäänud suitsugaasid läbivad täiendava puhastamise veega, mida taaskasutatakse ja juhitakse Mälareni järve. Enne suitsugaaside atmosfääri paiskamist kontrollitakse ja mõõdetakse kahjulike ainete olemasolu, et tagada nende vastavus keskkonnastandarditele. (Joonis 12) [30]



Joonis 12. Suitsugaaside puhastamine [29]

7 JÄÄTMETE PÕLETAMINE TAANIS

Taani prügipõletustehased toodavad energiat, kasutades nii majapidamis- kui ka ärilisi jäätmeid, aga ka biomassi ja/või maagaasi. Taanis on kokku 28 prügipõletustehast, millest 22 spetsialiseeruvad majapidamiste ja ettevõtete jäätmete põletamisele energia tootmiseks ning 4 on mitmeliigilised tehased, mis põletavad erinevaid jäätmete tüüpe. Üks tehas tegeleb üldjäätmete põletamisega ja teine ohtlikke jäätmete põletamisega. 2015. aastal põletasid Taani prügipõletustehased 3,9 miljonit tonni jäätmeid, millest umbes 10% oli imporditud peamiselt Suurbritanniast. Jaamade toodetud energia katab kuni 25% Taani keskküttesüsteemide vajadustest ja varustab kuni 5% elektrienergiast. Taani jäätmete põletamise tehnoloogia on tõhus ja usaldusväärne. Elektrijaamade energiatõhusus on umbes 95%. Pärast jäätmete põletamist kasutatakse tuha peamiselt teede ehitamiseks ning suitsugaaside puhastamise jääke maetakse ohtlike jäätmete kontrollitud prügilatesse. [31], [32]

7.1 Taani Amager Bakke jäätmeenergiajaam

Taani Amager Bakke jäätmeenergiajaam ARC on üks maailma moodsamaid ja keskkonnasõbralikumaid jäätmeenergiajaamu. See asub Kopenhaagenis Amageri saarel ja töötab alates 2017. aastast.

Amager Bakke on üks puhtamaid ja energiatõhusamaid jäätmeid energiaks tootvaid tehaseid maailmas. Siin utiliseeritakse neid jäätmeid, mida ei saa kasutada ega ümber töödelda, ning muundatakse elektriks ja soojuseks. 2020. aastal kasutati 599 000 tonni jäätmeid, millest sai elektrienergiat 80 000 majapidamisele ja kaugkütet 90 000 korterile. Põlemisel väljub korstnast peaaegu ainult aur ja CO₂, kuna suitsust eemaldatakse peaaegu kõik kahjulikud ained. [33]



Joonis 13. Amager Bakke jäätmeenergiajaam [34]

ARC võtab vastu umbkaudu 600 000 Taani elaniku ja 68 000 ettevõtte jäätmeid ning tagab linna elektrienergia ja kesksoojusvarustuse. Amager Bakke saab ligikaudu poole omavalitsuste omanduses olevatest jäätmetest, mis pärinevad eramajadest, ja ülejäänud osa ettevõtetest.

Jäätmed suunatakse vastuvõtu järel silosse ja segatakse seejärel kahe automaatse haaratsi abil, et saavutada ühtlane koostis, mis on oluline stabiilse põlemisprotsessi jaoks. Silo suurus, kuhu jäätmed kallatakse, on 30x50 meetrit, kõrgus - 36 meetrit, mis võimaldab mahutada korraga umbes 22 000 tonni jäätmeid. Pärast segamist tõstavad haaratsid jäätmed katelde põlemiskoonustesse. Jäätmete lõhnade vähendamiseks laadimisruumis luuakse negatiivne rõhk, mida kasutatakse kateldes.

Mõlema kahe Amager Bakke ahjutehase võimsus on 25–42 tonni jäätmeid tunnis. Kui jäätmed laaditakse põletusahju, moodustavad need hermeetiline tihend, mis tekitab ahjus alarõhu. Ahju põhi koosneb 24 reast perforeeritud terasplaatidest, mis moodustavad restmati. Jäätmed süttivad järk-järgult edasi liikudes. Jäätmete põletamise protsess kestab 1,5-2 tundi temperatuuril 950-1100 °C. Temperatuuri reguleeritakse õhu juurdevooluga läbi resti avade. Kui jäätmed jõuavad resti otsa, on peaaegu kogu vabanev energia kuum suits. Iga jäätmetetonna kohta suudab Amager Bakke toota 2,7 MWh kaugkütet ja 0,8 MWh elektrit. [35]

Pärast jäätmete põletamist ahjudes jääb umbes 17-20% massist räbu, mis koosneb prahist, killustikust, liivast, metallidest ja muudest mittesüttivatest materjalidest. Räbu kogutakse eraldi mahutisse ja

saadetakse sorteerimistehasesse, kus see läbib küpsemisprotsessi 3-4 kuu jooksul. Küpsemise eesmärk on anda aegaraskemetallide seostamiseks räbuosakestega, et vältida nende väljapesemist. Pärast seda saadetakse raud- ja mitteraudmetallid taaskasutamiseks. Seejärel jahvatatakse ja sõelutakse räbu, et saada materjal, millel on samad omadused nagu killustik, mida saab ehituses kasutada. [35]

Tööstuslike filtrite suitsust eralduv lenduv tuhk sisaldab suures koguses raskemetalle ja muid mikroelemente. Need ained pärinevad sorteerimata jäätmetest, nagu akud. Lenduv tuhk ja muud aluselised suitsu puhastamise kõrvalsaadused kasutatakse lubja asemel teiste tööstusharude jäätmete neutraliseerimiseks. Pärast seda omandab segu tsemendi kõvaduse ja seda kasutatakse mahajäetud lubjakivikarjäärade maastike taastamiseks. [35]

Järgmine etapp toimub kateldes ja turbiinides, kus toodetakse auru ja seejärel elektrit.

Amager Bakke'l on kaks katelt, millest igaüks sisaldab palju hermeetilisi torusid, millest kõrgrsurvevee läbib. Katlad on ühendatud ahjudesse, mis edastavad oma soojusenergia otse torudes olevale veele, nii et kuum suits tõuseb ülespoole. Pumba abil tagatakse torudes kõrge rõhk, mis võimaldab toota 69 baari rõhu ja 440 °C temperatuuriga auruga. Iga katel suudab toota kuni 137 tonni auru tunnis. Mõlema katla aur kogutakse ühisesse aurutorusse, mida nimetatakse aurumagistraaliks, ja suunatakse auruturbiinile. Turbiin koosneb klapi- ja klapiratastest võllil, mis pöörlevad tänu kineetilisele energiale, mida tekitab aur läbi tiivikute laienedes. Võll on ühendatud generaatoriga, mis toodab kuni 63 MW elektrit. Ülejäänud soojusenergia kasutatakse soojusvahetites keskse soojusvarustuse tootmiseks kuni 247 MW-ni. [35]

Iga Amager Bakke ahju joonel kasutatakse eraldi süsteemi heitgaaside puhastamiseks, mis läbivad katlad ja annavad soojust. Süsteem hõlmab elektrofiltreid, katalüsaatorit, kolme puhastustorni ja tolmu filtreerimist. Tänu sellele süsteemile on Amager Bakke üks maailma parimaid tehaseid suitsugaaside puhastamiseks. Amager Bakke paigaldatud elektrofilter eemaldab lenduva tuha tõhusalt, katalüsaator eemaldab suitsust NOx, mis on keskkonna kaitse seisukohalt oluline aspekt. Kolmeastmeline suitsu puhastussüsteem, sealhulgas kolm puhastustorni, eemaldab teisi ohtlikke aineid, nagu elavhõbe ja vesinikkloriidhape, samuti vääveldioksiidi, kasutades lubja. Lisaks kondenseeriv puhastustorn kondenseerib veeauru, mis võimaldab kasutada järelejäänud soojust soojuspumpadega. Keskkonnanõuetele vastavuse tagamiseks läbib suits enne atmosfääri paiskamist mõõtejaama, mis pidevalt jälgib saasteainete taset. Tulemuseks on Amager Bakke näide kõrgtehnoloogilisest ja keskkonnasõbralikust jäätmete energia taaskasutusest. [35]

Jäätmete põletamiseks tuleb need kuivatada, et vähendada tekkiva veepaari hulka. Täiskoormusel tekitab kaks katelt tehases kuni 13 m³ reovett päevas. Selle neutraliseerimiseks ja puhastamiseks kasutatakse nelja etappi:

- Esimesel etapil lisatakse lubi ja leelis reovee neutraliseerimiseks pH väärtuseni 7-8.
- Teisel etapil settivad osakesed suurtes mahutites ja seejärel pressitakse need kuivaks, et eemaldada liigne vesi. Sete kogutakse konteinerisse ja settitakse koos lendtuhaga.
- Kolmandas etapis juhitakse vesi läbi liivafiltrite ja ammoniaagipuhastite. Siin filtreeritakse välja väiksemaid osakesi, mis pole settinud.
- Viimasel puhastusetapil läbib vesi söefiltreid ja ioonvahetust, et eemaldada viimased orgaaniliste ainete ja metallide jäägid. [35]

8 JÄÄTMETE PÕLETAMISE PARIM VÕIMALIK TEHNIKA

Pärast jäätmekäitluse andmete uurimist Eestis ja teistes Euroopa riikides, nagu Saksamaa, Rootsi ja Taani, saame neid võrrelda tabelis (Tabel 4).

Tabel 4. Riikide võrdlus jäätmete põletamise järgi

Aspekt	Eesti	Saksamaa	Rootsi	Taani
Tehaste arv	9 prügipõletusjaama erinevates linnades	68 jäätmejaamat [36]	34 jäätmejaamat [37]	30 prügipõletusjaama, sh spetsialiseerunud ja mitmeotstarbelised jaamad [38]
Heitmete vastavus normidele	Ei ületa piirnorme	Ei ületa piirnorme	Vastab keskkonnastandardi le	Vastab keskkonnastandardi le
Põletamismeetodid	Kõrgtemperatuurili ne segaolmejäätmete põletusmeetod	Kihtpõletus ja pseudo- vedelkihtpõlet us	Kõrgtemperatuurili ne segaolmejäätmete põletusmeetod	Kõrgtemperatuurili ne segaolmejäätmete põletusmeetod
Elektritootmine	Eesti toodab üle 300 MWh energiat Iru jäätmeplokk toodab aastas umbes 134 000 MWh [39]	Saksamaa toodab ca 6 TWh energiat AVG Köln toodab aastas umbes 350 GWh [40]	Rootsi toodab ca 8,5 TWh energiat [37] Mälarenergi AB toodab aastas üle 1 TWh [41]	Taani toodab ca 2,5 TWh energiat [38] Amager Bakke toodab aastas üle 1 TWh

Aspekt	Eesti	Saksamaa	Rootsi	Taani
Jäätmete kasutamine	Iru elektrijaam kasutab aastas umbes 250 000 tonni jäätmeid. 42	AVG Köln kasutab 740 000 tonni jäätmeid/aastas [42]	Mälarenergi kasutab 480 000 tonni jäätmeid/aastas [30]	Amager Bakke kasutab 560 000 tonni jäätmeid/aastas [43]

Esitatud tabeli põhjal on Eestil teistelt riikidelt õppida järgmist:

- Infrastruktuuri arendamine: Saksamaal on suur hulk tööstuslikke jäätmete põletamise tehaseid. Eesti võiks uurida ja kohandada Saksamaa juhtivaid kogemusi selliste tehaste ehitamisel ja käitamisel.
- Jäätmete efektiivne kasutamine: Rootsi ja Taani toodavad märkimisväärses koguses elektrienergiat jäätmete põletamisest. Eesti võiks uurida ja vastu võtta nende riikide juhtivaid tavasid ja tehnoloogiaid oma energiatõhususe ja jäätmete kasutamise suurendamiseks.
- Vastavus keskkonnastandarditele: kõik läbi vaadatud riigid on märgitud jäätmete põletamisel tekkivate heitkoguste keskkonnastandarditele vastavaks. Eesti peaks pöörama tähelepanu teiste riikide rakendatavatele meetmetele ja tehnoloogiatele, et parandada keskkonnanõuete täitmist ja minimeerida kahjulikke heitmeid atmosfääri.
- Parem jäätmekäitlus: paljudes vaadeldavates riikides kasutatakse jäätmeid elektri tootmiseks rohkem. Eestil on võimalik õppida ja rakendada teiste riikide meetodeid ja tehnoloogiaid tõhusaks jäätmekäitluseks ja -vähendamiseks.

See aitab Eestil tõhustada jäätmete kõrvaldamist ja vähendada nende negatiivset mõju keskkonnale.

KOKKUVÕTE

Selles töös uuriti jäätmete põletamist ja põletustehnoloogiaid Eestis ja Euroopa riikides nagu Saksamaa, Rootsi ja Taani. Käesoleva töö uurimuse eesmärk on analüüsida ja võrrelda Iru elektrijaama jäätmete põletamist teiste Euroopa ettevõtetega, AVG Köln, Mälarenergi AB ja Amager Bakke. Analüüsi käigus hinnatakse jäätmete põletamise eeliseid ja puudusi ning uuritakse energiatootmise mahtu, samuti jäätmete põletamise käigus tekkivate kahjulike ainete hulka, mis võivad mõjutada keskkonda. Lõputöös võrreldakse erinevates riikides asuvate ettevõtete jäätmete põletamise meetodeid ning analüüsitakse, kuidas jäätmed kõrvaldatakse ja millised on selle protsessi positiivsed aspektid.

Pärast andmete analüüsi saab elektrijaamade tööd võrrelda ja selle põhjal teha järgmiseid järeldusi:

- Kõige rohkem tööstusjäätmete põletusjaamasid on Saksamaal, kus neid on 68. Järgnevad Rootsi (34) ja Taani (30), samas kui Eestis on vaid 9 sellist jaama.
- Heitenormide täitmise osas on kõik riigid (Eesti, Saksamaa, Rootsi, Taani) märgitud normidele vastavaks ehk emissioonid ei ületa kehtestatud norme.
- Põletusviiside osas kasutavad kõik riigid, sealhulgas Eesti, segaolmejäätmete puhul kõrge temperatuuriga põletusmeetodeid.
- Jäätmete põletamisel energia tootmine on riigiti erinev. Näiteks Eesti toodab üle 300 MWh energiat, Saksamaa umbes 6 TWh, Rootsi umbes 8,5 TWh ja Taani umbes 2,5 TWh.
- Samuti on erinev kasutatavate jäätmete kogus. Näiteks Iru elektrijaam kasutab Eestis umbes 250 000 tonni jäätmeid aastas, AVG Köln Saksamaal aga 740 000 tonni, Mälarenergi AB Rootsis 480 000 tonni ja Amager Bakke Taanis 560 000 tonni.

Saksamaa on jaamade arvu ja jäätmetest elektritootmise poolest liider. Siiski on igal vaadeldaval riigil oma eripärad ja lähenemisviisid jäätmete põletamisele ja energia tootmisele.

Teistelt riikidest, nagu Saksamaa, Rootsi ja Taani, õppimine ja parimate praktikate ülekandmine jäätmepõletuse valdkonnas võib tuua Eestile märkimisväärset kasu. Saksamaa kogemustel põhineva taristu arendamine, jäätmete tõhus kasutamine elektri tootmiseks, keskkonnastandardite järgimine ja tõhus jäätmekäitlus – kõik see aitab kaasa jäätmete paremale kõrvaldamisele ja vähendab nende negatiivset mõju keskkonnale. Parimate praktikate ja tehnoloogiate kasutuselevõtuga saab Eesti liikuda säästvama ja keskkonnasõbralikuma jäätmekäitluse poole.

SUMMARY

The purpose of this work is to analyze and compare the waste incineration process at Iru Power Plant with other European companies such as AVG Köln, Mälarenergi AB and Amager Bakke. The thesis examines the advantages and disadvantages of waste incineration, analyzes the volume of energy production and the amount of harmful substances released during waste incineration and their potential impact on the environment. It also examines various methods of waste incineration used by companies from different countries and analyzes the effectiveness and positive aspects of this process.

After all the research, the power plants are compared, and the next conclusions are made:

- The largest number of industrial waste incinerators is in Germany, where there are 68 of them. Sweden (34) and Denmark (30) follow, while Estonia has only 9 such plants.
- In terms of compliance with emission standards, all countries (Estonia, Germany, Sweden, Denmark) are marked as complying, i.e. emissions do not exceed the established standards.
- Regarding incineration methods, all countries, including Estonia, use high temperature incineration methods for mixed household waste.
- Countries differ in terms of energy production when burning waste. For example, Estonia produces over 300 MWh of energy, Germany about 6 TWh, Sweden about 8.5 TWh and Denmark about 2.5 TWh.
- The amount of waste used is also different. For example, the Iru power plant in Estonia uses about 250,000 tons of waste per year, while AVG Köln in Germany uses 740,000 tons, Mälarenergi AB in Sweden uses 480,000 tons, and Amager Bakke in Denmark uses 560,000 tons.

Germany is the leader in terms of the number of stations and generation of electricity from waste. However, each country under this thesis has its own characteristics and approaches to waste incineration and energy production.

Learning from and transferring best practices from other countries such as Germany, Sweden and Denmark in the field of waste incineration can bring significant benefits to Estonia. The development of infrastructure based on the experience of Germany, the efficient use of waste for electricity generation, compliance with environmental standards and efficient waste management - all this

contributes to better waste disposal and reduce their negative impact on the environment. By adopting best practices and technologies, Estonia can move towards a more sustainable and environmentally friendly waste management.

Tänuavaldused

Tänan juhendaja Deniss Klauson, kes aitas lõputöö kirjutamisel ning tänan abi ja nõuannete eest.

Tänan oma õde toetuse eest.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Waste Disposal“, <https://www.vedantu.com/biology/waste-disposal> (Vaadatud märts 2, 2023).
- [2] „Проблемы утилизации и переработки отходов – какие цели предстоит достичь?“, <https://recyclingprom.ru/info/problemy-i-celi-utilizacii/> (Vaadatud märts 2, 2023).
- [3] „Kompostimisega jäätmete vähendamise vastu“, <https://www.hange.ee/blogi/kompostimisega-jaatmete-vahendamise-vastu/> (Vaadatud märts 2, 2023).
- [4] „МУСОРНЫЕ СВАЛКИ – ОСТРАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА“, <https://demontazh.su/novosti/musornyye-svalki-%E2%80%93-ostraya-ekologicheskaya-problema.html#:~:text=%D0%9E%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%20%D1%81%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%BA%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B6%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D0%B8&text=> (Vaadatud märts 4, 2023).
- [5] „15+ Major Pros and Cons of Waste Incineration“, https://www.environmentbuddy.com/recycling/pros-and-cons-of-waste-incineration/#google_vignette (Vaadatud märts 20, 2023).
- [6] „Как из мусора получить энергию“, <https://plus-one.ru/manual/2022/01/14/kak-iz-musora-poluchit-energiyu#:~:text=%D0%9C%D1%83%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5%20%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BE%20%D0%BD%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D0%B5%D1%82%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%83> (Vaadatud märts 20, 2023).
- [7] „The EU is clear: Waste-To-Energy incineration has no place in the sustainability agenda“, <https://zerowasteeurope.eu/2021/05/wte-incineration-no-place-sustainability-agenda/> (Vaadatud märts 18, 2023).

- [8] „Самый экологический мусоросжигательный завод в мире: и ТЭЦ, и парк, и горнолыжка“, <https://babr24.com/?IDE=206690> (Vaadatud aprill 2, 2023).
- [9] „Переработка и управление отходами в Стокгольме, Швеция“, <https://www.hisour.com/ru/recycling-and-waste-management-in-stockholm-sweden-61606/> (Vaadatud aprill 2, 2023).
- [10] „Энергия из отходов: европейская дорожная карта“, https://pikabu.ru/story/yenergiya_iz_otkhodov_evropeyskaya_dorozhnaya_karta_7242107 (Vaadatud märts 15, 2023).
- [11] „ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ“, 2011. <https://www.tallinn.ee/ru/media/311930> (Vaadatud märts 15, 2023).
- [12] „KÜTUSENA JÄÄTMEID KASUTAVA SOOJUS- JA ELEKTRIENERGIA“, https://www.energia.ee/c/document_library/get_file?uuid=9ee6ba53-64d5-4b29-b6d0-62d96b539766&groupId=10187 (Vaadatud märts 5, 2023).
- [13] „Iru elektriijaama jäätme põletusjaamas toodeti rekordiline kogus elektrit ja soojust“, <https://www.energia.ee/uudised/avaleht/-/newsv2/2016/12/30/iru-elektriijaama-jaatmepoletusjaamas-toodeti-rekordiline-kogus-elektrit-ja-soojust> (Vaadatud märts 5, 2023).
- [14] „Enefit Green AS Iru elektriijaama keskkonnaaruanne“, 2017. https://enefitgreen.ee/.resources/green/webresources/assets/pdf/Iru_keskkonnaaruanne_2017.pdf?fbclid=IwAR3mAIEciA23A8tZOUiF2ueWgc57yAIworATJgobuou5R_Kx7r7fFj-m5dU (Vaadatud mai 3, 2023).
- [15] „Enefit Green AS Iru elektriijaam“, 2019. https://enefitgreen.ee/.resources/green/webresources/assets/pdf/Keskkonnaaruanne_2019.pdf (Vaadatud märts 15, 2023).
- [16] <https://www.flickr.com/photos/blizzardfoto/40808292860> (Vaadatud aprill 1, 2023).

- [17] „Jäätmeploki tuur“, <https://www.energia.ee/irutuur/> (Vaadatud aprill 30, 2023).
- [18] „Электричество и тепло из мусора“, https://www.energia.ee/documents/10187/15087/elekter_ja_soojus_jaatmetest_a4_rus.pdf (Vaadatud aprill 30, 2023).
- [19] „Enefit Green AS Iru elektrijaam“, 2021. https://enefitgreen.ee/.resources/green/webresources/assets/pdf/Iru_EJ_keskkonnaaruanne_2021.pdf (Vaadatud aprill 30, 2023).
- [20] „Elekter ja soojus jäätmetest“, https://www.energia.ee/documents/10187/15087/elekter_ja_soojus_jaatmetest_a4_est.pdf (Vaadatud aprill 10, 2023).
- [21] „Почему экологичные немцы сжигают все больше мусора“, 2018. <https://recyclemag.ru/article/pochemu-ekologichnyie-nemcyi-szhigayut-vse-bolshe-musora#:~:text=%D0%92%20%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8%20%D0%B2%20%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%BC%20%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%> (Vaadatud märts 15, 2023).
- [22] „THERMISCHE VERWERTUNG“, <https://www.avgkoeln.de/die-anlagen/verbrennung> (Vaadatud aprill 20, 2023).
- [23] „THE OTHER DAY IN THE WASTE INCINERATION PLANT“, <http://blog.greenpicks.de/en/blog/muellverbrennungsanlage-waste-incineration-plant.html> . (Vaadatud aprill 20, 2023).
- [24] „Фото: как устроен мусоросжигательный завод в Кёльне“, https://recyclemag.ru/article/foto-ustroen-musoroszhigatelnnii-zavod-kyolne?fbclid=IwAR2iKPBMhQ8bxISDZE2l4NdZTLGpTXs6kRl_EgpjpA0yGPVNvu2MdmmPzRg (Vaadatud märts 22, 2023).

- [25] „RMVA Köln“, <https://www.avgkoeln.de/die-anlagen/verbrennung/avg-koeln-rmva.jpg>
(Vaadatud aprill 22, 2023).
- [26] „Emissionsmessungen“, 2022. <https://www.avgkoeln.de/die-anlagen/verbrennung/Pflichtanzeige%20Emissionen%202022.pdf> (Vaadatud aprill 25, 2023).
- [27] „Förbränning“, <https://www.sopor.nu/fakta-om-avfall/vad-haender-med-ditt-avfall/restavfallet/foerbraenning/> (Vaadatud märts 18, 2023).
- [28] „Fakta & statistik“, <https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/avfallsbehandling/energiatervinning/> (Vaadatud märts 18, 2023).
- [29] https://resources.news.e.abb.com/attachments/published/23128/en-US/AACEEA4641E9/Malarenergi_1.jpg (Vaadatud märts 25, 2023).
- [30] „Block 6 - en världsunik anläggning“, <https://www.malarenergi.se/om-malarenergi/framtidens-samhalle/vara-anlaggningar/kraftvarmeverket-vasteras/block-6/> (Vaadatud aprill 15, 2023).
- [31] „Följ dina sopors väg till värme och el“, <https://blogg.malarenergi.se/folj-dina-sopors-vag-till-varme-och-el/> (Vaadatud aprill 15, 2023).
- [32] „Incineration in Denmark“, <https://dakofa.com/element/incineration-in-denmark/> (Vaadatud märts 20, 2023).
- [33] „Affaldsforbrænding“, <https://dakofa.dk/vidensbank/affaldsforbraending/> (Vaadatud märts 20, 2023).
- [34] „Amager Ressourcecenter“, <https://danskaffaldsforening.dk/medlemmer/amager-ressourcecenter> (Vaadatud aprill 20, 2023).
- [35] https://www.archpaper.com/wp-content/uploads/2020/11/BIG_Copenhill_%C2%A9HuftonCrow_008.jpg (Vaadatud märts 25, 2023).

- [36] „Teknik“, <https://a-r-c.dk/amager-bakke/teknik/> (Vaadatud aprill 27, 2023).
- [37] „GERMANY WASTE TO ENERGY MARKET SIZE & SHARE ANALYSIS - GROWTH TRENDS & FORECASTS“, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/germany-waste-to-energy-market-industry> (Vaadatud mai 1, 2023).
- [38] „Best Practices Around the World – Waste to Energy in Sweden“, 2022. https://beverlyhills.granicus.com/MetaViewer.php?view_id=&event_id=5370&meta_id=508325#:~:text=34%20waste%2Dto%2Denergy%20power,5%20tons%20of%20wood%20waste (Vaadatud mai 1, 2023).
- [39] „Energiudnyttelse“, <https://www.affald.dk/affaldshierarki/energiudnyttelse> (Vaadatud mai 1, 2023).
- [40] „Iru elektrijaama jäätmepõletusjaamas toodeti rekordiline kogus elektrit ja soojust“, <https://www.energia.ee/uudised/avaleht/-/newsv2/2016/12/30/iru-elektrijaama-jaatmepoletusjaamas-toodeti-rekordiline-kogus-elektrit-ja-soojust> (Vaadatud mai 1, 2023).
- [41] „ABFALL ALS ENERGIE-SPENDER“, <https://www.avgkoeln.de/umwelt/energie-aus-abfall> (Vaadatud mai 1, 2023).
- [42] „ABB:s motorer och frekvensomriktare bidrar till minskade utsläpp genom att öka effektiviteten hos Mälarenergi“, <https://new.abb.com/motors-generators/sv/kundcase/abbs-motorer-och-frekvensomriktare-bidrar-till-minskade-utslapp-genom-att-oka-effektiviteten-hos-malarenergi#:~:text=Block%206%20%C3%A4r%20en%20h%C3%B6geffektiv,h%C3%A4lften%20av%20byggnaderna%20i%20V%C3%A> (Vaadatud mai 1, 2023).
- [43] „Экскурсия на завод «Энергия из отходов» в Кёльне“, https://dzen.ru/media/w2e/ekskursiia-na-zavod-energiia-iz-othodov-v-kelne-5d97c3f479c26e00ae68c188?utm_referer=www.google.com (Vaadatud mai 1, 2023).

