



TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO

Madis Kelindeman

JÄÄTMEKÜTUS JA SELLE KVALITEEDINÕUDED TSEMENDI PÖÖRDAHJUDES

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2013



TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO

Madis Kelindeman

JÄÄTMEKÜTUS JA SELLE KVALITEEDINÕUDED TSEMENDI PÖÖRDAHJUDES

LÕPUTÖÖ

Arhitektuuri ja keskkonnatehnika teaduskond

Tehnoökoloogia eriala

Tallinn 2013

SISUKORD

Sissejuhatus	4
1. Materjal ja metoodika.....	6
2. RDF-i tootmine ja kvaliteedijuhtimine	8
2.1. Terminoloogia	8
2.2. Mehaaniline töötlemine	9
2.3. Mehaanilis-bioloogiline töötlemine	12
2.4. RDF-i kvaliteedijuhtimine.....	15
3. RDF-i kasutamine tsemendiahjudes.....	19
3.1. Tsemendi tootmisprotsess	21
3.2. RDF-i tsemendiahjus põletamise tehnoloogilised ja keskkonna aspektid.....	22
3.3. RDF-i kvaliteedinõuded Broceni ja Kunda tsemenditehastes	24
Kokkuvõte	30
Summary	32
Viidatud allikad	34
Lisa	37

SISSEJUHATUS

Jäätmete võimalikuks käitlusviisiks on nende töötlemine ja energiakasutus. Energeetilisel eesmärgil kasutamiseks on üheks mooduseks jäätmete põletamine tsemendiahjudes. Antud lahendusega kaasnevad mitmed tehnoloogilised ja keskkonnavalased probleemid, mis vajavad lahendamist. Põhilisteks kaasnevateks probleemideks on jäätmetes sisalduvate keemiliste elementide lubatust suurem ülekanne tootesse ja väliskeskkonda.

Selleks, et sorteerimata tahkeid jäätmeid tsemendi pöördahjudes kasutada, tuleb nad eelnevalt ette valmistada. Rahvusvaheliselt kasutusel olev termin „RDF” on lühend inglise keelsest väljendist „refuse derived fuel”, mis tähendab tõlkes jäätmetest tulenevat kütust. See on kütus, mille omadused on kvalitatiivselt määratletavad ja mille kvaliteet on viidud tasemele, kus ta põlemisprotsessis ei kujuta keskkonnale ja tootele ohtu.

Maailmas on tahkeid jäätmeid tsemendi tootmisahjudes kasutatud aastakümneid. Eesti ainsa tsemenditööstusettevõtte Kunda Nordic Cement põletustehnoloogia võimaldab neil fossiilsed energiaallikad osaliselt asendada alternatiivse jäätmekütusega.

Töö eesmärgiks on:

- selgitada jäätmekütuste terminoloogiat;
- anda ülevaade RDF-i tootmistehnoloogiast ja kvaliteedijuhtimisest;
- anda ülevaade RDF-i tsemenditööstuses kasutamisega kaasnevatest probleemidest;
- uurida ja selgitada kvaliteedinõudeid RDF-ile Kunda Nordic Cement, Läti Cemex ja Heidelberg Cement Group'i Rootsis asuvates tsemenditehastes.

Uurimistöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis (materjal ja metoodika) antakse ülevaade töö koostamise protsessist ja tähtsamatest allikatest. Teine peatükk annab ülevaade jäätmekütuse tootmisest ning kvaliteedijuhtimisest ja koosneb omakorda neljast alapeatükist. Alapeatükkides kirjeldatakse jäätmekütuse terminoloogiat ja tootmise protsessi – mehaanilist ja mehaanilis-bioloogilist. Veel antakse peatükis ülevaade jäätmekütuse kvaliteedijuhtimisest ja selle alastest juhistest Euroopa Standardikomitee poolt.

Kolmas peatükk annab ülevaate RDF-i kasutamise kohta tsemendi pöördahjudes ja koosneb kolmest alapeatükist. Alapeatükkides kirjeldatakse tsemendi pöördahju toimimist ja tsemendi tootmisprotsessi, tuuakse välja jäätmekütuse kasutamisega kaasnevad tehnoloogilised ja keskkonnavalased aspektid. Viimasena tuuakse välja ja võrreldakse jäätmekütusele esitatavaid nõudeid Kunda Nordic Cement'i ja Lätis asuva Cemex Broceni tsemendi pöördahjude põletites.

Töö autor soovib tänada juhendaja Monica Vilmsi kasulike nõuannete eest töö sisu ja vormistamise osas ja Kunda tsemenditehase keskkonnajuhti Kalle Kikast nõuannete ja asjakohaste materjalide kasutamise võimaldamise eest.

1. MATERJAL JA METOODIKA

Autor sai uurimistöö idee Eesti Jäätmekäitlejate Liidust, kust tuli algne idee - välja uurida jäätmekütusele esitatavaid nõudeid erinevates põletites. Autor otsustas oma töös uurida üksnes tsemendi pöördahjudes jäätmekütusele esitatavaid nõudeid, kuna tsemenditööstus on jäätmekütuse peamine väljund maailmas ja seda väljundit kasutatakse Eesti ettevõtete toodetud jäätmekütuse põletamiseks.

Töö on üles ehitatud erinevat liiki allikatele toetudes, mille moodustavad suuremas osas artiklid ja internetiallikad. Kasutatud allikate hulgast võib lisaks eelmainitutele välja tuua jäätmekütuse klassifitseerimist reguleerivat Euroopa standardit ja tsemenditehastes kasutatava jäätmekütuse kvaliteedi spetsifikatsioone.

Mitme uurimisküsimuse lahendamiseks sai autor informatsiooni Inglismaal asuva Cranfieldi Ülikooli teadlaste C.A. Velis, P.J. Longhurst *et al.*, (2010) artiklist „Production and quality assurance of solid recovered fuels using mechanical-biological treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment”. Artiklist sai palju informatsiooni jäätmekütuse terminoloogiast, mehaanilisest töötlemisest ja turustamise juures määrava tähtsusega kvaliteedijuhtimisest.

Teine eelmises lõigus mainitud autorite poolt kirjutatud artikkel „Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: a review of process science and engineering” (2009) andis autorile põhjaliku ülevaate jäätmekütuse mehaanilis-bioloogilisel tootmisviisil kasutatavast biokuivatuse tehnoloogiast.

Euroopa standardist „EN 15359: 2011. Solid Recovered Fuels – Specifications and classes” sai autor informatsiooni jäätmekütusele esitatavatest nõuetest ja jäätmekütuse klassifitseerimisest Euroopa Standardikomitee jäätmekütusega tegeleva tehnilise komitee järgi.

Autor kasutas töö koostamisel Tartu Ülikooli Raamatukogu e-ajakirjade andmebaasi EBSCO Academic Search Complete, kus oli töö temaga haakuvaid artikleid.

Eugeniusz Mokrzycki, Alicja Uliasz- Bochenczyk (2003) artikkel „Alternative fuels for the cement industry”tõi välja, miks jäätmekütuseid on tsemendi pöördahjudes otstarbekas kasutada. Palju oli abiks G. Genon , E. Brizio (2008) artikkel „Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF”, kus käsitleti jäätmekütuse tsemendiahjus kasutamisel kaasnevaid tehnoloogilisi ja keskkonna-alaseid aspekte.

Ülevaate tsemendiahju toimimispõhimõtetest saadi autorite E. Joseph Duckett, David Weiss (1980) internetis avaldatud artiklist „RDF as a kiln fuel”.

Selleks, et selgitada välja ja võrrelda, missugused on kvaliteedinõuded Eesti ja seda ümbritsevate riikide tsemenditehastes, võeti e-maili teel ühendust Lätis asuva Cemex kontserni kuuluva Broceni tsemenditehasega ja kohtuti Heidelberg Cement Group’i kuuluva Kunda Nordic Cement’i keskkonnajuhi härra Kalle Kikasega. Autor püüdis saada informatsiooni Rootsi Heidelberg Cement Group’i kuuluva keskkonna ja kütustega tegelevalt tütarfirmalt Heidelberg Cement Miljö, kuid sealt ei olnud informatsiooni võimalik saada selle konfidentsiaalse iseloomu tõttu. Autoril on RDF-i kvaliteedinõuete võrdluseks kasutada kirjavahetuses Cemex Läti kütuste ja energiaeksperti Jose Manuel Jordan’iga saadud jäätmekütuse spetsifikatsioon tsemendiahju peapõletile ja kaltsinaatorile ja Kunda tsemendiahju peapõleti RDF-i näidisspetsifikatsioon.

2. RDF-I TOOTMINE JA KVALITEEDIJUHTIMINE

Euroopa Komisjoni koostatud jäätmedirektiivis 2008/98/EÜ on sätestatud Euroopas kehtiv jäätmekäitluse õiguslik raamistik. Dokumendis esitatud jäätmehierarhia kohaselt on jäätmetekke vältimise ja jäätmete käitlemise prioriteetide järjestuseks kõigepealt jäätmetekke vältimine, seejärel korduvkasutamiseks ettevalmistamine, materjali taaskasutamine, energiakasutus ja viimaks – ladestamine[1]. Tulenevalt karmistuvatest jäätmealastest õigusaktidest on ladestamine muutunud jäätmete käitluses viimaseks kasutatavaks variandiks ning lahenduseks tekkivatele erinevatele sorteerimata jäätmetele näib olevat nende energiakasutus.

2.1. Terminoloogia

Jäätmetest toodetud kütuseid on toodetud Eestis lühikest aega. Sellisel viisil saadud kütuseid võib kutsuda lihtsalt sõnaga jäätmekütus, kuid levinud on mitmed inglise keelest üle võetud nimetused ja terminid.

Inglise keeles on tahketest jäätmetest toodetud kütustele antud erinevaid nimetusi – nende hulgas on „solid waste fuel” (tahke jäätmekütus), „secondary fuel” (sekundaarne kütus), „substitute fuel” (asenduskütus), „alternative fuel” (alternatiivne kütus) jm. Enamasti kasutatakse tahketest jäätmetest valmistatud põlevale fraktsioonile viidates kahte inglisekeelset terminit – „refuse derived fuel” (RDF) ja „solid recovered fuel” (SRF). [2]

Termini RDF ehk „refuse derived fuel” all mõeldakse segaolmejäätmete või sarnaste tööstus/kaubandusjäätmete mehaanilise või mehaanilis-bioloogilise töötlemise tulemusel saadud kõrge kütteväärtusega jäätmefraktsiooni. RDF-i on Eestis toodetud vähe aega ning selget juriidilist definitsiooni pole sellele antud. Jäätmekütusele puudub ka jäätmeseaduses vastav definitsioon, samas võib leida Vabariigi Valitsuse 06. aprilli 2004.a. määrusest nr 102 “Jäätmete, sealhulgas ohtlike jäätmete nimistu” jäätmekoodi 19 12 10 –põlevjäätmed (jäätmekütus). [2, 3]

Järjest enam kasutatakse jäätmekütuse tootmises, turustamises ja kasutamises terminit SRF. See on jäätmekütus, mis toodetud vastavuses Euroopa Standardikomitee tehnilise komitee 343 (CEN/TC

343) - Solid Recovered Fuels väljatöötatud kvaliteedijuhtimise juhiste. CEN/TC 343 on loodud selle nimel, et ühtlustada Euroopas erinevaid lähenemisi jäätmekütusele. CEN/TC 343 kohaselt on SRF „tahke kütus, mis on valmistatud mitte-ohlikest jäätmetest, mida kasutatakse energia saamiseks põletus- või koospõletusjaamades ning mis vastab liigitus- ja spetsifikatsiooninõuetele, mis on määratletud Euroopa standardis EN 15359”. [2]

SRF-i sisenditeks võivad olla mingi kindel jäätmetüüp, olmejäätmed, tööstusjäätmed, kaubandusjäätmed, ehitus- ja lammutusjäätmed või reovee muda. Tuleb märkida, et vaatamata sellele, et SRF-i tõlgendatakse kui kvaliteedijuhtimist järgivat jäätmekütust, ei pruugi see tingimata olla parema kvaliteediga kui RDF. [2]

Kui Euroopas mõeldakse RDF-i all standardiseerimata kvaliteediga jäätmekütust, siis Ameerika Ühendriikides tähistatakse terminiga RDF vastavalt American Society for Testing and Materials (ASTM) standarditele standardiseeritud kvaliteediga jäätmekütust. [2]

Töös kasutatakse edaspidi jäätmekütust kirjeldades terminit RDF, mille puhul pole määratletud selle vastavus CEN/TC 343 juhiste.

2.2.Mehaaniline töötlemine

RDF-i tootmise üks võimalusi on sisendjäätmete mehaaniline töötlemine. Tänapäeval kätkeb RDF-i tootmisprotsess endas lisaks mehaanilisele töötlemisele järjest enam ka sisendjäätmete bioloogilise töötlemise töötlust. Lisaks jäätmete mehaanilisele töötlemisele bioloogilist töötlust rakendavat tehnoloogiat nimetatakse mehaanilis-bioloogiliseks töötlemiseks (MBT – mechanical biological treatment)[2]. MBT põhimõtteid kirjeldatakse täpsemalt järgmises peatükis.

Enamus mehaanilise töötlemise seadmeid arendati välja kaevandustööstuses ja kohaldati jäätmevoo sisenditele. Mehaaniliste seadmete funktsioonideks RDF-i tootmisel on [2]:

- jäätmete suuruse vähendamine;
- jäätmete segamine ja homogeniseerimine;
- jäätmete liigitus ja eraldus (sorteerimine);
- tihendamine;
- materjalide käsitlemine.

Tabelis 1 on esitatud mehaanilises töötuses kasutatavad jäätmete ettevalmistus- ja purustusseadmed koos nende tööpõhimõtetega. Jäätmete purustamisele võib eelneeda ettevalmistav koti purustamine. Peamiselt on RDF-i tootmisel sisendjäätmete peenestamise seadmena kasutusel purustaja (shredder), kuid võimalik on rakendada teisigi erinevate tööpõhimõtetega seadmeid[2].

Tabel 1

Jäätmete ettevalmistus/purustus seadmed [4]

Tehnika	Tööpõhimõte
Koti purustaja	Õrnem purustaja, mida kasutatakse kilekottide lõhkumiseks jättes enamiku jäätmetest ühte tükki
Purustaja (shredder)	Pöörlevad noad või servad pöörlevad madalal kiirusel kõrge pöördemomendiga. Protsessi käigus rebestatakse või lõigatakse katki enamus materjali
Pöörlev trummel	Materjal tõstetakse pöörleva trumli seinu pidi üles ja kukutatakse tagasi keskmesse. Kasutab segamiseks ja homogeniseerimiseks gravitatsiooni. Tihedad, abrasiivsed osised nagu klaas ja metall aitavad purustada pehmemaid materjale, tuues kaasa paberi ja teiste biolagunevate materjalide olulise suuruse vähendamise.
Kuulveski (ball mill)	Pöörlev trummel, mis kasutab raskeid kuule jäätmete purustamiseks ja pihustamiseks
Märg nugadega pöörlev trummel	Jäätmed niisutatakse, moodustades raskeid kogumeid, mis purunevad trumli vastu nuge paiskudes
Haamerveski	Materjali suurust vähendatakse märgatavalt kiikuvate terashaamrite poolt

Tabelis 2 on välja toodud peamised jäätmete eraldustehnikad, nende põhimõtted ja suunitlused. Eraldustehnoloogiad kasutavad ära jäätmetes olevate materjalide erinevaid omadusi, nagu suurus, kuju, tihedus, kaal, magnetism ja elektriline konduktiivsus. [4]

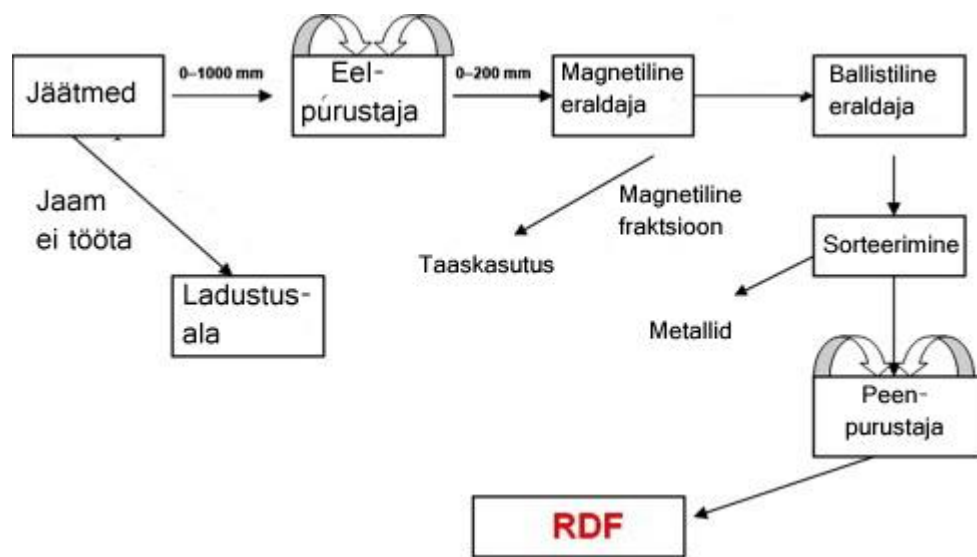
Tabel 2

Jäätmete eraldustehnikad [4]

Eraldustehnika	Eraldus põhimõte	Suunitlus
Trumlid ja sõelad	Suurus	Ülesuured- paber, plastik Väiksed - orgaanika, klaas, peenosad
Käsitsi eraldamine	Visuaalne läbivaatus	Plastikud, saasteained, ülesuurus
Magneetiline eraldamine	Magnetilised omadused	Magnetilised metallid
Pindvoolne eraldamine (eddy current separation)	Elektriline konduktiivsus	Mitte-magnetilised metallid
Märg eraldustehnoloogia	Erinevad tihedused	- Vee peal püsivad materjalid – plastid, orgaanika - Uppuvad materjalid - kivid, klaas
Õhkeraldamine	Kaal	Kerge – plastid, paber Raske – kivid, klaas
Ballistiline eraldamine	Tihedus ja elastsus	Kerge – plastid, paber Raske – kivid, klaas
Optiline eraldamine	Difraktsioon	Erinevad plasti polümeerid

RDF-i tootmiseks on võimalik tabelites 1 ja 2 toodud tehnikaid erinevalt kombineerida.

Üks RDF-i mehaanilisel teel tootmiseks võimalikke viise on kujutatud joonisel 1. Jooniselt on näha, et jäätmete esialgse purustamise järel on nende tüki suuruseks esialgse kuni 1000 mm asemel maksimaalselt 200 mm. Sellele järgnev magnetiline eraldaja suunab magnetilise fraktsiooni taaskasutusse. Järgnev ballistiline eraldaja (vt lisa) on kalde all asetsev pöörlev konveier, mis eraldab nii peene (liiv, toidujäätmed), kerge (paber, papp, kerge plast) kui raske (rasked plastid, pudelid, metall) fraktsiooni[2]. Kujutatud voodiagrammi puhul järgneb ballistilisele eraldajale veel käsitsi sorteerimine, mis võimaldab eraldada seni alles jäänud RDF-i koostisse jäämiseks mitte sobivaid osiseid, nagu värvilised metallid. Viimaseks etapiks jääb selle tootmisprotsessi puhul peenpurustamine. Protsessi tulemusel valmib sobiva tüki suurusega RDF.



Joonis 1. RDF-i tootmisprotsessi voodiagramm [5]

2.3. Mehaanilis-bioloogiline töötlemine

MBT-d eristab mehaanilisest tööstusest see, et selle tehnoloogia puhul integreeritakse erinevate väljundite tootmiseks lisaks mehaanilisele töötlemisele ka bioloogilist tööstust. Esimesed MBT tehased rajati eesmärgiga vähendada prügimägedele ladestatavate jäätmete kahjulikku keskkonnamõju. MBT puhul on integreeritud mitmeid tehnoloogilisi protsesse, mis leiduvad erinevates jäätmekäitlustehnoloogiates, nagu materjalitagastusrajatised, sorteerimistehased, kompostimisrajatised. MBT tehnoloogia on paindlik, selle puhul on võimalik tehnoloogilisi protsesse erinevalt kombineerida ning rakendada mitmesuguste väljundite tootmiseks. [6]

MBT tehnoloogiad integreerivad mehaanilise tööstuse protsessid biomuundamisprotsessidega [6]:

- mehaaniline tööstus / orgaanilise fraktsiooni kompostimine;
- mehaaniline tööstus / orgaanilise fraktsiooni anaeroobne lagundamine;
- mehaaniline tööstus / biokuivatamine.

Esimese kahe tööstusviisi puhul eraldatakse magnetiliste-, pindvoolsete- (eddy current) ja selle olemasolul ka optiliste eraldajatega taaskasutatav materjal. Orgaaniline materjal eraldatakse ülejäänud fraktsioonist trumlite ja sõeladega ning sellest toodetakse kompostilaadset väljundit või biogaasi. Mitteorgaanilisest materjalist toodetakse RDF-i. Biokuivatus tehnoloogia puhul sisaldab toodetav RDF endas ka orgaanilist fraktsiooni, mis on viidud vajaliku niiskustasemeni. [6]

Biokuivatamise puhul hõlbustab üleliigse niiskuse eemaldamine sisendjäätmest mehaanilist töötlust ja parandab sisendite energiakasutuse potentsiaali. Biokuivatamisreaktorid kasutavad kombinatsiooni erinevatest füüsilistest ja biokeemilistest protsessidest: biokeemilisest küljest toimub protsessi käigus orgaanilise aine aeroobne biolagunemine, füüsikalisest küljest saavutatakse kontrollitud ja ülemäärase aeratsiooni tulemusel konvektiivne niiskuse eemaldus. [7]

Kuigi üldine reaktori konstruktsioon ja füsiobiokeemiline toimimine on sarnased kompostimisele, siis protsessi eesmärk ja täpne viis, kuidas see töötab on märgatavalt erinev. Kompostimine toodab huumuselaadset „komposti”, mida saab kasulikult ja ohutult kasutada maapinnal. Kompostimist kasutatakse samuti segaolmejäätmete biolaguneva orgaanilise materjali stabiliseerimiseks, minimeerides nõrgvee ja prügilagaasi kujunemist. Kontrastiks kompostimisele, püüab biokuivatamise reaktor jäätmeid eeltöödelda kõige madalama ajaga tootmaks kõrge kvaliteedilist RDF-i. [7]

See saavutatakse[7]:

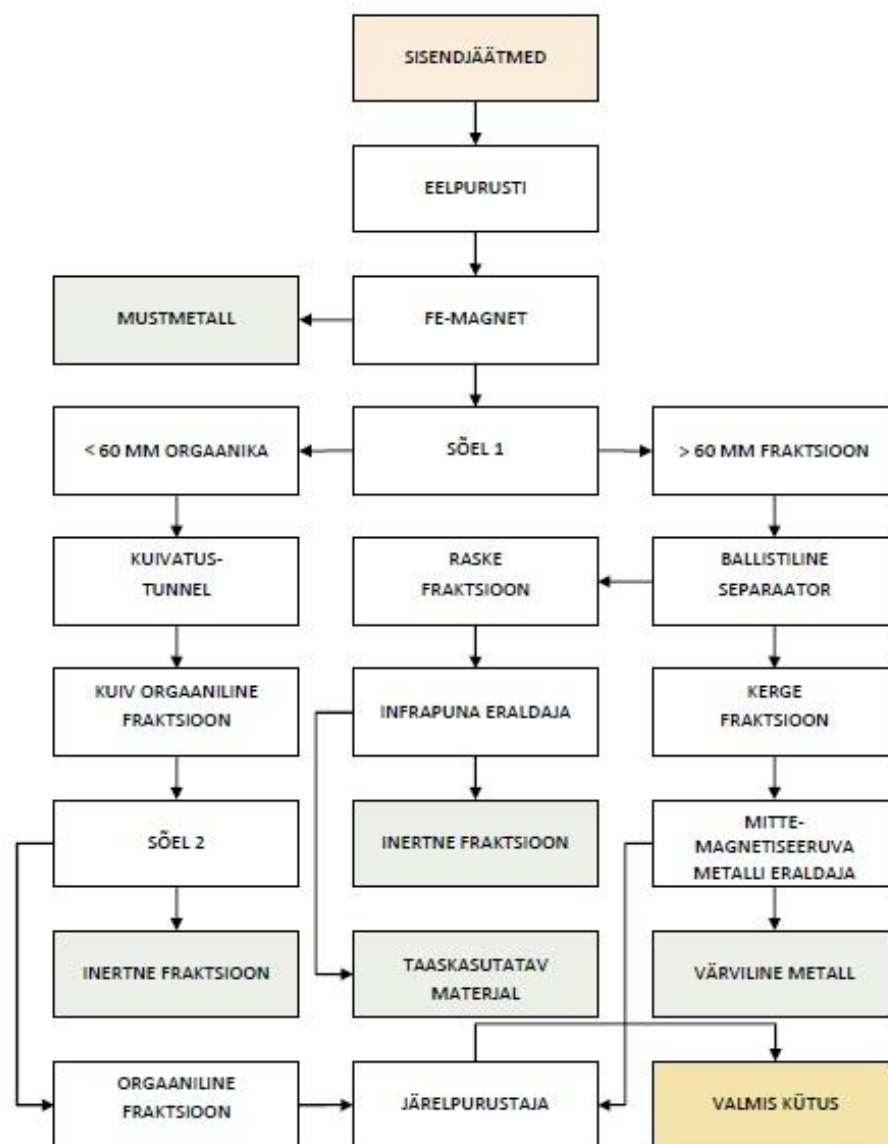
- energiasisalduse tõstmisega, maksimeerides niiskuseeraldust ja säilitades enamuse orgaaniliskeemiliste ühendite kaloriväärtusest läbi minimaalse biolagunemise;
- hõlbustades osaliselt säilinud biogeensete ühendite liitmist RDF-i;
- muutes väljundit rohkem sobivaks mehaaniliseks protsessidele, vähendades nende kleepuvust.

Oma olemuselt on biokuivatusreaktor aeratsioonisüsteemiga varustatud konteiner. Konteinerid võivad olla kas suletud või avatud tunnelid või hallid või siis pöörlevad trumlid. [7]

Suurim kasu RDF-i tootmisel biokuivatusega MBT-s, on võimalus ühendada sisendjäätmete biogeenset osa - süsinikuneutraalset, alternatiivset energiaallikat - toodetavasse kütusesse. See võimaldab toota madala CO₂ koormusega jäätmekütust, vähendades jäätmemajanduse osa kliimamuutuses. [7]

Joonisel 2 on toodud AS-i Ragn-Sells 2011. aastal avatud jäätmekütusetehase vooskeem, mis annab hea ülevaate RDF-i tootmises kasutatavatest protsessidest ja nende järjestusest kaasaegses biokuivatustehnoloogiat rakendavas MBT tehases. Joonisel on näha, kuidas protsessi esimeses sõelas eraldatud alla 60 mm läbimõõduga orgaaniline fraktsioon suunatakse biokuivatus-tunnelisse. Peale biokuivatust jäsellele järgnevat inertse fraktsiooni eraldamist liidetakse kuivatatud orgaaniline fraktsioon mehaanilise töötlemise läbi teinud jäätmetega ning järel-purustatakse.

Ragn-Sellsi jäätmekütuse tehases saab biokuivatamist läbi viia kuues ligikaudu 180 m² suuruses ning 4 m kõrguses bio-kuivatamise tunnelis. Ühte tunnelisse mahub korraga 560 m³ ehk ligikaudu 300 tonni orgaanilisi jäätmeid. Korraga on ette nähtud kuivatamistegevus neljas tunnelis, ülejäänud kahes tunnelis toimub samal ajal täitmine ja tühjendamine. Bio-kuivatamiseks optimaalsed tingimused (temperatuur ligikaudu 65 °C ja niiskussisaldus 50-55%) saavutatakse automaatse arvutiga juhitud süsteemi abil, mida saab vajadusel manuaalselt juhtida. Jäätmeid kuivatatakse 8-14 päeva, mille käigus pumbatakse 1 tunni jooksul 1 tonni jäätmete kohta tunnelisse keskmiselt 45 m³ õhku. Sõltuvalt kuivatatavate jäätmete koostisest ning väljundile esitatavatest nõudmistest, eraldub orgaanilisest fraktsiooni massist ligikaudu 45% ulatuses vett. [8]



Joonis 2. RDF-i tootmise vooskeem Ragn-Sellsis [8]

2.4. RDF-i kvaliteedijuhtimine

RDF-i turustamise juures on määrava tähtsusega kvaliteedijuhtimine, mis tõstab kindlust tootjates, kasutajates ja ka jäätmekütuse kasutamist reguleerival poolel. Kvaliteedijuhtimissüsteemid (QMS-quality management system) koosnevad kvaliteedi planeerimise (QP-quality planning), kvaliteedi tagamise (QA-quality assurance) ja kvaliteedi kontrolli (QC-quality control) süsteemidest. Kvaliteeditagamine esitab RDF-i tootvale ettevõttele tema tegevuse osas suure hulga nõudmisi, mille hulgas on korrektne dokumentatsioon, ajastamine, logistika ja seadmete õige kasutamine. Väga oluline kvaliteeditagamise funktsioon on standardiseerimine ehk kontrollitavatele võtmenäitajatele klasside ja spetsifikatsioonide loomine. [2]

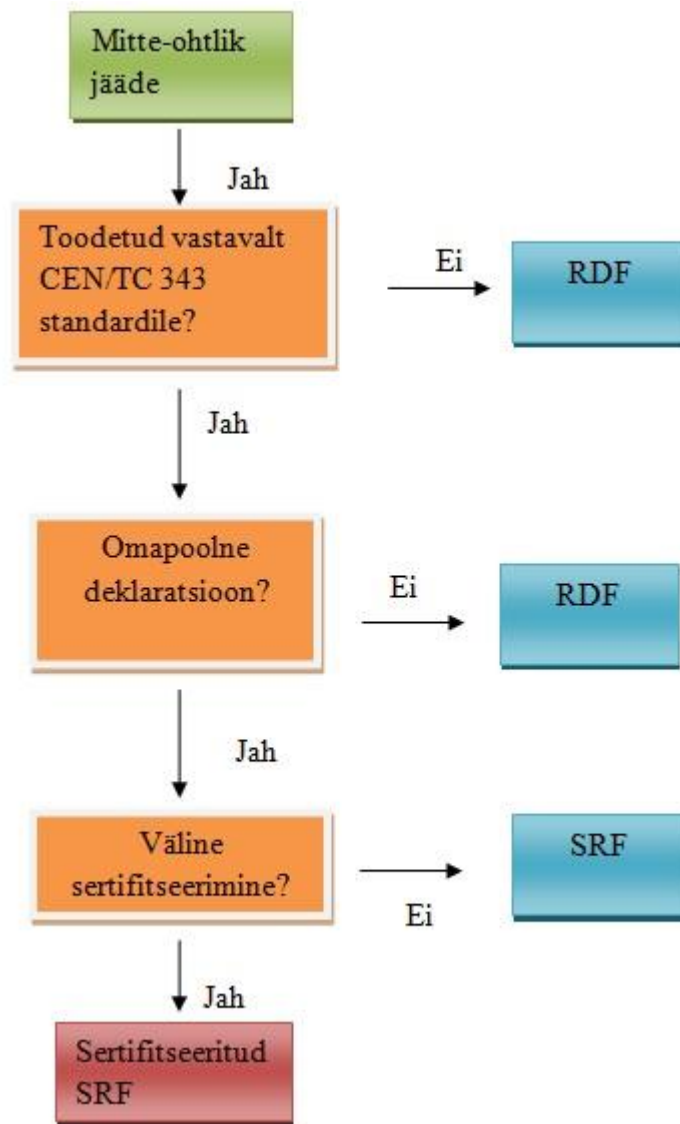
Paljudes Euroopa riikides, nagu Saksamaa, Austria, Itaalia, Soome, Belgia ja Suur-Britannia on loodud riiklikul tasandil RDF-i kvaliteedi tagamise/kontrolli süsteemid ning standardid. Need püüdlused erinevad üksteisest suurel määral, rakendudes riiklikult või regionaalselt, põhinedes jäätmesisendite päritolul, lõpp-produkti kvaliteedil, või kindlal lõpptarbija tüübil. [2]

Siduv riikideülene raamistik RDF-i kvaliteedi juhtimiseks on loodud Euroopa Standardikomitee poolt, kes moodustas 2003. aastal tehnilise komitee 343 (CEN/TC 343). Loodud komitee ülesandeks on raportite, spetsifikatsioonide ja Euroopa standardite publitseerimine ning selle mandaat katab kõiki kütuseid, mis saadakse mitte-ohlikest tahketest jäätmetest, välja arvatud „biomass”. Biomassi mõiste on defineeritud Euroopa jäätkepõletusdirektiivis 2000/76/EÜ ja sellest kütuste tootmise kvaliteedijuhtimise regulatsiooniga tegeleb CEN/TC 335. [9]

CEN-i kvaliteedijuhtimise juhiseid järgiv kütus on CEN-i kohaselt SRF. Selleks, et mitte-ohlikest jäätmetest toodetud kütus saaks CEN-i poolse sertifitseerimise, tuleb sellel läbida reeglitekohaselt ette nähtud kvaliteeditagamise ja –kontrolli etapid, nagu näidatud joonisel 3.

SRF-i klassid ja spetsifikatsioonid on CEN-i poolt kirjeldatud Euroopa standardis EN 15359:2011. Standardi põhieesmärgid on võimaldada tõhusat SRF-i kaubandust, toetada selle vastuvõetavust kütuste turul ja tõsta avalikku usaldust. Dokument võimaldab paremat arusaamist müüja ja ostja vahel, hõlbustab ostmist, piirideülest liigutamist, kasutamist järelvalvet jm. [11]

EN 15359 kohaselt on jäätmekütusele kohustuslik välja selgitada mitmed omadused, nagu on näidatud tabelis 3.



Joonis 3. SRF-i teistest jäätmetest toodetud kütustest eristamise põhimõte [10]

Tabelis 4 on näidatud SRF-i klassifikatsioon standardi EN 15359:2011 alusel. Tabelis on esitatud SRF-i võtmeomadused koos kirjelduste ja piirväärtustega. SRF-i kvaliteediklass määratakse kolme põhilise näitaja alusel.

SRF-i kvaliteedi klassi määravad [11]:

- keskmine alumine kütteväärtus (majanduslik tähtsus);
- keskmine Cl sisaldus (tehnoloogiline tähtsus);
- mediaan ja 80 protsentiil Hg sisaldus (keskkonna-alane tähtsus).

Tabel 3

SRF-i EN 15359 kohaselt määratlemist nõudvad omadused [11]

klassi kood	sätestatud dokumendi klauslis nr. 7 (esitatud tabelis 4)
sisendjäätmete päritolu	kirjeldataud sõnadega või jäätmekoodiga vastavalt Euroopa jäätmete nimekirjale (EWC-European Waste List)
osakeste vorm	pelletid, pallid, briketid, laastud, helbed või puuder
osakeste suurus	määratud vastavalt standardile EN 15415-1
tuhasus	määratud vastavalt standardile EN 15403
niiskusesisaldus	määratud vastavalt spetsifikatsioonidele TS 15414-1, TS 15414-2 ja standardile EN 15414-3
alumine kütteväärtus	määratud kuival baasil ja nagu vastuvõetuna vastavalt standardile EN 15408
keemilised omadused	kloori koostis määratakse kuival baasil vastavalt standardile EN 15408, metallide sisaldus määratakse eraldi kui ka summana kuival baasil vastavalt standardile EN 15411

Tabel 4

CEN/EN 15359 SRF-i klassifikatsiooni süsteem [11]

Klassifitseeriv omadus	Ühik	Statistiline meetod	Klassid				
			1	2	3	4	5
Kütteväärtus (NCV)	MJ/kg (ar) **	keskmine	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Kloori (Cl) sisaldus	% (d) *	keskmine	1 ≤0,2	2 ≤0,6	3 ≤1,0	4 ≤1,5	5 ≤3,0
Elavhõbeda(Hg) sisaldus	mg /MJ (ar) **	mediaan	1 ≤0,02	2 ≤0,03	3 ≤0,08	4 ≤0,15	5 ≤0,50
		80 prot-sentiil	≤0,04	≤0,06	≤0,16	≤0,30	≤1,00

* d - kuivaines (d - dry basis)

** ar - tarbimisaines (ar - as received)

SRF-i kvaliteet jaguneb tabelis 4 näidatud kolme näitaja tasemete kombinatsiooni alusel viide klassi ning näidatud statistiliste meetodite kasutamisel kehtivad täpsustatud proovivõtu kord, proovi ettevalmistamine, analüütilised meetodid ja statistiline analüüs. [11]

Kütteväärtus on kütuse kindlal rõhul ja normaaltingimustes põletamisel eraldunud soojusekogus. Alumise kütteväärtuse puhul ei võeta arvesse materjalis sisalduva vee varjatud aurustumissoojust ehk veeauru kondenseerumissoojust. Ülemine kütteväärtuse puhul aga võetakse kütuse põlemisel eralduva veeauru kondenseerumissoojus arvesse. [12] CEN definitsiooni kohaselt on tabelis esitatud alumine kütteväärtus „hapnikus kalorimeetrilise pommi all sellistes tingimustes põletatud kütuseühiku kalkuleeritud põlemisenergia, et kogu reaktsiooniproductide vesi jääb veeauruks 0,1MPa rõhu juures”[11].

Elavhõbeda sisaldus määratakse nii mediaan kui 80 protsentiil meetodil. Mediaan on tunnuse väärtus, millest suuremaid ja väiksemaid tunnuseid on variatsioonireas ligikaudu võrdselt. 80 protsentiil on tunnuse väärtus, millest suuremaid või võrdseid tunnuseid on ligikaudu 20%. Elavhõbeda klassi määrab mõlemast statistilisest meetodist tulenev kõrgem piirväärtuse tase.[11,13]

CEN-i hinnangul võiksid SRF-ile loodud Euroopa standardid potentsiaalselt garanteerida kütuse kvaliteedi selle tarbijatele, võimaldada tõhusat kaubandust ja tõsta avalikku usaldust. [2]

3. RDF-I KASUTAMINE TSEMENDIAHJUDES

RDF-il on mitmeid kasutamisevõimalusi, variantide seas on põletamine kihis ja keevkihis energia tootmiseks ning tööstusliku poole pealt põletamine tsemendi- ja lubjaahjudes. [3, 14]

Tsemenditööstuses hakati RDF-i kasutama 1970. aastatel ülemaailmse naftakriisi mõjul. RDF-i reklaamitollal kui odavat asenduskütust, kuid tsemenditootjad pigem hoidusid selle kasutusse võtmisest. Eriti viimase kümne aasta jooksul on RDF-i tsemendi-, terase- ja energiatootjate poolt majanduslikel põhjustel järjest rohkem kasutama hakatud. RDF-i kasutamisele on impulsi andnud ka Euroopa jäätmekäitluspoliitika suunad, mille tõttu on tõusnud jäätmete ladestamise maksud ja vähenenud ladestamisele minevate jäätmete maht. Samuti on hoogu andnud energiapoliitilised eesmärgid, kuna RDF-is leiduv biogeenne fraktsioon võimaldab selle põletamisel kaasa aidata CO₂ emissioonide vähendamisele. [15]

Tsement on betooni koostisosana üks levinumaid ehituses kasutatavaid materjale. Tsemenditootmine on väga energiat nõudev protsess. 2005. aastal tarbis tsemenditööstus maailmas umbes üheksa EJ ($EJ = 10^{18}J$) ulatuses kütuseid ja elektrit. Kogu maailma energia- ja tööstustootmise CO₂ emissioonidest tuleneb umbes 5% tsemenditööstusest. Tootmisprotsessi käigus põletatakse pöördahjus kõrgel temperatuuril erinevaid tooraineid, moodustades selle tulemusel tsemendi vaheprodukti klinkri. [16]

Pöördahjud jagunevad protsessi tüübi poolest kahte tüüpi - kuiv ja märg protsess. Märgmenetlus on energiantensiivsem ja seda on enamikes industrialiseeritud maades viimastel aastakümnetel kuiva protsessitehnoloogia vastu välja vahetatud, välja arvatud Ameerika Ühendriikides ja endistes Nõukogude Liidu maades, kus märg protsess on siiani levinud. [16]

Tabelis 5 on näidatud klinkri energiatarbimine erinevate tsemendiahju tüüpide korral USA-s 2002. aasta seisuga. Mitmete allikate põhjal on klinkritootmise energiatarbimine tänapäevaste tehnoloogiatega kilogrammi kohta aga mõnevõrra väiksem – 3 kuni 4 MJ, moodustades seejuures tsemendi tootmise kogukuludest 30-40 %. [17, 18]

Tabel 5

Energiatarbimine klinkri tootmiseks erinevate tsemendiahju tehnoloogiate korral USA-s [16]

Ahju tüüp	Energiatarbimine klinkri tootmiseks MJ/kg
väike märgmenetlus ahi (<0,5 Mt/a)	6,51
suur märgmenetlus ahi	5,94
väike kuivmenetlus ahi (<0,5 Mt/a)	5,13
suur kuivmenetlusahi	4,35
suur ahi, ilma eelsoojendita	5,40
suur ahi, ainult eelsoojendiga	4,29
suur eelsoojendi ja eelkaltsinaatoriga ahi	4,03

Tsemenditööstuses kasutatakse lisaks tavapärastele fossiilsetele energiaallikatele, nagu kivisüsi ja naftakoks, laialdaselt asenduskütusena erinevaid alternatiivseid kütuseid, milleks on tavaliselt tahked või vedelad olme- ja tööstusjäätmel. Pöördahjus on nende põletamiseks olemas väga sobivad tingimused: kõrge temperatuur, leeliseline keskkond, oksüdeeriv atmosfäär, puuduvad põletusjäägid (jääkained absorbeeritakse klinkrisse), suur soojusvahetuspind ja piisav aeg (üle 2s) ohtlike ühendite lagunemiseks. [18]

Tsemenditööstuses kasutatavad alternatiivsed kütused klassifitseeritakse tavaliselt nende füüsilise oleku alusel [18]:

- gaasilised (biogaas, pürolüüsigaas);
- vedelad (vana-õlid, kasutatud lahustid, määrded jm);
- tahked (paber, puukoor, saepuru, rehvid, kummipuru, plastid, RDF jm).

Ohtlikud jäätmel, nagu lahustid ja õlid, ning rehvid on kõige sagedasemad tsemenditööstuses kasutatavad teised jäätmel, kuid süsiniku saastekvoodid suunavad järjest enam tähelepanu biomassi põhiste kütustele, nagu reovee muda ja vanapaber[17]. Biokuivatamistehnoloogiaga

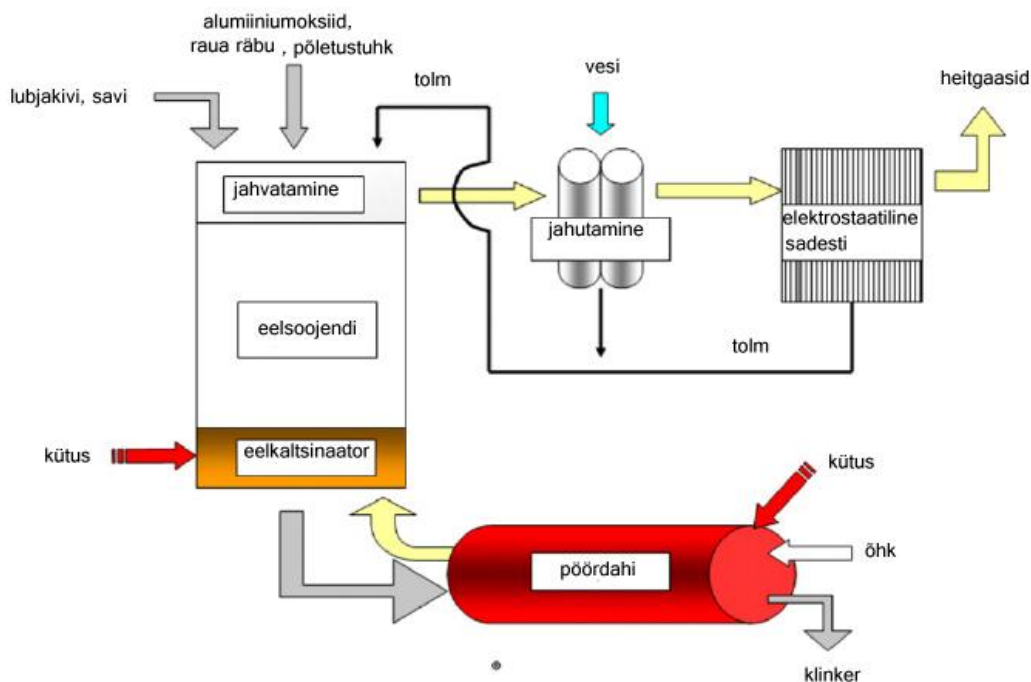
toodetud RDF on üks nendest kütustest, mis sisaldab endas biomassi ja võimaldab sellega säästa keskkonda ja hoida tsemenditootjal kokku saastetasude pealt.

3.1. Tsemendi tootmisprotsess

Põhilised tsemendi tootmise sisendid on kaltsium, räni, alumiinium ja raud. Peamine tooraine kaltsium sisestatakse tsemendiahju tavaliselt lubjakivi (CaCO_3) kujul. Räni, alumiinium ja raud lisatakse tavaliselt oksiididena või silikaatidena (e.g., savi) ning rauda saab lisada raudoksiidina. [19]

Segatud toormaterjali termiline töötlemine toimub kolmes etapis: kuivatamine, kaltsineerimine, klinkristamine. Esimene staadium, kuivatamine vajab temperatuuri 100 °C ümbruses. Teine staadium, kaltsineerimine, on toormaterjalide segu kontrollitud kuumutamine materjalide dehüdreerimiseks ja CO_2 lubjakivist eraldamiseks. Kaltsineerimise temperatuurid on vahemikus 550°C ja 1000 °C. Klinkristamine (mõnikord kutsutakse ka põletamiseks) on termin keemilistele reaktsioonidele, mis muundavad toormaterjali kõvastunud granulaarseks kaltsiumsilikaadi, kaltsiumaluminaadi ja kaltsiumferriidi massideks (tüüpiliselt diameetriga kuni 25mm). Klinkristamise reaktsioonid toimuvad temperatuurivahemikus 1000 – 1500 °C. Toodetud klinker seejärel õhk-jahutatakse ja jahvatatakse peeneks pulbriks kasutamiseks tsemendina. [19]

Joonisel 4 on kujutatud tsemendiahju protsessiskeem, millel on kasutusel eelkaltsinaator ja eelkuumutaja. Tsemendi pöördahju antakse kütus osaliselt peale pöördahju peast, kust klinker väljub, samas kui kütus ja põlemisgaasid liiguvad põletatava materjali suhtes vastassuunaliselt. Kütust saab osaliselt anda samuti eelkaltsinaatorisse. Peapõletisse etteande viisi puhul on põlemisgaaside viibimisaeg pöördahjus kümneid sekundeid ja nad ületavad tsoone, mille temperatuur on üle 1500 °C. Eelkaltsinaatorisse etteandmisekorral on põlemisgaaside temperatuur 800-900 °C ja nende viibimisaeg põletustsoonis ei ületa mõnda sekundit. [17]



Joonis 4. Eelsoojendi ja eelkaltsineerijaga tsemendi pöördahi [17]

3.2. RDF-i tsemendiahjus põletamise tehnoloogilised ja keskkonna aspektid

Tsemendiahjudes konventsionaalsete kütuste asendamisel sekundaarsete kütustega tuleb hinnata seda tehnoloogilise ja keskkonna poole pealt. Asenduskütuses sisalduvad keemilised elemendid võivad kontsentratsioonide piirmäärasid ületades avaldada negatiivset mõju klinkrile ning emissioonide näol välisõhule. Samuti avaldab tsemendi tootmine globaalses mastaabis CO₂ emissioonide näol mõju maakera kliimale. [17]

Asenduskütuste kasutamise tehnoloogiline pool algab nende asendamise energia ja massi tasakaaludega. Tuleb arvestada, et tahked asenduskütused on enamasti madalama kütteväärtusega kui konventsionaalsed, nagu nafta koks (kütteväärtus ~ 34 MJ/kg). Seepärast saab kalorilist asendamist saavutada enamasti suurema kütuse vooluhulgaga. Kunda tsemenditehases on peamiseks kütuseks rikastatud põlevkivi (kütteväärtus ~ 11,3 MJ/kg), millega võrreldes on RDF-i kütteväärtuskõrgem (>18 MJ/kg). [17, 20]

Koostise vaatevinklist on tähtis arvestada lämmastiku, väävli ja kloori sisaldusega asenduskütuses võrreldes kontsentratsioonidega fossiilsetes kütustes. Lämmastik on lämmastikoksiidide (NO_x) tekke põhjustajaks. NO_x moodustumine on seotud lämmastiku sisaldusega kütuses, temperatuuridega ahjus, viibimisajaga ja põletaja tüübiga. On leitud, et madalad väärtused RDF-is

(0,3 – 0,5% võrreldes 1,5 – 2% fossiilsetes kütustes) toovad võrreldes fossiilsete kütuste kasutamisega kaasa ohtlikke ühendite moodustamise madalama määra. [17]

Tänu klinkri aluselisele maatriksile ei põhjusta väävel ja kloor asenduskütustes gaasiemissioonide kriitilisi tasemeid. Samas tuleb arvestada nende elementide võimalikke reaktsioone tooraines sisalduvate metallidega. [17]

Väävli kontsentratsioon asenduskütustes on üldiselt palju madalam kui tavapärastes fossiilsetes kütustes. Kundas kasutatava RDF-i puhul on see kuivaines alla 1 %, tavapäraste fossiilsete kütuste puhul 3-5 %. Seepärast saab igasugused probleemid seoses sadestumisega või ummistumisega vältida, kuigi probleemid seoses aluste ülekandumisega klinkrisse tuleb kindaks määrata.[17,21]

Vastupidiselt, kloori sisalduse tõus võib viia mõningate probleemideni tulenevalt reaktsioonidest leeliste ja kloori vahel, kloriidide volatiliseerumisest (aurustumisest) ja taaskasutamisest tuhaga ning vajaduseni luua möödapäas (osa heitgaaside eraldamine), et limiteerida kloriidide taset lõpp-klinkris. On tõestatud, et möödalastavate gaaside kõrge temperatuur põhjustab tõusu soojustarbimises. Iga möödalastud gaaside protsent nõuab lisaenergiat ligikaudu 20 – 25 kJ klinkri kg kohta, võrreldes kilogrammi klinkri kogutarbimisega tsemendiahjus 3000 – 3500 kJ. Kuna selle mõju magnituud on 5 – 15 %, mõjutab see aspekt olulisel määral süsteemi energiatarbimist. [17]

Raskemetallide sisaldus sekundaarses kütuses võib kaasa tuua ülekandumise toodetud klinkrisse. Kuna erinevate kütuste puhul on erinevate metallide sisaldus erinev, siis klinkri saastatuse tase võib tõusta ja ka langeda pärast fossiilkütuse asendamist. Uuringute tulemusel on selgunud, et raskemetallide ülekandumine sekundaarsetest kütustest ei ole kriitiline. [17]

Põletatava RDF-i koostisest pärinevate välisõhu saasteainete emissioonide negatiivne mõju seisneb jäätmetes sisalduvate ainete võimalikus ülekandes välisõhku või toodetud klinkrisse. RDF-i põletamise korral on võimalik ülekanne välisõhku või heitgaaside töötlemisest tekkivatesse jäätmetesse. [17]

Tabelis 6 on toodud elementide ülekandefaktorid RDF-i põletuse korral (andmed 23-est jäätmepõletusjaamast Euroopas) ja RDF-i kasutamisel tsemendiahjudes (andmed erinevatest tsemendiahjudest Euroopas ja USA-s). [17]

Tabel 6

RDF-i saasteainete ülekandefaktorid (ÜF) heitgaasidele, põletusahjudes põletades ja tsemendiahjudes koospõletuse korral [17]

	ÜF heitgaasidele põletusahjudes (%)	ÜF heitgaasidele tsemendiahjudes (%)
Kloor	0.08	3.4
Väävel	0.1	3.1
Kaadmium	0.5	1.873
Tallium	0.065	0.875
Elavhõbe	5	49
Antimoonium	0.004	0.042
Arseen	0.001	0.020
Plii	0.005	1.015
Kroom	0.005	0.018
Koobalt	0.005	0.014
Vask	0.005	0.040
Mangaan	0.005	0.010
Nikkel	0.005	0.019
Vanaadium	0.005	0.050
Tina	0.005	0.043
Tsink	Pole andmeid	0.437

Võrreldud näitajad (ülekandefaktorid RDF-ile) näitavad selgelt kõrgemat kloori ja vääveli atmosfääri eraldumist tsemendiahjude puhul ning lisaks sellele on raskemetallide kinnipidamisvõime põletusjaamade puhastussüsteemide puhul palju kõrgem kui tsemendiahjudel. Tsemendiahjudes koospõletuse korral toimub ülekanne klinkrisse, mille kaasneb suurem võimalus hilisemas ülekandumises keskkonda. [17]

3.3. RDF-i kvaliteedinõuded Broceni ja Kunda tsemenditehastes

Kunda tsemenditehas kuulub ülemaailmsesse Heidelberg Cement kontserni. Kundas toimub töötlemine märjal tehnoloogial ning kütusena kasutatakse põlevkivi ja naftakoksi/kivisöe segu, sellele lisaks erinevad asenduskütused. Tulenevalt märjast meetodist antakse kütust peale ühest

põletist ehk peapõletist. Kunda tsemenditehasesse tarnivad tänasel päeval jäätmekütust mitmed Eesti ettevõtted. [20]

Lätis Brocenis asuv kaasaegne tsemenditehas kuulub rahvusvahelisse Cemex kontserni. Tehas kasutab kuivtehnoloogiat, mis võimaldab kütust peale anda nii peapõletist ja kaltsinaatorist. Broceni tehasel on ambitsioonikaks eesmärgiks saavutada asenduskütuste osakaaluks 60%, mille saavutamiseks kasutatakse RDF-i, hakkepuitu, rehvipuru, jahvatatud kummi ja tulevikus vanaõli ning muid orgaanilisi jäätmeid. [21]

Nii Broceni kui Kunda tsemenditehaste RDF-i nõudeid käsitlevad spetsifikatsioonid on esitatud kokkuvõtvalt tabelites 7 ja 8. Tabelites on näidatud, et Cemex Broceni tsemenditehas esitab RDF-i nõuded eraldi nii peapõletile kui eelkaltsinaatorile. Broceni spetsifikatsioonid jagunevad tootmisprotsessiga seotud nõueteks ja keskkonnalasteks nõueteks samas kui Kunda spetsifikatsioonis pole nõudeid sellisel viisil liigitatud.

Broceni tehas kasutab oma spetsifikatsioonis RDF-i asemel akronüümi SRF, mis viitab nende kvaliteeditagamise ja -kontrolli vastavusele CEN/TC 343 juhistele.

Tabelis 7 esitatud spetsifikatsioonide põhjal saab teha järgmised järeldused:

- Broceni tehases nõutakse vastavalt EN 15359-le nii peapõletile kui kaltsinaatorile tarnitavale kütusele alumise kütteväärtuse määramist kuivaines ning tarbimisaines ning lisaks nõutakse EN 15359 kohaselt mittekohustusliku ülemise kütteväärtuse määramist. Kunda tehase spetsifikatsioon nõuab ainult alumise kütteväärtuse määramist tarbimisaines;
- Niiskussisaldus peab olema Broceni tehase peapõletile tarnitavale jäätmekütusel madalam, kui kaltsinaatori või Kunda tehase peapõleti puhul;
- Tuhasusele esitatavad nõuded on nii Kunda kui Broceni pöördahjude põletitel samad, väevli sisaldus peab aga Kundale tarnitavas kütuses olema mõnevõrra madalam;
- Kloori esitatavad nõuded on Broceni tehase mõlema põleti puhul samad. Kunda tehase spetsifikatsioonis arvestatakse kloori sisaldust koos teiste halogeenidega;
- Broceni tehas esitab mitmeid nõudeid pallimise koha pealt, mis on EN 15359 kohaselt mitte kohustuslikud ning mida Kunda pole rakendanud.

Tabel 7

Tootmisprotsessiga seotud nõuded Broceni ja Kunda tsemendiahjudes [22, 23, 24]

Näitaja	Mõõtühik	Piirväärtus Cemex peapõleti	Piirväärtus Cemex eelkatsinaat or	Piirväärtus Kunda peapõleti	Määramismeetod
Ülemine kütteväärtus (d) *	MJ/kg	>25	>22	-	CEN/TS 15400
Alumine kütteväärtus (ar) **	MJ/kg	>20	>16	>18	CEN/TS 15400
Alumine kütteväärtus (d)	MJ/kg	>24	>20	-	CEN/TS 15400
Niiskus (ar)	% mass	<15	<20	<20	CEN/TS 15414
Tuhasus (d)	% mass	<15	<15	<15	CEN/TS 14775 (Brocenis), CEN/TS 15403(mõlemas)
Väävel (d)	% mass	<1,0	<1,0	<0,7	CEN/TS 15408
Kloor (d) (+ teised halogeenid Kundas)	% mass	<0,8	<0,8	<0,9	CEN/TS 15408
Kütuseosakeste suurus/ suuruse jaotus	mm	30 x 30 x 5	50 x 50 x 5 (>90% on <50mm ja 10% <60mm)	80%<25 mm; max 40mm kahes mõõtmes	CEN/TS 15415
Kütuse tihedus	t/m ³	>0,180	>0,180	-	-
Pallid (kui kasutatakse)	Kuju	Ümmar- gused või kandilised	-	-	-
Pallide mõõtmed (pikkus-laius-kõrgus)	mm	<1200x11 00x1100	-	-	-
Pallimise traadid	Materjal	Ainult plast- traadid	-	-	-
Pakkekile paksus	mm	>0,3	-	-	-
Pallide pakkekihtide arv	Kihid	>10	-	-	-
Pallide tihedus	t/pall	0,6<X>1,2	-	-	-

* d - kuivaines (d - dry basis); ** ar - tarbimisaines (ar - as received)

Tabel 8

Keskkonna alased nõuded Broceni ja Kunda klinkriahjudes [22, 23, 24]

Näitaja	Mõõt- ühik	Piirväärtus: Cemex peapõleti	Piirväärtus: Cemex eelkatsinaat or	Piirväärtus: Kunda peapõleti	Määramismeetod
Halogeniidid (d)		Piirväärtus	Piirväärtus	Piirväärtus	
Fluor (d)	% mass	< 0,5	< 0,5		CEN/TS 15408
Broom (d)	% mass	< 0,25	< 0,25		CEN/TS 15408
Jood (d)	% mass	< 0,25	< 0,25		CEN/TS 15408
Metallid	Mõõt- ühik	Piirväärtus	Piirväärtus	Piirväärtus	
Elavhõbe (d) *	mg/kg	< 1,5	< 1,5		CEN/TS 15411
Kaadmium (d)	mg/kg	< 9	< 9		CEN/TS 15411
Tallium (d)	mg/kg	< 2	< 2		CEN/TS 15411
II grupi metallid kokku (d)	mg/kg	< 10	< 10		
Antimoonium (d)	mg/kg	< 150	< 150		CEN/TS 15411
Arseen (d)	mg/kg	< 20	< 20		CEN/TS 15411
Kroom (d)	mg/kg	< 150	< 150		CEN/TS 15411
Koobalt (d)	mg/kg	< 20	< 20		CEN/TS 15411
Vask (d)	mg/kg	< 500	< 500		CEN/TS 15411
Plii (d)	mg/kg	< 200	< 200		CEN/TS 15411
Mangaan (d)	mg/kg	< 150	< 150		CEN/TS 15411
Nikkel	mg/kg	< 70	< 70		CEN/TS 15411
Tina	mg/kg	< 50	< 50		CEN/TS 15411
Vanaadium	mg/kg	< 100	< 100		CEN/TS 15411
III grupi metallid kokku	mg/kg	< 800	< 800		CEN/TS 15411
I grupi metallid kokku (Tl+Cd) (ar) **	mg/kg			<20	CEN/TS 15411
II grupi metall Hg (ar)	mg/kg			<2	CEN/TS 15411
III grupi metallid kokku(Sb, As, Pb, Cu, Cr, Co,Mn,Ni, V) (ar)	mg/kg			<2000	CEN/TS 15411

* d - kuivaines (d - dry basis)

** ar - tarbimisaines (ar - as received)

Tabelis 8 esitatud spetsifikatsioonide põhjal saab teha järgmised järeldused:

- Broceni tehas esitab erinevalt Kunda tehasest piirväärtused erinevatele halogeniididele;
- Metallidele on Broceni tehases esitatud piirväärtused eraldi kui ka grupi kaupa määratuna. Kunda spetsifikatsioon esitab nõudmised I, II ja III grupi metallidele kokku ja metallide sisalduse piirväärtuse eraldi määramist ei nõua;
- Metallide ja halogeniidide sisalduse piirväärtused on Broceni tehases mõlema põletitüübi puhul samad;
- Broceni tehases määratakse metallide sisaldus kuivaines, Kunda tehases aga tarbimisaines, mistõttu nõutavad piirväärtused on erinevad.

EN 15359-s on märgitud, et metallide piirväärtused tulenevad spetsifikatsioonides Euroopa Jäätme põletusdirektiivist 2000/76/EÜ.

Tabelites 7 ja 8 esitatud Broceni ja Kunda tsemenditehaste RDF spetsifikatsioonide põhjal järeldub, et nõuded erinevatele parameetritele on mõlemas tehases ligikaudu samad. Cemex Broceni tsemenditehase spetsifikatsioon on aga kokkuvõttes põhjalikum ning on vastavuses EN 15359 standardiga, kus on toodud RDF-i määratlemis- ja klassifitseerimis- tingimused. Sellest tulenevalt saab väita, et Brocenis kasutatav jäätmekütus on SRF ehk CEN/TC 343 nõuetele vastav jäätmekütus.

Võrdluseks Kunda tehases esitatavate nõuetega on tabelis 9 toodud Kunda tsemendiahju peapõleti näidisspetsifikatsioonis esitatud parameetrite piirmäärad ja Saksamaa ettevõtte Remondis AG & Co. KG segaolmejäätmetest toodetava ja tsemendiahjudes kasutamiseks ette nähtud jäätmekütuse SBS[®] 2 parameetrite piirmäärad, mis tulenevad ettevõtte Remondis AG & Co. KG sisemisest standardist.

Tabelis 9 toodud näitajate põhjal järeldub järgmine:

- kütteväärtuse ja metallide määramismeetodid on ettevõtetes Remondis AG & Co. KG ja Kunda Nordic Cement erinevad;
- ettevõtte Remondis AG & Co. KG sisemise standardi järgi lubatud tuhasuse, väävli ja kloori piirmäärade tõttu jäätmekütus SBS[®] 2 Kunda tsemenditehase RDF-i näidisspetsifikatsioonis sätestatud tingimustele ei vasta.

Tabel 9

Remondis jäätmekütuse SBS[®] 2 ja Kunda peapõleti spetsifikatsioonid [2, 22]

Näitaja	Remondis SBS [®] 2	Kunda peapõleti
Alumine kütteväärtus	18-23 MJ/kg (d)*	>18 MJ/kg (ar)**
Niiskus	<20% (ar)	<20 % (ar)
Tuhasus	<20% (d)	<15 % (d)
Väävel	<0,8 mg/kg (d)	<0,7mg/kg (d)
Kloor	1,2 mg/kg (d)	<0,9mg/kg (d)
Elavhõbe	<1 mg/kg (d)	< 2 mg/kg(d)
Kaadmium	<9 mg/kg (d)	
Tallium	<2 mg/kg (d)	
Kaadmium+Tallium (Cd+Tl)		<20 mg/kg(ar)
Antimoonium	<120 mg/kg (d)	
Arseen	<13 mg/kg(d)	
Berülleum	<2 mg/kg(d)	
Kroom	<250 mg/kg (d)	
Koobalt	<12 mg/kg (d)	
Vask	<1000 mg/kg (d)	
Plii	<400 mg/kg (d)	
Mangaan	< 500 mg/kg (d)	
Nikkel	<160 mg/kg (d)	
Seleenium	< 5 mg/kg (d)	
Vanaadium	< 26 mg/kg (d)	
III grupi metallid kokku(Sb, As, Pb, Cu, Cr, Co,Mn,Ni, V)	-	<2000 (ar)

*d – kuivaines (d - dry basis)

**ar - tarbimisaines (ar - as received)

KOKKUVÕTE

Töös selgitatakse esmalt jäätmekütuste terminoloogiat. Rahvusvaheliselt kasutatakse tahketest jäätmetest valmistatud kütuse kirjeldamiseks mitmeid nimetusi, millest tuntumad on akronüümid RDF ehk „refuse derived fuel” ning SRF ehk „solid recovered fuel”. SRF on jäätmekütus, mis on toodetud vastavalt Euroopa Standardikomitee Tehnilise Komitee 343 juhisteile.

Töös antakse ülevaade RDF-i tootmistehnoloogiatest. RDF-isaab toota mehaanilise töötlemise ja mehaanilis-bioloogilise töötlemise teel. Mehaanilise töötamise käigus jäätmete suurust vähendatakse, jäätmed liigitatakse ja eraldatakse, segatakse ning mõningal puhul tihendatakse. Jäätmete peenestamis- ning eraldamisprotsessiks kasutatakse erinevaid seadmeid. Jäätmete suuruse vähendamiseks on laialdaselt kasutatud purustaja ja haamerveski. Eraldamistehnoloogiate hulgas võib välja tuua sõelad, ballistilise eraldaja, magnetiliste ja mitte-magnetiliste metallide eraldaja.

RDF-i tootmisprotsess võib lisaks jäätmete mehaanilise töötamise etappidele omada bioloogilise töötlemise etappi. Sellist RDF-i tootmisprotsessi nimetatakse mehaanilis-bioloogiliseks töötamiseks ning selles rakendatavat bioloogilise töötamise protsessi biokuivatuseks. Biokuivatusreaktor võimaldab jäätmeid eeltöödelda kõige madalama ajaga tootmaks kõrgekvaliteedilist RDF-i. Biokuivatamise puhul hõlbustab üleliigse niiskuse eemaldamine sisendjäätmetest mehaanilist töötlust ja parandab sisendite energiakasutuse potentsiaali.

Töös antakse ülevaade RDF-i turustamise juures määrava tähtsusega kvaliteedijuhtimisest. Kvaliteedijuhtimine tõstab kindlust tootjates, kasutajates ja jäätmekütuse kasutamist reguleerival poolel. Kvaliteedijuhtimissüsteemid jagunevad kvaliteedi planeerimise, -tagamise ja -kontrolli süsteemideks. Mitmetes Euroopa riikides on loodud oma vastavad kvaliteedi tagamise ja/või kontrolli süsteemid ja standardid, kuid nende puudusteks on suured erinevused üksteise suhtes. Siduv riikideülene raamistik RDF-i kvaliteedi juhtimiseks on loodud Euroopa Standardikomitee 2003. aastal moodustatud Tehnilise Komitee 343 poolt, kes on välja töötanud vastavad raportid, spetsifikatsioonid ja standardid.

Töös antakse ülevaade tsemendi tootmisprotsessist ja RDF-i tsemenditööstuses kasutamisega kaasnevatest probleemidest. Tsemendi pöördahjudes on RDF-i põletamiseks väga sobivad tingimused, nagu kõrge temperatuur, leeliseline keskkond, oksüdeeriv atmosfäär ja puuduvad põletusjääd. Tsemendi toormaterjali termiline töötlemine toimub mitmes etapis, millest viimase, klinkristamise, jooksul toimuvad reaktsioonid kõrgete, 1000-1500 °C, temperatuuride juures.

RDF-i tsemendiahjudes kasutamisega kaasnevad probleemid jagunevad tehnoloogilisteks ja keskkonna-alasteks. Tehnoloogiliste probleemide all mõeldakse enamasti keemiliste ühendite ülekandeid klinkrisse ning keskkonna-alaste mõjude all ülekandeid välisõhku.

Enamasti on RDF fossiilsest kütusest madalama kütteväärtusega. Seepärast tuleb fossiilsete kütuste asendamisel RDF-iga arvestada nende energia ja massi tasakaaludega. Elemendid, mille sisaldust tuleb RDF-i tsemendi pöördahjus kasutades jälgida, on lämmastik, väävel, kloor ja erinevad metallid. Lämmastik võib tekitada probleeme, kuna moodustab põlemisel mürgiseid NO_x ühendeid. On leitud, et RDF-i puhul on lämmastiku tase reeglina madalam kui fossiilsetel kütustel ja seega ohtu ei kujuta. Tänu klinkri aluselisele maatriksile ei põhjusta väävel ja kloor asenduskütustes gaasiemissioonide kriitilisi tasemeid. Arvestada tuleb nende elementide võimalikke reaktsioone tooraines sisalduvate metallidega. Kloori sisalduse tõus võib viia mõningate probleemideni tulenevalt reaktsioonidest leeliste ja kloori vahel, kloriidide volatiliseerumisest ja taaskasutamisest tuhaga. Sellest võib tekkida vajadus luua möödapääs, et limiteerida kloriidide taset lõpp-klinkris. On tõestatud, et möödalastavate gaaside kõrge temperatuur põhjustab tõusu soojustarbimises. Raskemetallide sisaldus RDF-is on probleemne, kuna võib kaasa tuua ülekandumise toodetud klinkrisse ja välisõhku.

Viimaseks antakse töös ülevaade RDF-i kvaliteedinõuetest Eestis Kunda Nordic Cement ja Lätis Cemex Broceni tehastes. Tehaste esitatavad nõuded RDF-i erinevatele parameetritele on ligikaudu samad. Cemexi Broceni tehase põletite spetsifikatsioonid on kokkuvõttes põhjalikumad ning vastavuses EN 15359 standardiga, kus on toodud RDF-i määratlemis- ja klassifitseerimistingimused. Kuna Cemex Broceni tehasesse tarnitav jäätmekütus vastab CEN/TC 343 määratlustingimustele, on tema kohta korrektne kasutada terminit SRF.

SUMMARY

REFUSE DERIVED FUEL AND IT'S QUALITY SPECIFICATIONS IN CEMENT KILNS

One of the most favorable options in waste management is to recover energy from waste. The term Refuse Derived Fuel (RDF) refers to combustible, high calorific value waste fraction produced by the mechanical or mechanical-biological treatment of municipal or similar commercial/industrial waste. Cement rotary kilns are suitable for the combustion of a large array of waste materials.

The aim of this paper is to:

- Explain the terminology of refuse derived fuels;
- Provide an overview of RDF production technologies and quality management;
- Provide an overview of the aspects and problems regarding the use of RDF in cement kilns;
- Acquire and analyse the quality specifications of RDF in Kunda Nordic Cement (Estonia), Cemex Broceni (Latvia) and Heidelberg Cement Group cement plants in Sweden.

The author of this paper estimates that the aims of this paper were fulfilled. It was not possible to acquire specifications from Heidelberg Cement Group in Sweden due to the confidentiality of that matter.

Generally, RDF refers to a waste derived fuel that does not meet any specific standards, except in the United States, where the term RDF has been applied to waste derived fuels of standardized quality, according to American Society for Testing and Materials standards. A recent acronym for solid waste derived fuels is Solid Recovered Fuel (SRF), which is a fuel that follows the quality management guidelines of European Committee for Standardization.

RDF production through the mechanical treatment of waste encompasses waste comminution, classification, separation, homogenization and in some cases, compression processes. RDF production may include, in addition to mechanical treatment processes, a biological treatment

phase. This biological treatment technology is called biodrying. Biodrying aims to remove moisture from the waste stream, hence improving its energy recovery potential and mechanical handling properties.

Quality management for RDF plays a key role in efforts to establish viable market outlets, by creating confidence in suppliers, end-users, and regulators. A general framework for quality management of RDF has been provided by European Committee of Standardization (CEN), which established Technical Committee 343 – Solid Recovered Fuels, in order to publish reports, specifications and standards for quality assurance and control of RDF.

Cement industry is the dominant user of RDF in the world. The process of clinker burning in a rotary kiln creates favorable conditions for the use of refuse derived fuel. These include: high temperature (over 1500 °C), alkaline environment, oxidizing atmosphere, the lack of incineration wastes, large heat-exchange surface, and sufficient time (over 2 s) for the disposal of hazardous wastes.

The problems concerning the use of RDF in cement kilns can be either technological or environmental. Technological problems are related to the transfer of chemical elements to produced clinker. This especially concerns reactions between chlorine and alkalis in the raw meal. Environmental problems are related to the gaseous emission levels of chemical elements, mainly various metals. Due to the alkaline matrix of the clinker, the presence of sulphur and chlorine in substitute fuels does not result in critical levels of gaseous emissions.

Quality specifications for various parameters of RDF at Kunda and Broceni cement plants are relatively similar. Kunda plant specification is for the main burner as it uses wet process technology. Broceni plant uses dry process technology and specifies the quality of RDF for main burner as well as calcinator. Overall, the specifications of Broceni plant are more thorough and meet the standards set by CEN. Therefore, the term SRF should be used when referring to the refuse derived fuel used in Broceni cement plant.

VIIDATUD ALLIKAD

1. Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2008/98/EÜ[WWW]
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:ET:PDF>
(12.02.2013)
2. C.A. Velis, P.J. Longhurst, G.H. Drew, R. Smith, S.J.T. Pollard. (2010). Production and quality assurance of solid recovered fuels using mechanical-biological treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment. [WWW]
https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/6847/1/Production_and_quality_assurance-2010.pdf (14.01.2013)
3. Tallinna Tehnikaülikool. (2004-2005). Tehnilis-majanduslik hinnang jäätmepeletusele Eestis. [WWW]
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=123879/Lep480L210305.pdf>
(25.01.2013)
4. UK Government, Department for Environment Food and Rural Affairs. (2007). Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste. [WWW]
<http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/documents/mbt.pdf>
(25.01.2013)
5. Mustafa Kara, Esin Günay, Yasemin Tabak, Şenol Yıldız. (2009). Perspectives for pilot scale study of RDF in Istanbul, Turkey. *Waste Management*, 29, 2976–2982 (25.04.2013)
6. WASTE-C-CONTROL. Database of Waste Management Technologies. [WWW]
<http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/MBT-00.htm> (25.01.2013)
7. C.A. Velis, P.J. Longhurst, G.H. Drew, R. Smith, S.J.T. Pollard. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: a review of process science and engineering. [WWW]
<https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/3363/1/Biodrying%20for%20mechanical-biological%20treatment%20of%20wastes-%20a%20review%20of%20process%20science%20and%20engineering-2009.pdf> (14.01.2013)

8. OÜ Keskkonnakorraldus. S. Kerge. (2010). Suur-sõjamäe 31a rajatava Ragn-Sells AS jäätmekütuse tehase keskkonnamõju hindamine. [WWW]
http://www.keskkonnakorraldus.ee/failid/RagnSells/Aruanne/RS_jaatmetehase_KMH_aruanne.pdf (25.01.2013)
9. European Recovered Fuel Organisation[WWW] <http://erfo.info/Quality.6.0.html> (25.03.2013)
10. European Recovered Fuel Organisation.facts_and_figures_201205.rev3 (25.03.2013)
11. EN 15359: 2011 - Solid Recovered Fuels - Specifications and classes. (20.03.2013)
12. The Engineering Toolbox [WWW] http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html (20.04.2013)
13. Wikipedia[WWW] <http://et.wikipedia.org/wiki/Kvartiil> (25.04.2013)
14. Euroopa Komisjon. (2009). Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries [WWW] http://www.mst.dk/NR/ronlyres/0409AE3D-B44D-4B0C-9375-053BFD9A696D/0/clm_bf_0509_public.pdf (25.03.2013)
15. ERFO Best Available Techniques Reference Document(BREF) „Waste Treatment” Solid Recovered Fuels [WWW]
http://erfo.info/fileadmin/user_upload/erfo/documents/reports/IAR_BREF_Waste_Treatment_SRF_final.pdf (25.03.2013)
16. Ashley Murray, Lynn Price. (2008). Use of Alternative Fuels in Cement Manufacture: Analysis of Fuel Characteristics and Feasibility for Use in the Chinese Cement Sector [WWW]
<http://ies.lbl.gov/iespubs/LBNL-525E.pdf> (25.03.2013)
17. G. Genon , E. Brizio. (2008). Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. *Waste Management*, 28, 2375–2385 (10.01.2013)
18. Eugeniusz Mokrzycki, Alicja Uliasz- Bochenczyk. (2003). Alternative fuels for the cement industry. *Applied Energy*,74, 95–100. [Online] (25.03.2013)
19. E. Joseph Duckett, David Weiss. (1980). RDF as a kiln fuel [WWW]
<http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/nawtec/1980-National-Waste-Processing-Conference/1980-National-Waste-Processing-Conference-36.pdf> (25.03.2013)
20. Kunda Nordic Cement. Tootmisprotsess. [WWW]
http://www.heidelbergcement.com/ee/et/kunda/kasulikku_teavet/Tootmisprotsess.htm (25.03.2013)
21. CEMEX Latvia, DiMatteo. (2011). Targetting higher substitution. – International Cement Review 2011 no. 7 (24.04.2013)

22. Kikas.K. (2013). Jäätmekütuse standardid ja kvaliteedinõuded, EJKL Jäätmekäitluslane täienduskoolitus, Kunda [Presentatsioon] (18.03.2013)
23. CEMEX Latvia. (2012).Specifications for SRF (Solid Recovered Fuel) for Main Burner (12.03.2013)
24. CEMEX Latvia. (2012).Specifications for SRF suitable for Calciner (12.03.2013)

Lisa. Ballistilise eraldaja tööprotsessi põhimõte [2]

