

**Sauli Repo, diplomityö:
“Verifying the pulp mill atmospheric emissions from the recovery boiler”**

LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
LUT School of Energy Systems
Sustainability science and solutions

Verifying the pulp mill atmospheric emissions from the recovery boiler

Lappeenranta, 20 September 2018

Samuli Repo

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
Degree Programme in Environmental Technology

Samuli Repo

Master's thesis

Verifying the pulp mills atmospheric emissions from the recovery boiler

2018

87 pages, 42 figures, 23 tables, 3 appendices

Examiner: Professor Risto Soukka
Supervisor: Professor Esa Vakkilainen

Keywords:

flue gases, emissions to air, pulp industry, recovery boilers, forest industry, emission balance, emission measurement,

Finnish pulp and paper industry has a long history and its effect on the Finnish economic life is significant. Similar to every other industry, also Finnish pulp mills produce emissions to air. This Master's thesis examines the differences on reported results to calculated emissions in the real pulp mills. The focus of the study is the difference caused by measurements in recovery stack gas flows. The reported results were verified against created model of combustion and the differences between reported and computed are highlighted. Those pulps and their emission balances would be represented and this research is aimed to implement actions in emission reporting in the mills operations. Methods in emission measurement technology are presented. Measurement of emissions is part of environmental protection at the factories which is regulated by the BREF and other documents. Usually measurement happens just before end of the pipe after regulatory air pollution control engineering devices in various locations from the stack and its gas flow. Flue gas amount will be reported in same oxygen reference level and averaging, putting the actual flue gas amount in later report. Forest industry in Finland uses approximately 150 million euros to environmental protection every year.

YHTEENVETO

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Samuli Repo

Diplomityö

Sellutehtaiden soodakattiloiden ilmapäästöjen tarkistus

2018

87 sivua, 42 kuvaa, 23 taulukkoa, 3 liitettä

Tarkastajat: Professori Risto Soukka
Ohjaaja: Professori Esa Vakkilainen

Avainsanat:

päästöt ilmaan, kemiallinen selluteollisuus, soodakattilat, metsäteollisuus, päästötase, savukaasut, päästömittaus

Suomalaisella sellu – ja paperiteollisuudella on pitkä historia ja sen vaikutus suomalaiseen talouselämään on suuri. Kuten jokainen teollisuuden ala, myös Suomen massatehtaat aiheuttavat ilmapäästöjä. Tässä diplomityössä tutkitaan syitä raportoitujen päästöjen eroihin aidoissa olemassa olevissa tehtaissa. Tutkimus keskittyy savukaasuvirtauksen määrittämiseen. Vertaillaan tehtaan päästömittauksien perusteella raportoimia tuloksia ja tehtyjen tehtaan massataseen laskennan avulla saatuja arvoja. Esittämällä sellutehtaiden soodakattiloiden päästötaseet voidaan vaikuttamaan tehtaiden toimintaan ja päästöjen raportointiin tulevaisuudessa. Esitetään päästömittauksen peruseriaatteet. Päästömittaus on osana tehtaiden ympäristönsuojelua ja sitä ohjataan muun muassa BREF asiakirjalla. Yleensä päästömittaus tapahtuu juuri ennen piipun päätä savukaasupesurien ja -suodattimien jälkeen sen sisällä virtaavasta savukaasusta. Savukaasunmäärä tulee raportoida samassa määrättyssä happipitoisuudessa ja keskiarvoistus sekä määrän ilmoittaminen tulee tehdä oikein tulevissa raportoinneissa. Metsäteollisuus käyttää vuodessa noin 150 miljoonaa euroa luonnonsuojelutyöhön.

TABLE OF CONTENTS

1	INTRODUCTION	7
2	WOOD SPECIES AND COMPOSITION	13
2.1	Wood species	13
2.1.1	Pictures of wood cells and construction	15
2.1.2	Wood consumed in chemical pulp mills in Finland	19
2.2	Elementary composition and macromolecular content of wood.....	22
2.3	Spent kraft liquors from different wood species and composition	24
3	PULP MILL ENVIRONMENT AND FLUE GAS EMISSIONS.....	28
3.1	Kraft process mills	31
3.1.1	Recovery system.....	31
3.1.2	Total sulphur and higher solids content of the black liquor	31
3.2	Influencing factors affecting pulp mill combustion gas amount.....	35
3.2.1	Yield of chemical pulp	35
3.2.2	Process.....	36
3.2.3	Boiler overload and buffering tanks	37
3.2.4	By-product recovery and handling	37
4	REPORTING AND MEASURING FLUE GAS FLOW AND EMISSION LEVELS ASSOCIATED.....	38
4.1	Reporting emissions and technical influences to atmospheric flows.....	38
4.1.1	Averaging emissions to air and key parameters	40
4.1.2	Reporting of RB flue gas flow and pollutant concentrations	41
4.1.3	Continuous measurement and periodical measurements.....	43
4.1.4	Flue gas scrubber and quality of measurement results.....	45
4.1.5	Boiler efficiency and burn control.....	46
4.1.6	Certain impacts to direct measurement correctness	46
4.2	Measurement technologies and emission measurement devices	47
4.2.1	Ultrasonic gas flow rate measurer	48
4.2.2	Thermal mass flow measurement sensors	48
4.2.3	Integrating pitot-tube	49
4.2.4	Multi-gas concentration measurer	49
4.3	Volume rate in duct – flue gas flow	53
4.3.1	Uncertainties in the flow rate measurement of flue gases	55
4.3.2	Indirect method for combustion gas flow, through mass flow of the fuel	56
4.3.3	Emissions relation to stack gas flow rate in observed period of time	57
4.3.4	Working area and the preparation for work	58
4.3.5	Tables of measurement technologies for compounds	58
4.3.6	Flow profile	60
5	RESULTS	63
5.1	RBs in Finland – data	63
5.2	Other reported volumetric flows of some RBs	70
5.3	Typical wood consumption rate to produced pulp	71
6	INTERPRETATION OF RESULTS	72

6.1	Flow corrections.....	72
6.2	NO _x concentration to off-gas volumetric flow.....	72
6.3	Exit gas volume to softwood proportion.....	74
6.4	Specific emissions.....	76
7	CONCLUSIONS	79
8	SUMMARY	81
	REFERENCES	82

APPENDICES

Appendix I Mill B typical information given in datasheet for measurement of recovery boiler

Appendix II Example of model of combustion, model for the Mill G

Appendix III Emissions to air EU specific standards periodic and continuous

LIST OF SYMBOLS

ADt	air dry tonne
APC	air pollution control
AMS	automatic measuring system
BREF	best available techniques reference document
CEMS	continuous emissions monitoring system
CEPI	Confederation of European Paper Industries
CNCG	concentrated non-condensable gas
DNCG	diluted non-condensable gas
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme
N	normal state and standard state in this document 273 K, 101,3 kPa
PCB	Polychlorinated biphenyl
PCDD	Polychlorinated dibenzodioxins
PCDF	Polychlorinated dibenzofurans
PM	particulate mater
PP	pulp and paper
RB	recovery boiler
TRS	total reduced sulphur

1 INTRODUCTION

Kraft pulp mills are common method for producing cellulose fibre out of wood-based materials. Recovery boiler (RB) burns uncaptured wood-based materials, mainly containing lignin. Efficient use of burning of masses reduces amount of CO, NO_x and sulphur emissions (Knowpulp 2018, Dahl 2008, 16). Flue gases contain mainly combustion products and air (N₂, CO₂, H₂O, O₂), but in minor concentration suspended materials, sulphur dioxide, hydrogen sulphur, carbon monoxide and oxides of nitrogen (Knowpulp 2010). Nitrogen oxide chemistry in incineration processes is harder to model or simulate. Nitrogen oxides are mainly forming from the N-molecules in the fuel. Suspended solids or ash from boiler consists mainly of Na₂SO₄. Emissions need to be reduced, because emissions from industry or power plants can cause health risks and environmental destruction (Peavy et al.1985, 417 – 480). Clean production costs in building phase are investments to the technological appliance, but reductions of costs due to pollution risks in the future may be avoided by making these appliances available in the power plant.

This Master's thesis looks at statistics and models kraft boilers flue gas amounts in respect to wood species in Finland. These wood species are mainly birch and pine. Off-gas amount represent amount of combusted mass to gases that exit stack flue. Verifying the amount of combustion gas flow is important as verifying of concentration of pollutant depends from it, but seemingly work still needs be done to certify that flue-gas flow-rate in respect to produced pulp, which was reported in 2008 from most of the pulp mills in EU. Flue gas amount is determined from fuel analysis (C,H,O,N,S, ash, moisture and energy content are analysed and used as data input for mathematical modelling which involves flow calculation). Statistics offer also year 2016 mill specific air pollutant emissions and pulp production rates.

There has been more and more attention towards RBs flue gas emissions and monitoring during the last years (Aumala 2000, 323, Wessman 2007, 5–8, Pinkerton 2014, 9). Technologies in use apply; best available techniques in EU are to be utilized. Information from several mills is reported via different channels such as EMAS, sustainability reports and Finnish forest industries statistics. Main environmental performance document and

guideline in the EU is BAT BREF Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board, which explains this branch of industries best practices. BREF will be revised after certain periods by the authorities, this thesis work uses 2015 version.

Modern day pulp mills have to report their emissions. Mainly total emissions depend on the production rate of pulp, specific emissions are reported along overall emissions. There are standards that are followed in whole EU countries, so we have equivalent measurement techniques for measurements compounds (emission control and measurement is common in EU countries, every country has its own responsibilities to implementation). Standards are being followed in emission measurement, depending where and what type of plant is in operation. Standardized measurement techniques are presented in these standards (Appendix III). Modelling of flue gas volumetric amounts to produced ton of pulp is done from energy balance or measurement data. Still industry uses combustion models, calculations, rather than continuous flow metering of the flue gases in the stack of the RB (EIPPCB. 2008). Professional expert comments that continuous flow measurement is now prevalent.

Discussion on other use of black liquors content, especially lignin is the research topic of many reports and articles. Lignin is still mainly burned for making of electricity and heat. Steam is used in industrial processes. Emissions have been reduced significantly during the past years. In 15 year period 70 – 80 % is been reduced (Knowpulp 2010). Figure 1 presents current paper mills, paperboard mills and pulp mills in Finland in year 2017.

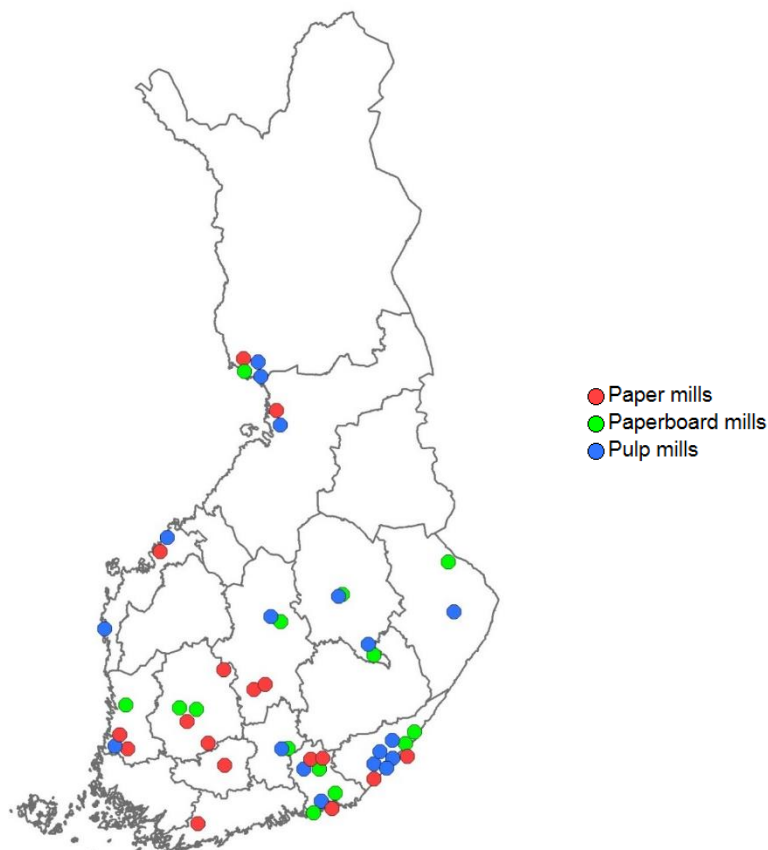


Figure 1 Finnish paper-, paperboard- and chemical pulp mills that are in operation in 2017 (Finnish Forest Industries 2017).

CO₂ emissions are calculated from fossil fuel emissions only. Figure 2 represents those fossil emissions that are due to pulp and paper industry. Land use change and forestry sector (LULUCF) is negative in Finland, forest engineering and sustainable forest management captures carbon from the atmosphere and it is known that denser forest cover cleans air from other pollution such as particles, sulphur, nitrogen oxides and other combustion-sourced emissions. Thanks to forest industry it is economically viable to take care of forestry in right manner that growing stock is increasing faster than felling. CO₂-emissions due to LULUCF should be carefully observed and monitored.

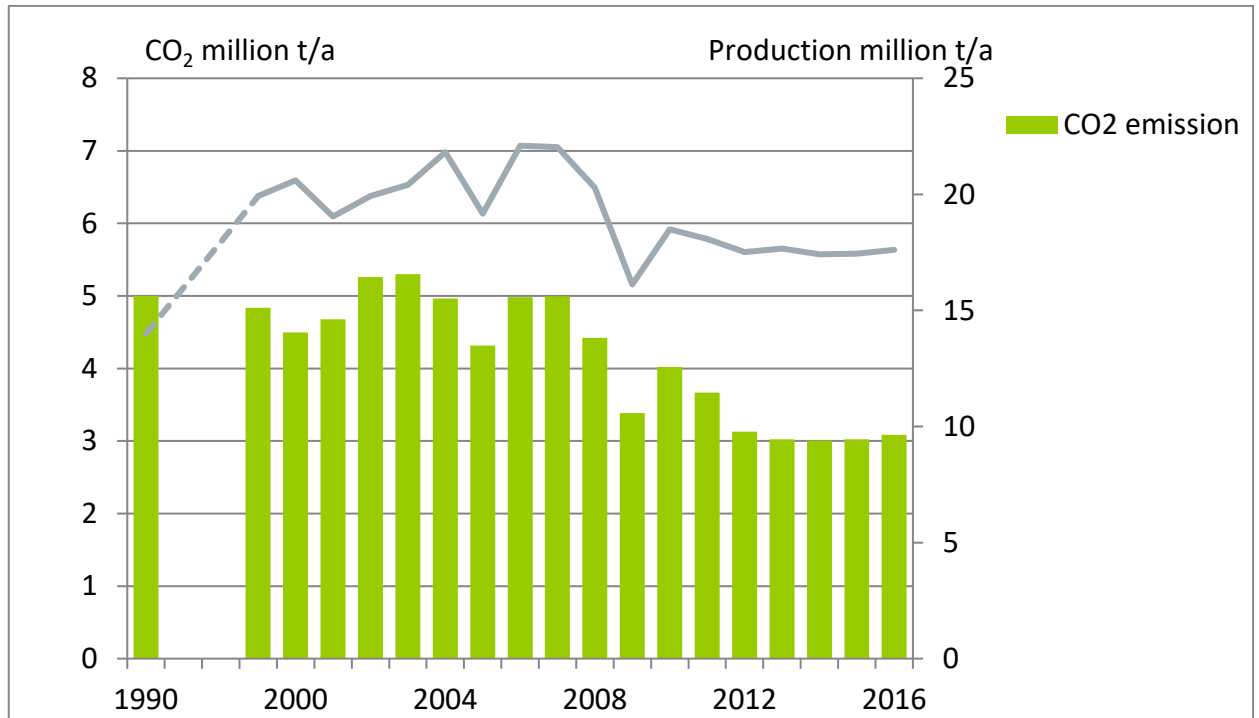


Figure 2 Fossil CO₂ emissions from the pulp and paper industry in Finland (Finnish Forest Industries 2017)

Latest estimate from year 2016 in Figure 2 shows 9,8 million tons of CO₂ fossil emissions from the pulp and paper industry. Greenhouse gas (GHG) emissions in Finland are presented in Figure 3. LULUCF is a removal when all the operations are calculated together. Operations in LULUCF include forestland, harvested wood products, settlements, grassland, cropland and wet lands (Statistics Finland 2017).

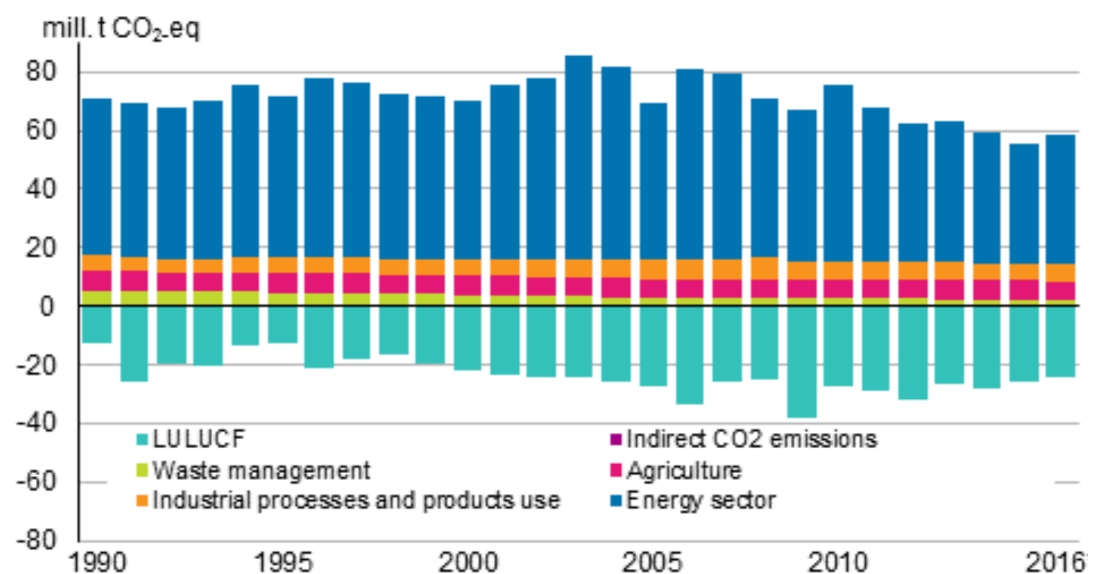


Figure 3 Sectors and their amount of GHG emissions in Finland from year 1990 to 2016 (Statistics Finland 2017)

Environmental awareness in Finnish pulp mills and energy efficiency has resulted in increasing the values of companies – better operation results more pulp to the market. This implies sale and expenditures per produced ton of pulp or bio-based materials becomes lower. Over the years, focusing on environmental technology improvements have contribute great savings to the mills environment. To generalize pulp mills goal is to increase production levels without placing further strain on the environment. Modern forest industry seems to be interested in researching and finding new technologies to utilize lignin, the main organic component in black liquor to be combusted in RB. Piloting products on refining lignin for plastics or carbon fibre is attractive. Nanocellulose is one newest research emerging and other example of emerging technologies in bioeconomy is clothing suitable fibre made from the wood. In Figure 4 presented renewable energies, the share of renewable sources in energy production has steadily increased during last decades in Finland. Some future changes might be in situ, if black liquor utilization will be partly shifted to separated lignin.

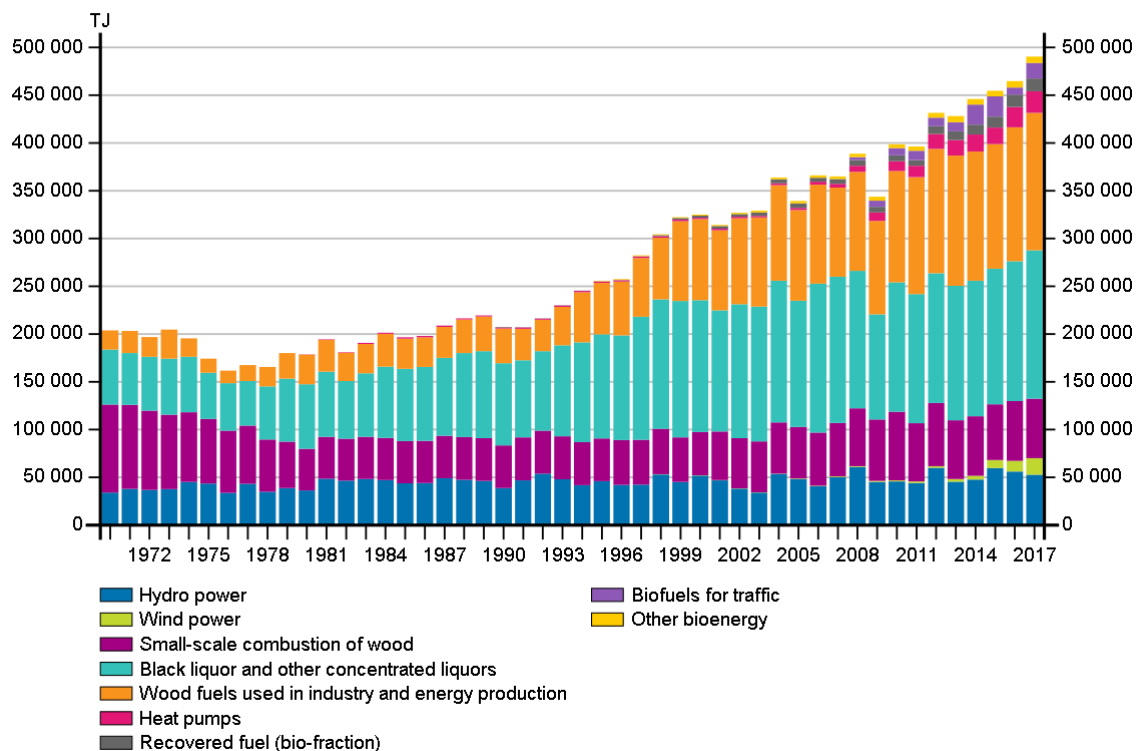


Figure 4 Consumption of renewable energy sources in Finland (Findicator 2017.)

In Finland year 2008 there were 15 kraft recovery boilers with startup time from 1965 to 2008 and median startup year 1989. Renewable based products need energy heat in the form of steam and electricity to be manufactured. Boilers main function is to generate these. Black liquor is still the most significant fuel of bioeconomy, it is a biomass fuel. Other significant type of biomass boiler is the bark combustion boiler. (Statistics Finland 2017)

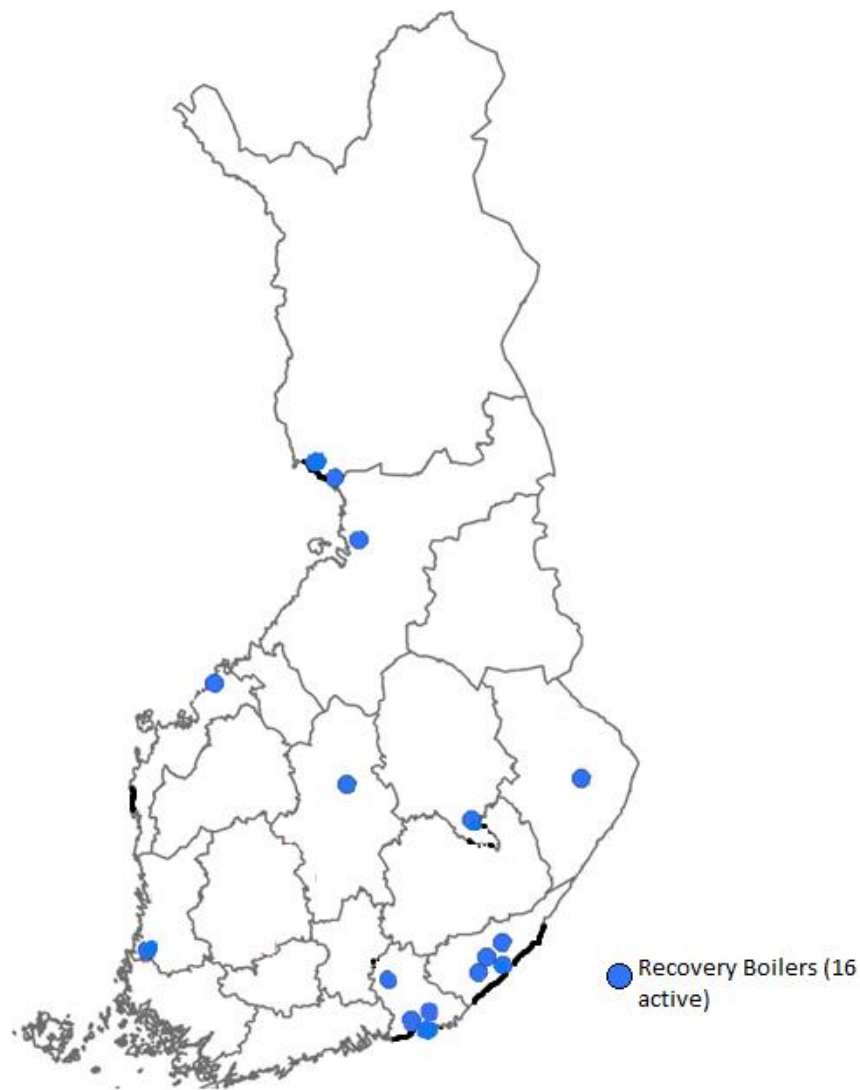


Figure 5 RBs active in Finland 2018 – there are 16 of them operating. Sunila mill and Imatra mills have two operating boilers in operation.

2 WOOD SPECIES AND COMPOSITION

Wood species are many in forest-covered countries. This chapter only examines the wood species that are possible to use in chemical pulp in the industry of Finland and are grown in Nordic forests. There are some main wood species found and used by forest industries. General division in wood species to two categories are hardwood and softwood. Statistically are usually written spruce, pine and softwoods.

Wood is a three-dimensional biopolymer composite composed of an interconnected networks of cellulose, hemicellulose and lignin and minor amounts of extractives and inorganics. Naturally, main component of a living tree is water. Dry-weight basis wood cell walls consist mainly of sugar-based polymers carbohydrates that are combined with the lignin. Elemental composition of dry wood has 50 % carbon, 6% hydrogen, 44% oxygen and trace amounts of inorganics. (Rowell et al. 2005, 36)

Section 2.1 will be some specific data given from wood species and their composition. Subsection 2.1.1 has some pictures of wood cells and the construction of wood. Subsection 2.1.2 pulp mills wood consumption is presented.

2.1 Wood species

We have many wood species in paper and pulp industry to be feed to the pulp mill and even more in whole forest industry including sawmills, furniture– and joinery industry. Usage of different wood species is important for obtaining desirable product. Territorially there are significant differences on which wood species are growing for lodging. Zone of supply is limited for environmental and economic reasons, too long driving distances one reason.

Table 1 presents all the domestic grown and utilized wood species in pulp industry in Finland.

Table 1 Common wood species in Finnish forests that are used as raw material in kraft pulp mills

pine, scots pine	<i>Pinus Sylvestris</i>
spruce, norway spruce	<i>Picea abies</i>
birch, silver birch, downy birch	<i>Betula pubescens</i> and <i>Betula verrucosa</i>
aspen	<i>Populus tremula</i> , <i>Populos tremuloides</i> and <i>Populus tremula</i> × <i>tremuloides</i> Michx
alder, grey alder, black alder	<i>Almus incana</i> , <i>Almus glutinosa</i>

From the table 1 presented species pine, spruce and birch are the main three by total mass. In table 2 is presented the main trees chemical composition.

Table 2 Chemical composition of wood species [m%] (Henriksson et al.2009, 24)

<i>Species</i>	<i>Extractives</i>	<i>Lignin</i>	<i>Cellulose</i>	<i>Glucomannan</i>	<i>Xylan</i>	<i>Other polysacch.</i>	<i>others</i>
<i>Norway Spruce</i>	1,7	27,4	41,7	16,3	8,6	3,4	0,9
<i>Scots Pine</i>	3,5	27,7	40,0	16,0	8,9	3,6	0,3
<i>Birch</i>	3,2	22,0	41,0	2,3	27,5	2,6	1,4

Birch has lower lignin content than softwoods. Figure 6 presents CEPI collected data in year 2017 in CEPI countries.

In EU pine, spruce and birch account 86% of total wood species consumed in pulp and paper industry. CEPI countries are EU countries plus Norway. CEPI includes pulp, paper and board.

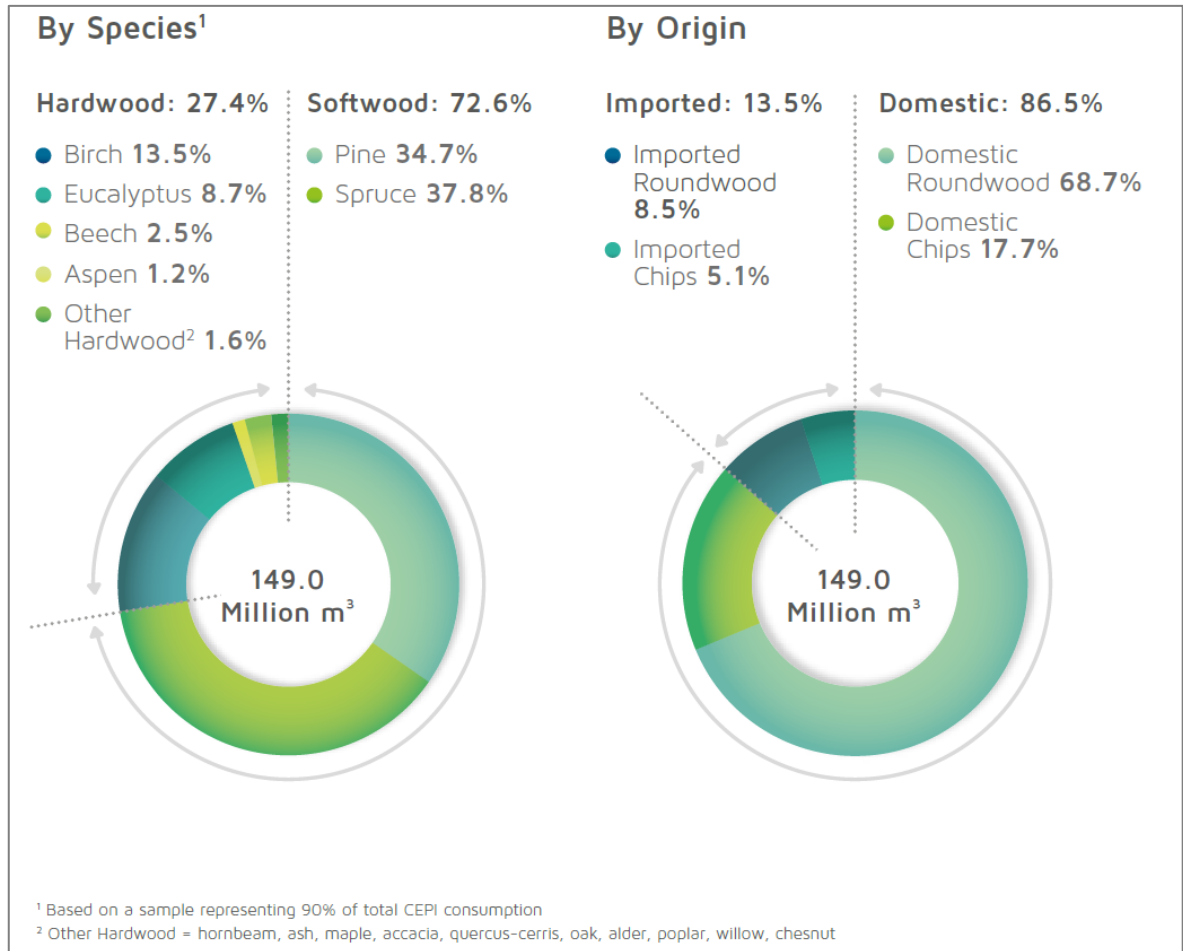


Figure 6 Main species consumed in CEPI countries in year 2017 (CEPI, 2017)

Literature offers large data of many main wood species and their average content. All the continents have history of different species used in industries and new raw materials are under research, for example non-wood/by-product materials for instance Malaysian oil palm empty fruit punches. Included in this thesis are most significant data in matter of the thesis.

2.1.1 Pictures of wood cells and construction

Figure 7, presented differences between typical softwood and hardwood, not only chemical composition is different, but also outlook in growing stage and in the microscopic image is different between hardwood versus softwood. Structure of hard wood and softwood is different at the cell level. In Figure 8 is shown scots pine cell wall; a schematic picture. Soft woods mostly contain tracheid (Jääskeläinen&Sundqvist 2007, 36). Other wood cells in softwood are ray parenchyma cells and epithelial parenchymatous cell.

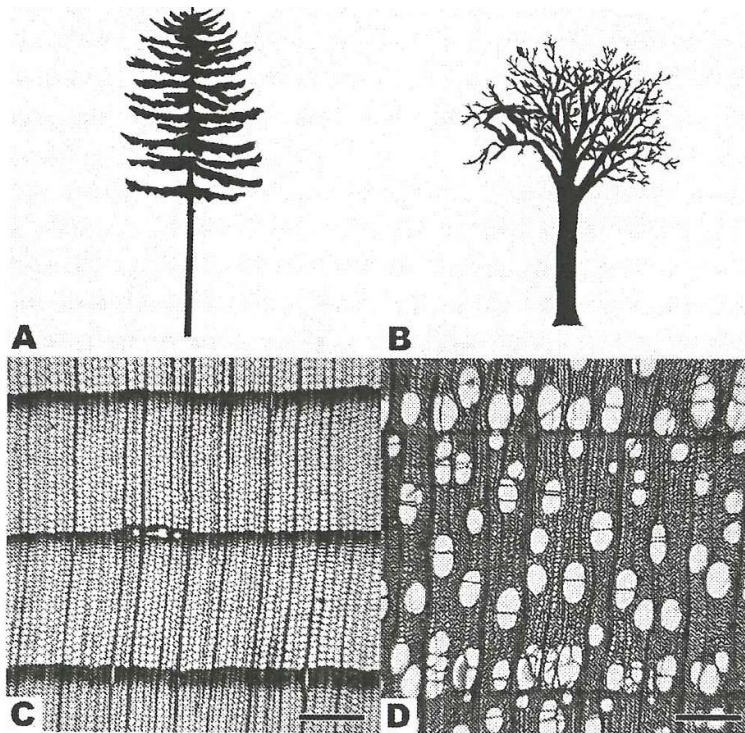


Figure 7 A softwood configuration B hardwood configuration C Douglas fir's transverse section, typical softwood D transverse section of yellow birch a typical hardwood. Scale bar in C and D is 300 μm. (Wiedenhoeft 2005, 11)

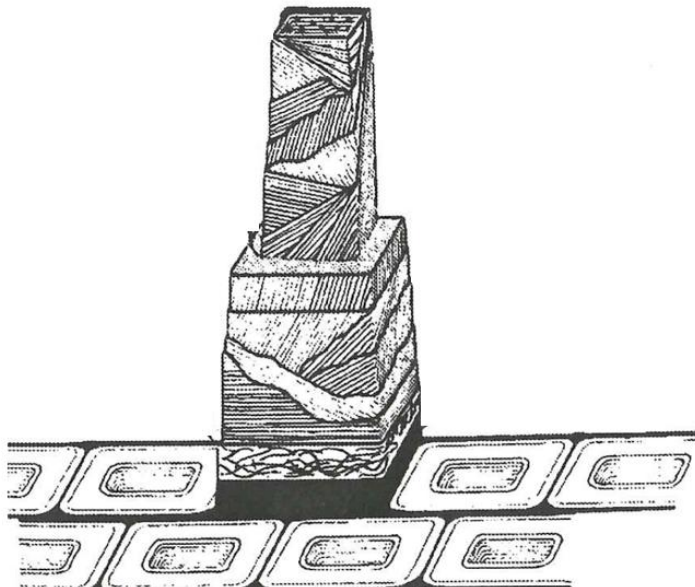


Figure 8 Schematic picture of cell wall of the Scots pine (Rowell et al. 2005, 51)

Softwoods have resin canals. Around those canals are epithelial cells (Jääskeläinen&Sundqvist 2007, 41). Juniper tree has not resin canals, but pine and spruce have resin canals, though all softwood contains some amount of resin and extractives, while parenchymatous cells contain those both (Jääskeläinen&Sundqvist 2007, 41). Wood cell wall chemical constituents vary in depending on part of the cell wall. Genetics make plants to grow certain way and interact with the environment, drawing to its parts different chemicals more than other to grow. Trees are living organic matter and they have some minor inorganic content, specially tropical and subtropical trees may contain more inorganics up to 5% mass content (Jääskeläinen&Sundqvist 2007, 105).

Hardwoods have leaf drop annually. Leaf drop needs efficient fluid and nutrient transference. There are more kinds of wood cells in hardwoods than softwoods. Hardwoods have fibers, tracheid, vessel elements and parenchymatous cells. Vessel elements move effectively water radially in hardwoods. (Jääskeläinen&Sundqvist 2007, 41–46)

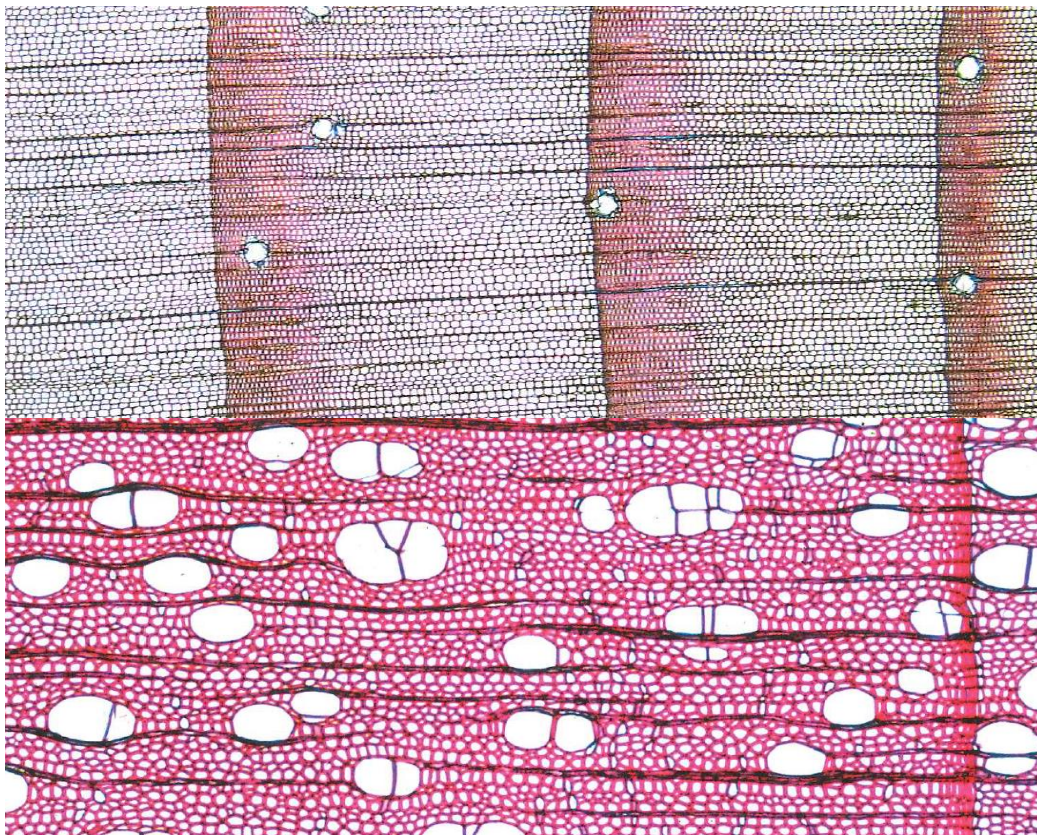


Figure 9 Upper crosscut is pine, down crosscut is birch. Birch has main part is fibre. Pine has those resin canals white holes, difference is macroscopic between these two species (Kärkkäinen 2007, 39, 49). Photos by Pekka Saranpää.

Larger part of the lignin is in cell walls and majority of cellulose exist in inner cell. This is demonstrated in figure 10. Layers are in following order from inside to outside lumen, S_3 , S_2 , S_1 , primary wall and middle lamella. Middle lamella has the highest content of lignin.

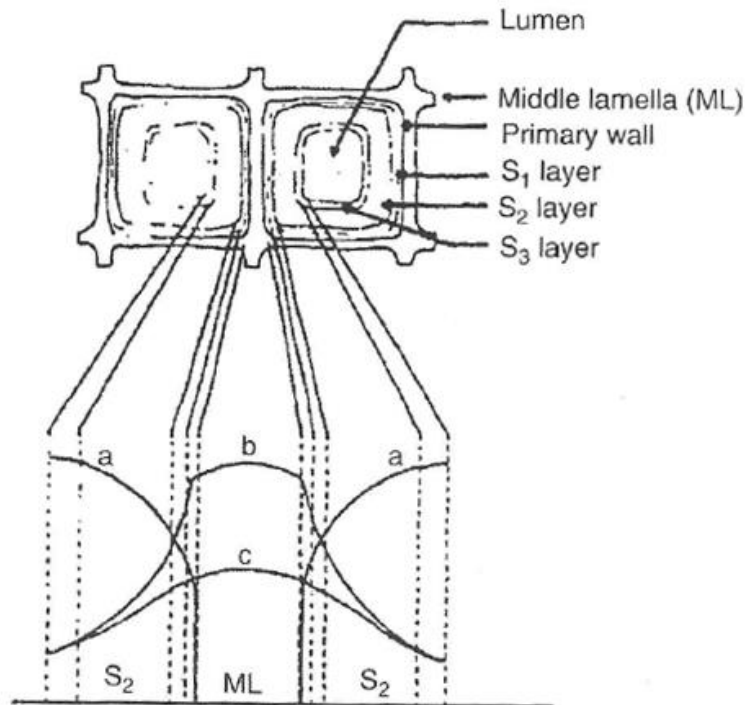


Figure 10 Wood cell has relative amounts of a) cellulose b) lignin c) hemicellulose Lumen, Middle lamella primary wall, S_1 layer S_2 layer and S_3 layer are typical in literature presented wood cell division. (Williams. 2005, 148)

Pulp is in the cellulose, which is at its highest in the S_2 layer. For knowledge of some general parts of the wood, terms used to defined wood bark, wood trunk is in figure 11.

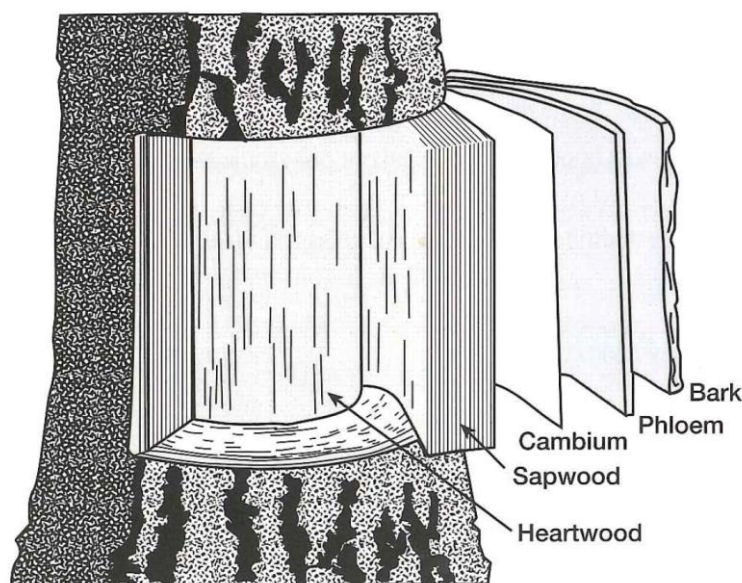


Figure 11 Bark is debarked before pulping. (Kellomäki 2009, 21)

Direction from outer layer bark, phloem, cambium, sapwood and heartwood. Bark is dead wood cells that protect wood. Bark has 30 – 40 % extractives from dry content and inorganics content is varying between 2 – 10 % (Jääskeläinen&Sundqvist 2007, 110).

2.1.2 Wood consumed in chemical pulp mills in Finland

Natural Resources Institute Finland provides large statistical information of forest management and consumption. They have large set of statistical tools for wood consumption in Finland. Division on chemical pulp industry wood is to pine logs, spruce logs, hardwood logs, pie pulpwood, spruce pulpwood and hardwood pulpwood. Chemical pulps also use some minor amount of imported chips and other imported resources. Sawmill chips and dust or such forest industry by products are being used as raw material in pulp mills. Logs, which are forwarded to pulp manufacturing, goes expressly to different kinds of pulp quality, instead of the regular target, sawmill. Usually this kind of logs are the substandard logs and majority of these logs are unsuitable for high quality timber. In table 3 is annual (2016) wood consumption of chemical pulps of Finland. Figure 12 is diagram made from the table 3. Almost half of the whole raw material was softwood origin.

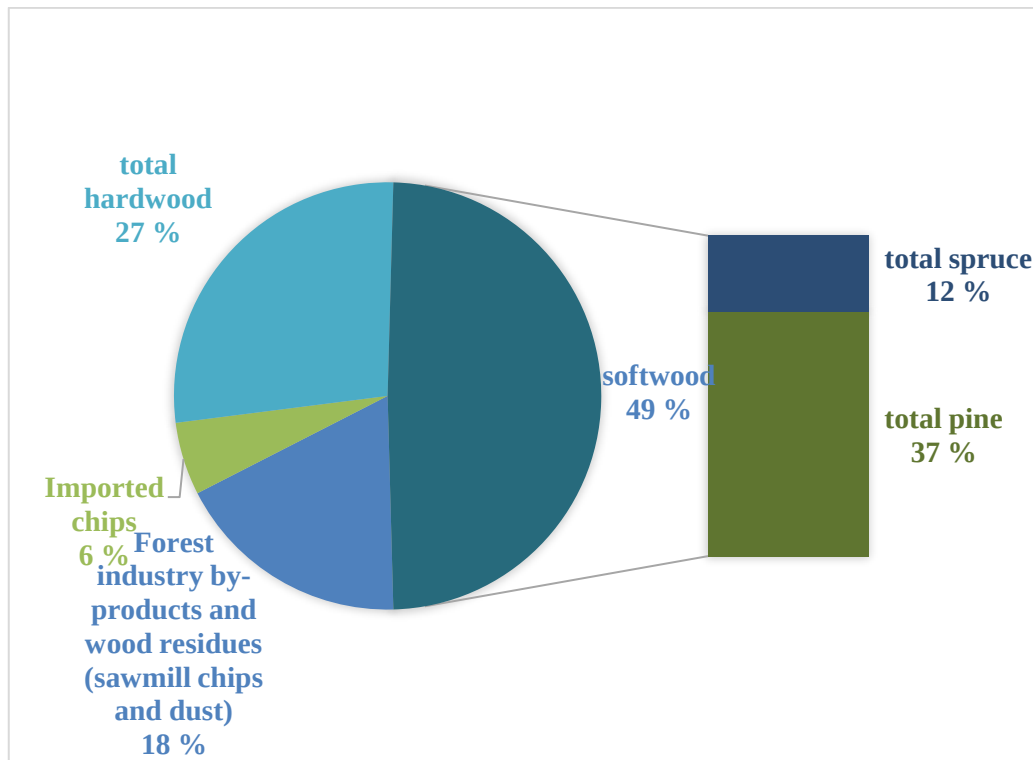


Figure 12 Wood raw materials in chemical pulps in Finland year 2016 (Luke, 2017)

Table 3 Forest industries' wood consumption (1000 m³) by year, origin and assortment in chemical kraft pulp mills year 2016 (Luke, 2017).

	Pine logs	Spruce logs	Hardwood logs	Logs, total	Pine pulpwood	Spruce pulpwood	Hardwood pulpwood	Pulpwood, total	Imported chips	Roundwood, total	Forest industry by-products and wood residues (sawmill chips and dust)
2016											
Domestic wood											
..Chemical pulp industry	24	16	26	66	14,033	3,855	6,518	24,406	..	24,472	6,904
Imported wood											
..Chemical pulp industry	-	-	-	-	379	651	4,040	5,070	2,127	7,197	..
TOTAL											
..Chemical pulp industry	24	16	26	66	14,411	4,506	10,558	29,476	2,127	31,669	6,904

2.2 Elementary composition and macromolecular content of wood

Energy content and specific analysis of different fuels tell about these properties of energy release in redox reaction of combusting the wood. When compared to fossil fuel generically states that carbon content is lower in around 49 %, table 4.

Table 4 Wood has significant content of oxygen and hydrogen in it compared to many other fuels, like anthracite (Koch 2006, 22originated from Haygreen &Bowyer 1982)

Elementary composition of wood	
	Content [%]
Carbon	49
Oxygen	44
Hydrogen	6
Nitrogen	<1
Inorganic elements	<<1

In table 4 is generalized elemental composition, wood specific depending on specie, age or growth place changes analysis results. Table 5 presents collected data from various sources about wood species properties.

Table 5 Some collected information on wood species wood cell wall and macromolecular substance content [%] and fiber length, diameter, wall thickness and density.

	Cellulose	Hemicelluloses	Lignin	Extractives
softwoods	40 ...44	30...32	25...32	NA
spruce	42	28	28	3
pine	42	26	27	5
birch	40	37	20	3
hardwoods	40...44	15...35	18...25	NA
birch	40	37	20	3
Fibre dimensions	length, mm [aveg., (range)]	Diameter μm [aveg., (range)]	Fiber wall thickness(earlywood/late wood)	density [kg/m³]
Softwood	3,3, (1,0-9,0)	33, (15-60)	NA	NA
northern pine	2,9	30	2,1/5,5	390 - 420
spruce	2,9	20-30	2,3/4,5	380 - 390
Hardwood	1,0, (0,3-2,5)	20, (10-45)	NA	
birch	1,1, (0,8-1,8)	22, (18-36)	3	510
aspen	1,2	20	4,3	350

Interesting fact from the table 5 is that early wood has totally different fiber dimensions than a later wood. In usual context, wood is lodged in late wood conditions and values presented are late wood properties, for this thesis fiber dimensions are less important.

2.3 Spent kraft liquors from different wood species and composition

As explained in Section 2.1 wood species dry wood has varying chemical composition, then after cooking process resulting spent kraft liquor from different wood species has different content too. In table 6 is main components in the spent liquor from kraft pulping for the two main wood species pine and birch. These values are kg/ton of pulp produced.

Table 6 Two main trees used in mill and spent liquor characteristics as approximate values kg per produced ton of pulp (Gellerstedt 2009, 184).

Component	Pine	Birch
Lignin	490	330
Carbohydrate derived		
- <i>Hydroxy acids</i>	320	230
- <i>Acetic acids</i>	50	120
- <i>Formic acids</i>	80	50
Turpentine	10	–
Resin and/or fatty acids	50	40
Misch. products	60	80

In table 6 it is noticed that birch has no turpentine content and lignin content of pines liquor is higher in proposition. Turpentine is calculated from digester relief condensates (Sjöström 1993, 241). More specific distribution of the organic material in softwood (pine) and hardwood (birch) kraft black liquor is presented in table 7.

Table 7 Pine kraft black liquors dry solids typical distribution to organic chemical components and birch (Sjöström 1993, 158, Krotscheck&Sixta 2006, 968, Alén et al. 1992, 337, Alén1998)

fraction/component	content (% of dry solids) Pinus sylvestris	content (% of dry solids) Betula pendula
Lignin	46	38,0
Hydroxy acids		
Glycolic	3	2,8
Lactic	4,5	2,8
3,4-Dideoxypentonic	3	1,4
Glucoisosaccharinic	10,5	4,2
2-Hydroxybutonoic	1,5	7,0
3-Deoxypentonic	1,5	1,4
Xyloisosaccharinic	1,5	2,8
Others	4,5	4,2
Formic acids	8	5,6
Acetic Acids	5	12,7
Extractives	7	4,5-5,6
Other components	4	11,3-12,4

Inorganics in black liquors are typically are 28 % form the total amount mass content, where sodium bound to organics is 12% and inorganic compounds 16% (Krotscheck&Sixta 2006, 968). Figure 13 pie chart is one general approach to hardwood and softwood organic constituents of black liquor.

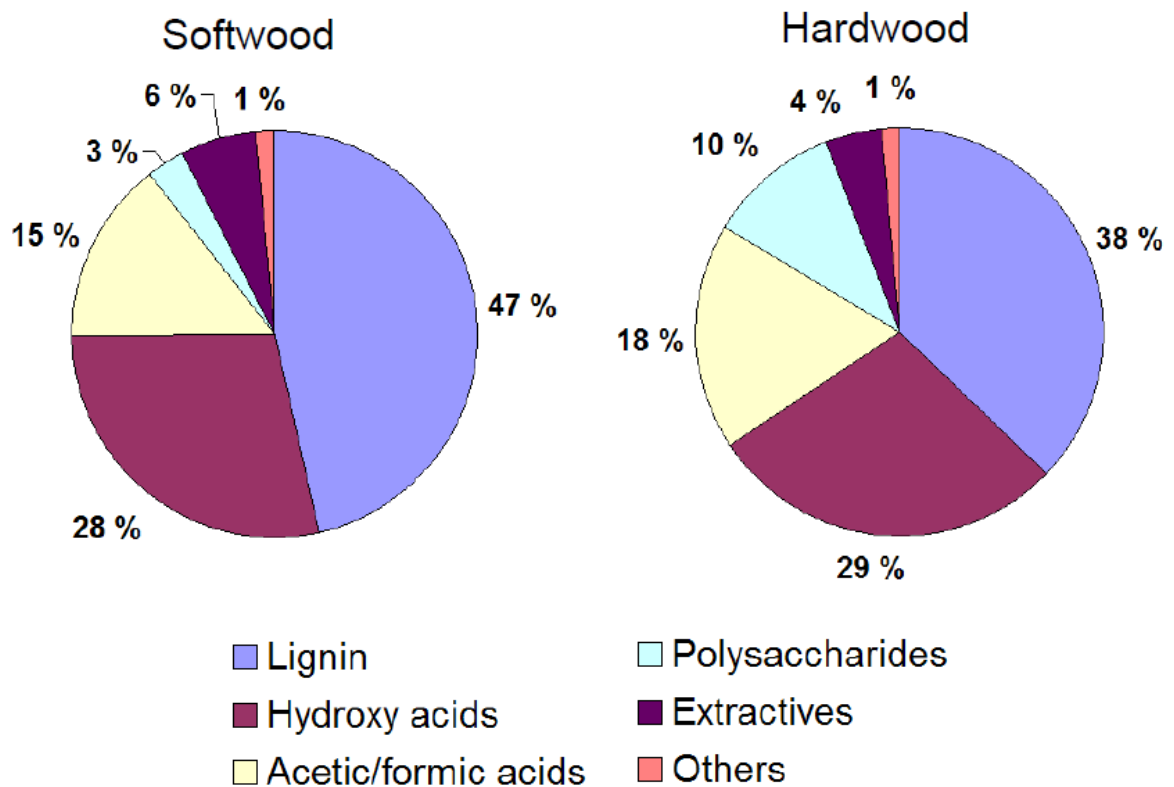


Figure 13 Diagram presenting distribution of black liquor organics, approximated (Niemelä et al. 2010).

As hard wood has different chemical composition than softwood species therefore compounds in the flue gases are different. In addition, one reminder is that processes are not perfect in matter of dissolving chemical pulp (cellulose) perfectly. Black liquor contains some trace amounts or smaller amounts of cellulose and hemicellulose and chemical pulp produced contains after pulping some trace amounts or smaller amounts of lignin and hemicellulose. Uncertainty is that the actual content of the black liquor in every pulp mill varies and is modified during running the pulper. Resulting black liquor from Scandinavian wood species is presented in table 8.

Table 8 Scandinavian wood based black liquors. (Vakkilainen 1999, 15)

	Softwood (pine)		Hardwood (birch)	
	Typical	Range	Typical	Range
Carbon, %	35.0	32–37	32.5	31–35
Hydrogen, %	3.6	3.2–3.7	3.3	3.2–3.5
Nitrogen, %	0.1	0.06–0.12	0.2	0.14–0.2
Oxygen, %	33.9	33–36	35.5	33–37
Sodium, %	19.0	18–22	19.8	18–22
Potassium, %	2.2	1.5–2.5	2.0	1.5–2.5
Sulfur, %	5.5	4–7	6.0	4–7
Chlorine, %	0.5	0.1–0.8	0.5	0.1–0.8
Inert, %	0.2	0.1–0.3	0.2	0.1–0.3
Total, %	100.0		100.0	

Those values presented in the table 8 are good estimates for combustion calculation in Scandinavian kraft pulp mills. In Appendix II presented wood composition is used in calculation.

3 PULP MILL ENVIRONMENT AND FLUE GAS EMISSIONS

Forest industry is investment intensive business. In industry, like pulp industry, energy efficiency plays crucial role, use of big data and industrial internet have great significance on making revenues from the work. Many research programs are currently going on around bioeconomy and forest industries, this research work is about flue gas, which is a product flow, because of making wood based products. Calculations on combustion gas depend on the amount of black liquor to be burned and content of the black liquor, Section 2.3.

Certain terms are synonyms to each other; stack gas, flue gas, exit gas, combustion gas and chimney gas. In here all mean similar gaseous emissions exiting stack to the surrounding atmosphere. Special attention from the public and thereby from industry needs to be added to these air emissions. Monitoring is a key in industrial air pollution control and measurement. In Finland, forest industry spent quite an amount in environmental protection. Since year 2007 to 2016 on average 150 million euros was spent per year to the environmental protection technologies and maintenance. Figure 14 present years 2007 to the year 2016 environmental protection expenses in Finnish forest industry. Operational costs cover all the costs during operation of air pollution control devices and investments include R&D in environmental field together with actual investments. Environmental protection investments include waste management, water, air and other environmentally needful investments in industry.

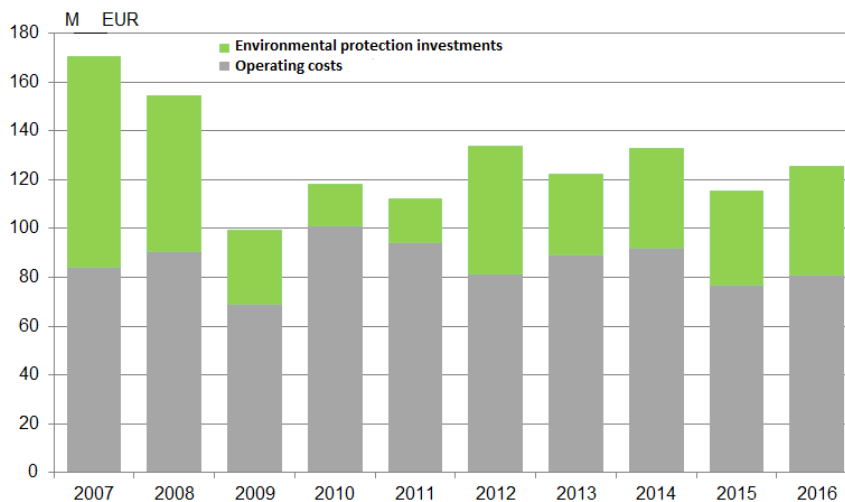


Figure 14 Forest industry Finland spends continually money to environmental protection on its mills and other related activities. (Finnish Forest Industries 2017).

These investments to environmental protection have had influence, air emissions have reduced from year to year. Historically it is known that often malodorous gases would have been recorded from near pulp mills by nearby dwellers and some bad reputation of area still exists due to smells, while now situation is much improved. Investments to air pollution control and measurement of these atmospheric emissions have been handled efficiently well. Later years Finland had less air pollution from its forest industry. Sulphur gaseous emissions are significantly reduced as can be seen in figure 16, which Finnish Forest Industries have made from years 1992 to year 2016. Nitrogen oxide air emissions are much more difficult to be lowered, but especially energy production has been lowering its emissions to the atmospheric air.

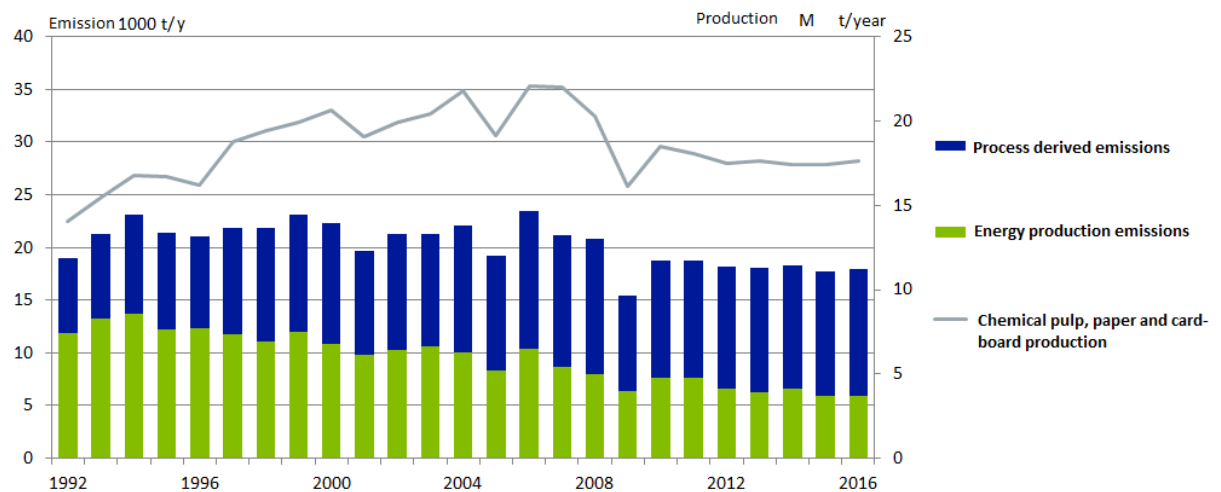


Figure 15 Nitrogen oxide emissions yearly 1992 – 2016. (Finnish Forest Industries 2017).

Nitrogen oxides did not have drastic drop, but improvements are made, figure 15. Nitrogen oxides are a function of combustion efficiencies and furnace temperatures, therefore achieving higher efficiencies in power plant thermodynamic cycle is a trade between power efficiency and polluting effects of nitrogen oxides.

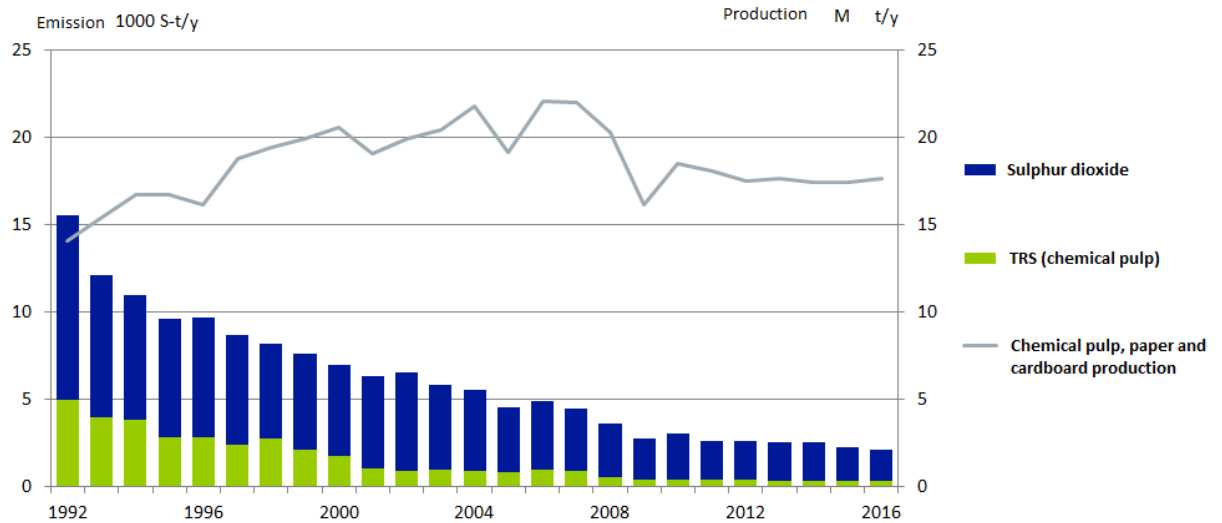


Figure 16 Sulphur gaseous emissions have been successfully reduced during the years. (Finnish Forest Industries 2017)

In figure 16 are sulphur gaseous emissions during last years of operation in forest industries. Sulphurous emissions have been reduced significantly from the past. Especially TRS that is related strongly to odours is lowered.

Figure 17 shows particulate matter (PM) emission reduction in the past 24 years in Finnish forest energy. Particulates are captured out from the flue gas by electrostatic precipitator.

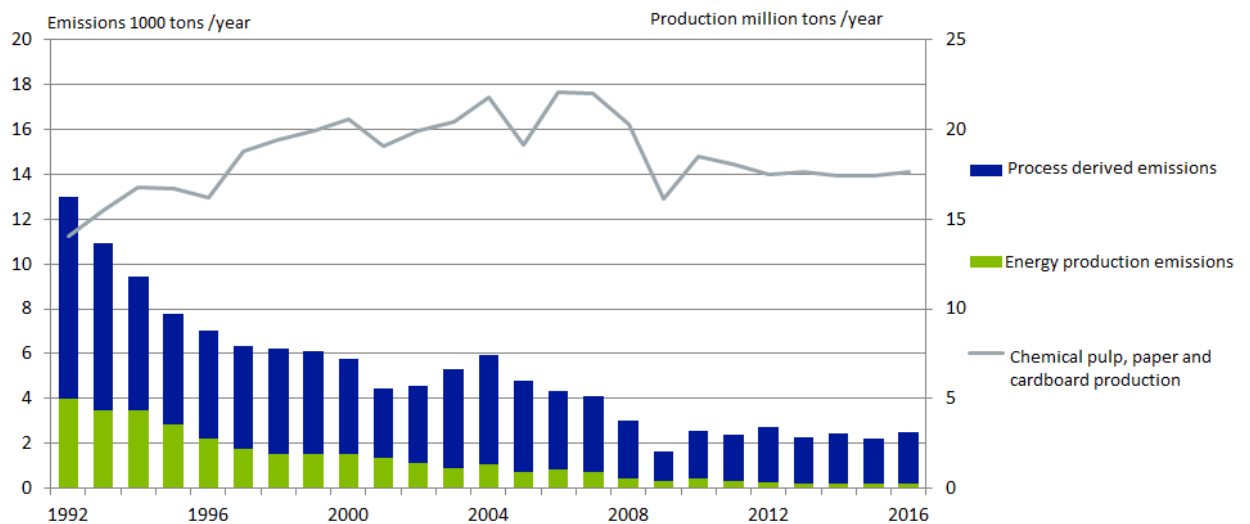


Figure 17 Emission of particulate matter in the Finnish forest industry years 1992 – 2016. (Finnish Forest Industries. 2017)

3.1 Kraft process mills

3.1.1 Recovery system

Functions of recovery system are

- inorganic pulping chemicals recovery
- incineration; energy content recovery from dissolved organic material
- organic by-products capture (tall oil)
- prevention and control of pollutants. without recovery system waste water load would be higher inside the mills environment and as well as emissions to air

Important to discussion to this thesis is the last point, which signifies that RB releases emissions, but without operation would cause even more emissions in paper production as first three points are products. Greatly emphasized in this thesis is that recoverable black liquor makes kraft pulp mills self-sufficient in heat and electric energy. Organic by-products are turpentine, tall oil and methanol and those can have economical boost to the economy. To remind recovery system the main processes in recovery cycle are evaporating black liquor (raising the dry solids content), incineration of the evaporated liquors in a RB and causticizing, this includes the lime regeneration. (BREF PP 2015, 204)

3.1.2 Total sulphur and higher solids content of the black liquor

For effective reduction of both TRS and SO₂ emissions in to fire black liquor in a higher dry solids content. Comparing this to the CNCG plus the fuel oil burned is more significant source of SO₂. SO₂ is formed in mainly through oxidation of H₂S and carbonyl sulphide in lower furnace. Black liquor is the major source for this. Higher dry solids content makes higher temperature, air is supplied and mixed well with fuel, where emissions are lower.

Nitrogen oxides NO_x are reported and calculated with given parameter, combustion gas amount, real oxygen content and the reference oxygen content. Yearly averages are 120 –

200 mg/Nm³ (BREF PP 2015 795). Increased dry solids content of the black liquor has increased proportional NO_x concentration in the flue gases.

Bioenergy is at the moment largest source of renewable energy consumed in Finland. Bioenergy is mainly wood-derived fuels. In the point of power plants losses or energy analyst flue gases exiting a boiler are loss. Exit gases that leave the stack to the atmosphere are not utilized by anyone. Heat and power generation using biomass is part of biorefinerys working environment.

Kraft mills use sulphate process. Pulp making, paper making, cardboard manufacturing, timber or modern biorefining type of bio-based products and biofuels are well defined and explained in literature. Finnish forest industries have moved towards traditional timber and pulp in production. Pulp mills include lime kiln, white liquor preparation (causticizing), bark combustion facilities, evaporator, cooking and washing. Overview to forest industries whole processes and chemistry and physics can be found from *Bajpai 2010, Papermaking science and technology* book series and *Handbook of Pulp*. edited by Herbert Sixta. A large bibliography is dedicated for chemical pulp making only. Figure 18 represents general cycle of kraft recovery cycle.

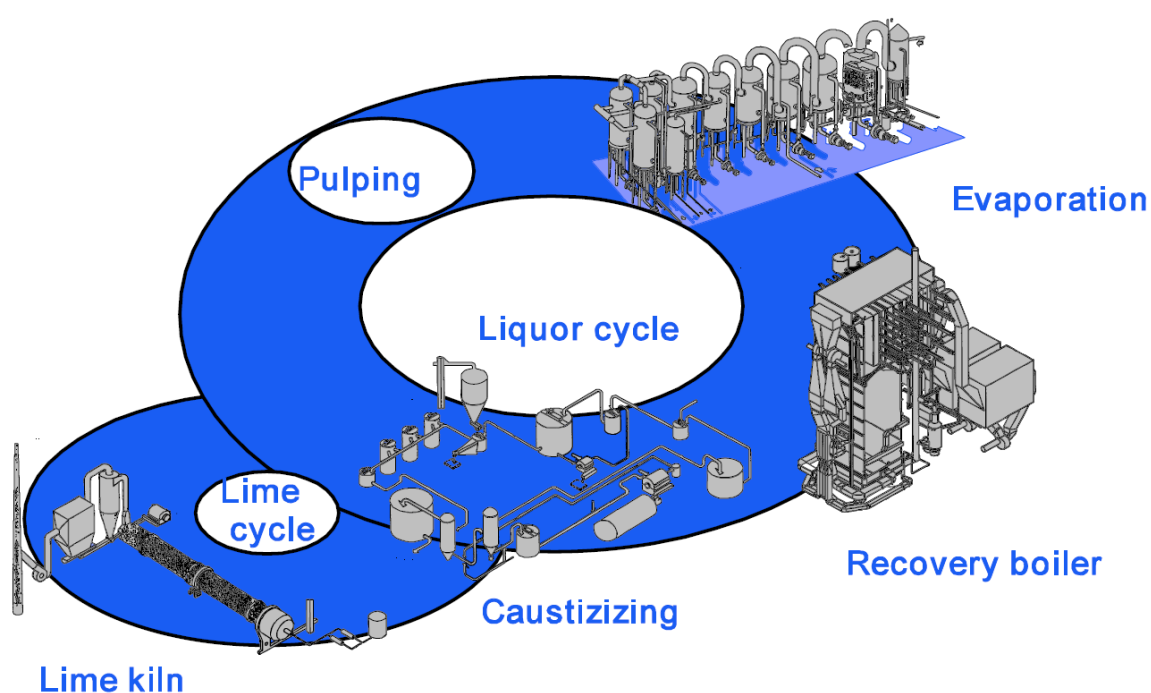


Figure 18 Cycles of kraft recovery (Kivistö&Vakkilainen 2010, 58)

Odorous gases from all the cycle parts are forwarded to combustion. Disposal of odorous vent gases from all areas of the pulp mill is needed for sufficient operation (Krotscheck&Sixta 2006, 974). Figure 19 shows all the steps in making of chemical pulp. On every mill has certain own steps in fibre line as well in the chemical recovery. Data on black liquor quality and smelt can be obtained through analyses.

Pulp has reputation of bad odour releases by the public. The odour is caused by some of the sulphur containing gases and they are low threshold gases to be detected by human. Some of these malodorous gases are because of decaying organic and biological matter. Decomposition is done in favourable conditions by decaying and putrefying bacteria. RB is commonly one source of these gases (TRS). Levels of concentration of these gases might be lower and “safe” for human breathing in, but nuisance by some public is possible to notice. (BREF PP 15, 189).

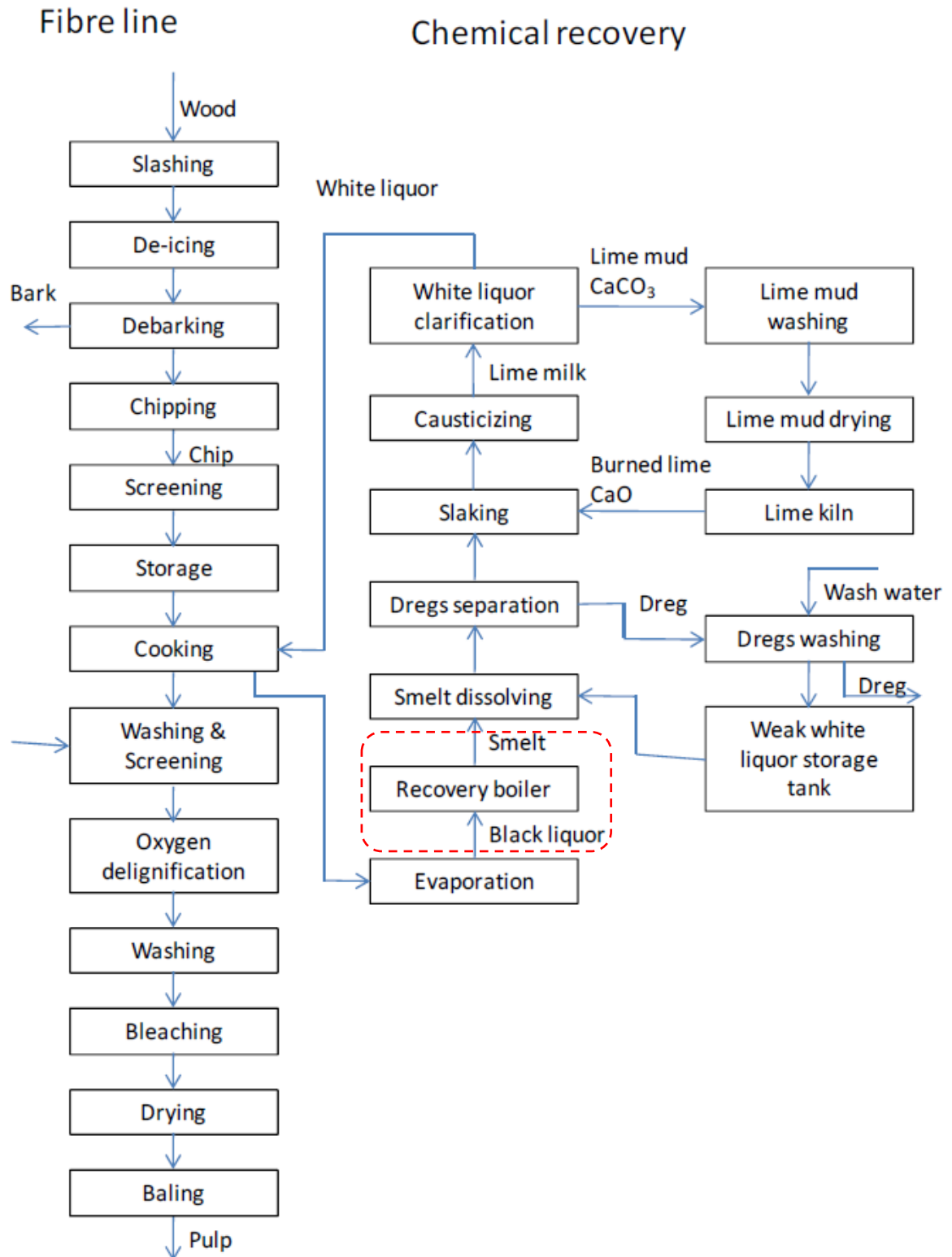


Figure 19 The chemical pulping process and RB placement in red. In the courtesy of (Kivistö&Vakkilainen 2010, 33)

The focus due to limits of the thesis is marked off red in figure 19. RB burns black liquor to recover chemicals used in pulping and produce steam by burning organic matter to make

electricity, process heat used at operation of the mill. External heat and power will be sold out to the consumers. RBs in Finland have significant role in electricity market as they are base-load power stations in the electricity grid mix. District heating in Finland is necessary in colder months to keep housing warm, RB produces hot water to the district heating pipeline. RB boiler might not work as external heat supplier in the tropical communities, where district heating market is low. Odorous gases from the pulping processes will be burned to simpler compounds. After combustion there is smelt, which contains inorganics used sodium sulphite (Na_2S) and sodium carbonate (Na_2CO_3) and unburned organics and trace compounds (Kivistö&Vakkilainen 2010, 60 – 61). Knowingly, the world is changing rapidly, so is forest products yields and biofuels high combustion efficiency the goal for utilizing most of the available mass and energy. Higher dry solids content gives better results in combustion and recovery of chemicals. NaS_2 and NaOH are the cooking chemicals.

3.2 Influencing factors affecting pulp mill combustion gas amount

Largest flue gas flows are from RB. Lime kiln has lower flows of material to the boiler than RB. As given by reported value for RB flows are range of 4625 – 8250 Nm^3/ADt lime kiln has values of 303 – 1000 Nm^3/ADt (not reported in same reference oxygen level). Given values from officials should be correct. We may use produced mass of pulp, which should not be muddled with the capacity of pulp production a given year. Production is either lower than capacity or higher than assumed. Annual emitted masses of NO_x , ash and SO_2 are obtained statistically. There are various reasons why pulp mills emissions or flows are affected. Wood species influence was described in Chapter 2.

3.2.1 Yield of chemical pulp

Yield of pulp means the mass fraction of the incoming wood that is converted to pulp in mills. The higher the yield of the chemical pulp, the lower are the flue gases per ADt. Also for economic reasons the mills want to have the highest possible yield from the wood that they have bought. This is an economical question also and yields are not reported along other monitored numbers from the pulp mills. There is a possibility to estimate the yield by knowing the exact flue gas flow.

Higher amount of cellulose on wood, depending on species the higher the yield also. Here we should compare different wood species, and do some balances on them. Pine, birch and spruce are mainly used in Finnish conditions.

Estimated values for bleached Nordic softwood are around 44 – 46 % and hardwood 47 – 49 %. Eucalyptus has higher yield 51 – 54 % (BREF PP 2015, 110). Varying results for yield are because some mills produce more pulp than the other (BREF PP 2015, 249). Wood species and their differences in yield can effect to the result of NO_x emissions per tonne also specific water borne emissions are lower. It could be said that lower the yield higher the specific emissions.

3.2.2 Process

By process is meant the whole mills material balances, which are affected by the age of the equipment, cooking and chemicals, water circulation and water management. Age of equipment is every unit's age. Bleaching-, cooking- and water chemicals can vary and have also influence to the level of closure in water system in the mill and amount of the bio sludge. As well as recovery units own operation combustion properties and water content of black liquor. Biological treatment at waste water treatment plant dissolved organic matter converts to biomass, which then is sludge. It is constituent of different kind of – fiber sludge is from pre-sedimentation tank, excess sludge from activated sludge plant, dewatered sludge may be combusted in bark boiler or some cases in RB. In the future biogas plants will take care of this type of biomass. (BREF PP 2015, 102)

Should it be reminded that there are on-site power plants, auxiliary burners and CHP that add amount of released emissions to air (BREF PP 2015, 254). In this research only RB's emissions to air is under study. Collecting the malodorous gases from the whole mill is made and are forwarded to treatment, treatment is often oxidation in RB. Diffuse emissions of these sulphur containing gases should be avoided and monitored by the staff (BREF PP 2015, 254).

3.2.3 Boiler overload and buffering tanks

RB is designed to certain point, where running combustion is better for many reasons. If overloading occurs SO_2 concentration rises. Buffering incoming hot liquids in large enough capacity storage tank helps in controlling flow inside to the RB. It is said that modern kraft pulp mills are more than self-sufficient in heat and electricity (BREF PP 2015, 204).

3.2.4 By-product recovery and handling

Overload problems could be avoided in the future by increasing mass and sort of by-products, especially separated lignin by-products. Other by-products such as tall oil soap, turpentine, bark, methanol, sulphuric acid, biogas or product gas depending on mill can be recovered or fired. By-product separation and extraction reduces combustion gas flow from the RB, if compared to case without.

4 REPORTING AND MEASURING FLUE GAS FLOW AND EMISSION LEVELS ASSOCIATED

4.1 Reporting emissions and technical influences to atmospheric flows

Reporting emissions is done by environmental chiefs of the company, they have to conclude environmental report from the emissions from the pulp mills environment. Technical issues influence to the atmospheric pollution levels as well composition of the flue gas. Such a technical devices and methods are scrubbers, boilers burn control and those multiple usually simultaneous impacts of the direct measurement.

Industrial emissions directive 2010/75/EU is one directive inside EU that does make RB's operation lawful operative process boiler.

Best Available Techniques reference document (BREF) is the document that most of the mills follow accordingly. BREF has several suggestions to make industrial emissions lower in making certain things. First of all energy consumption of pulp and paper production sector is significant and verifying emissions is a key to make conclusions on where certain mills efficiencies level off. Pulp and paper consumes 5,7% of total industrial energy use. Heat energy goes to heating of water, wood chips, pulp fibres, air and chemicals to process temperature, cooking liquor heating, evaporating water from spent kraft pulping liquors in the evaporators before the firing, evaporating water from pulp or paper sheet in paper/pulp machine dryer and drying of coated paper. Electrical power is consumed by pulp beating and refining, drives for machines and other pulp and paper machinery, transports with pumps, fans, belt and screw conveyors, fluid and suspension mixing, on site chemical preparation, vacuum pumps, compressors. Increased specific electricity consumption is proven to be due to higher quality requirements of paper, increased speeds in paper machines, new pressing and drying technologies (reduced heat demand though) and tightened environmental requirements (control techniques in waste water treatment and flue gas cleaning). This thesis emphasizes on the need for advanced process monitoring for smooth operation where energy efficiency and pulp production is better. (BREF PP 2015, 76)

Usually announced measurement results are reported in pulp mills reporting in the form of $\text{kg}_{\text{pollutant}}/\text{ADt}$. Annual averages will be reported yearly by summing all the masses, for each time period measured. ADt means air-dry ton of chemical pulp that has 900 kg of bone dry cellulose fibre content and 10% moisture content. Concentration amounts can also be reported as mg/m^3 for certain pollutant again typically as annual average. Flue gas flow per air-dry ton of chemical pulp (Nm^3/ADt) is not typically reported in EMAS or public reports. It is possible to have ton-of-pulp specific value as well pollutant mass per volumetric flue gas flow by dividing annual total pollutant mass flows by annual total pulp production.

The following equation 1 gives relation between the main parameters for estimating annual load of the chemical species emitted (ROM, 2018, 63).

$$E = Q \times c / 100 \times \left(\frac{M_w}{M_{WE}} \right) \times t \times (100 - R) \quad (1)$$

where

- E is annual load of the chemical species emitted (kg/yr)
- Q is the fuel mass flow rate (kg/h)
- c is concentration of the elemental pollutant in the fuel
- M_w is molecular weight of the chemical species emitted (g/mol)
- M_{WE} is elemental weight of the pollutant in the fuel (g/mol)
- t is operating hours (h/yr)
- R is retention factor (wt-%) mass fraction of the elemental pollutant remaining in the combustion process

Confederation of European Paper industries (CEPI) publishes Key statistics annually to give aspect the whole pulp and paper production. In figure 20 is presented environmental impact of the CEPI industries Index is done from the year 1990. Changes have been smaller seemingly in later years, maybe the index should be transferred to closer year than 1990. Indexes are being made by help of equation 1.

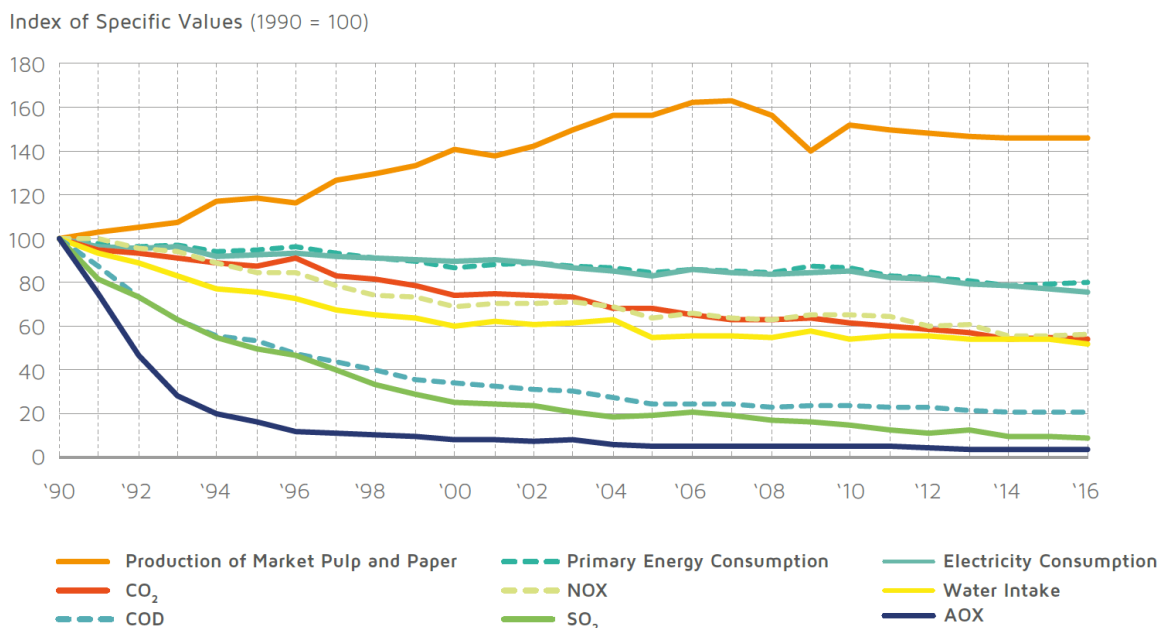


Figure 20 Evolution of Environmental Impacts of the CEPI Pulp and Paper Industry

Coming towards 2020 it should be recognized that more suitable balancing year for such diagrams as figure 20 could be from year 2005, as that year first Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (CMP) CMP 1 was held. CEPI is not publishing the main parameter for matter of this thesis, Nm³/ton of produced dry pulp, which could be modified to the similar index of specific value hopefully in the future.

4.1.1 Averaging emissions to air and key parameters

For averaging the emissions to atmosphere, it is needed to make clarification, how exactly averaging will be done correct. Table 9 explains daily average, average over the sampling period and annual average.

Table 9 Emissions to air and averaging periods (2014/687/EU, 81)

Daily average	Average over a period of 24 hours based on valid hourly averages from continuous measurement
Average over the sampling period	Average value of three consecutive measurements of at least 30 minutes each
Yearly average	In the case of continuous measurement: average of all valid hourly averages. In the case of periodic measurements: average of all ‘averages over the sampling period’ obtained during one year.

Table 9 presented yearly average is interesting, two different cases apply in case of automatic measurement system (AMS) all valid hourly averages are averaged, and periodic samples are averaged from the sampling periods.

4.1.2 Reporting of RB flue gas flow and pollutant concentrations

For pollutant mass concentrations $\text{mg/m}^3\text{n}$ is value. These values should be referred that they are in standard condition (refer to Nm^3 or m^3n 273,15 K and 101,3 kPa) , oxygen content and if water vapour is included in the volume (dry/wet). Water vapour is commonly deducted, but should be always notified. RB in Finland has reference oxygen of 6%. Equation 2 presents way of changing concentrations from measured oxygen level to another. (BREF PP 2015, 58)

$$E_r = \left| \frac{21 - O_r}{21 - O_m} \right| \times E_m \quad (2)$$

where E_r emission concentration in reference state ($\text{mg/m}^3\text{n}$)
 O_r is reference oxygen level (vol-%)
 E_m is emissions concentration in measured oxygen ($\text{mg/m}^3\text{n}$)
 O_m is measured oxygen level in RB duct (vol-%)

For calculating the flue gas flow in the reference oxygen level equation 3

$$\dot{V}_r = \left| \frac{21 - O_m}{21 - O_r} \right| \times \dot{V}_m \quad (3)$$

where $\dot{V}_r$ is standard condition volumetric flue gas in reference oxygen (Nm³)
 $\dot{V}_m$ is standard condition volumetric flue gas amount in measured oxygen content, real excess oxygen in % during operation (Nm³)

As can be seen in equation 3 if reference oxygen content is higher than the measured content volume raises, when reporting flue gas flows in reference oxygen state. Measurement methods vary over Europe as well reference oxygen content. In Finland RB and lime kiln are in 6 % reference oxygen content and separate burner for odorous gases in 3 %. In comparison of emission levels, it is essential that the oxygen content is same, especially when comparing between countries, different mills or different burners.

Following table 10 gives good closure to interrelations for concentration and specific emissions. This gives way of changing (as reported emission loads should be consistent) from unit mg/Nm³ to kg/ADt.

Table 10 Conversion of air pollutant from concentration rates to specific rates.

measured targeted emissions concentration in one year mg/Nm ³	a
value from continuous monitoring of concentration, sum of values that are valid mg/Nm ³	b
flue gas flow rate an on hourly basis Nm ³ /hour	c
annual operating time (hours/year)	d
annual off-gas volume Nm ³ /year	e = c×d
pollutant mass per year (kg of pollutant per year)	f = b×e
annual net production (ADt of pulp/year)	g
specific emission factor (kg/ADt)	i = f/g
specific flue gas volume (Nm ³	h = e/g

The calculation of specific loads need the following initial data.

- concentration of pollutant on an annual average (mg/Nm^3)
- exit gas flow rate on an hourly basis (Nm^3/h)
- annual operating time (hours/year)
- annual net production (ADt of pulp/year)

Often mills report emissions they are guided to present normal condition operation of RB. This includes change in load of boiler, normal variations in the input or process conditions, change of grade or quality, interruptions, routine maintenance, and cleaning (cleaning of filters, scrubbers or measuring system), supervision and external measurements. Start-ups and shut down periods are arranged specially. (BREF PP 2015, 41)

4.1.3 Continuous measurement and periodical measurements

Relevant parameters for certain measurement component are pressure, temperature, oxygen, CO and water vapour content in flue-gas for combustion processes. Simultaneous and on same time-frame reported data gives more accurate result for others such as exit gas flow and concentration values. If there is other parameter monitored only periodically and the other continuously mathematically considered results are not dependable enough.

As mentioned before in table 10 emission load to air is result of two things, simultaneous measurement of the concentration and the corresponding average of volumetric flow rate under the standard condition and reference oxygen content. Operational time is reported with comparable emission loads. (BREF PP 2015, 42)

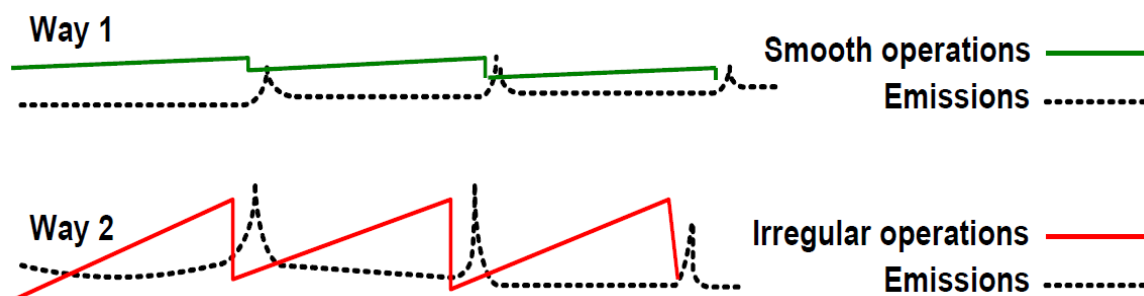
Finland has great variety of options in monitoring for flow fuel analysis, continuously monitored or periodical measurement are implied. Fuel analysis is mathematical model (C,H,O,N,S, ash, moisture and energy content are used as data input), Appendix II contains example of model of combustion for hardwood and softwood. Table 11 shows collected methods in Finland for RB. (BREF PP 2015, 52–54).

Table 11 Adapted from BREF PP 2015, 54

Parameter	Recovery boilers typical monitoring systems in Finland
Flow	fuel analysis, continuously monitored, periodical measurement
SO ₂	continuously monitored, periodical measurement
TRS or H ₂ S	continuously monitored, periodical measurement
NO _x	continuously monitored, periodical measurement
Dust	periodical measurement, (continuously trials evolving)
CO	periodical measurement
Heavy metal	periodical measurement
Dioxin/Furan	periodical measurement

It is reported that for flue gas flow in Finland ultrasonic measurement, S-type Pitot-tube and heat and mass balance are the options (BREF PP 2015, 57).

Periodical measurements are not valuating the whole operation time during the year. Smooth running of the mill adds environmental value. Material efficiency increases, pollution minimization, lowers energy consumption and reduces costs. Controversially repetitive production breaks, technical shutdowns and unplanned releases causes larger emissions, inefficiencies in processes which leads to lower product quality. (BREF PP, 2015, 168)

**Figure 21** Emission levels depend on how mill is operated (Nilsson et al. 2007, 16).

Advices for way 1 mill in figure 21 operation are given such points:

- Computer-based control systems with on-line measurements in monitoring of atmospheric emissions reduces the need for separate emission control, and additionally enables statistical follow-up. Information and automation are there.
- Monitoring of process parameters with continuous measurements demonstrate stability of both manufacturing processes and emission control techniques, allows data to operate close to the optimum process parameters and stabilizing critical process parameters is possible.
- Optimizing production levels in relation to maximum capacity. Full capacity production rate may cause disturbances and uncertainties in emissions control.
- Facilitates should share their information, then right actions in timely manner
- Exceptional conditions should be reported
- Right planning of shutdowns and related actions

With these pre-mentioned actions unexpected peaks and accidental releases can be greatly reduced. All listed methods apply to the old mills and new ones. (BREF PP 2015, 168)

4.1.4 Flue gas scrubber and quality of measurement results

Flue gas scrubber usually increases the relative moisture content of the stack gas, so that concentration measures or other are not in great validity, unless dried sample is used. Flue gases from the RB are typically wet. Indirect method for evaluating flue gas flow is another possibility along direct measurement.

Mainly two reasons are typically affecting measurement results in the RB; on-line measurement device can be covered by ash and other significant difficulty is high moisture content of the flue-gas. (JRC 2015, 52)

4.1.5 Boiler efficiency and burn control

Boiler efficiency affects to certain emission compounds. Also higher efficiency means RB's better environmental– and economic performance. Higher energy efficiency lowers the amounts of additional power or heat demand. Tertiary burner burns gases fully. Flue ash contains unburned materials. Boiler efficiency and burn control is closely related to Subsection 3.2.3.

Modern latest year RB's work in area of 3200 – 5000 tds/day (Jinhai pulp and paper in Hainan, China 7000 tsd/day and produces steam 510°C and 140 bar (Bajpai 2017.figure 4.7 and figure 4.8).

4.1.6 Certain impacts to direct measurement correctness

Factors affecting direct measuring are quite large. As example there must be a place to measure. Table 12 summarizes certain challenges to their contents.

When industrial emission directive is implemented, the old measurement methods might not be sufficient anymore. Measuring point must provide good placement outside and inside of the channel. Higher elevation from the ground is needed for some of the individual measurements. Unsteadiness affects overall results. Flue gas properties vary along the changing volumetric rates in different parts of the measuring space. Even smaller componential fractions cause difficulties to obtain trustworthy results.

Table 12 Instrumentation problem associated with emissions measurement in stationary sources

Challenge	Content
measuring point	not sufficient placement
new methods in old spots	old places for measurement are not designed properly
unsteady process	fluctuations in flow and its concentration of compounds (figure 28)
changing standard requirements	Standards are regulatory and implementation is difficult in changing conditions
flue gas properties	moisture, lower temperatures, drying necessary
smaller componential fractions	PCDDs, PCDFs

4.2 Measurement technologies and emission measurement devices

It is mandatory to go through the principles of air emission measurements, for the purpose of understanding of the content of this thesis and results presented in the coming chapters. Actions and techniques apply in measurement, which are standardized. Branch of industrial emission monitoring and reporting is quite new, as it was followed by environmental regulations that regulated the necessity for laboratories to make air pollution control measurements in industrial establishments. Also smaller plants and their installations are required to do some test for better process design and optimizing, effective functionality of air pollution control devices (APC), environmental license and QAL-2 and AST laboratories as reference results. Measuring sites may be not only in flue gas stack, other like boiler, before APC and after, not only one place is utilized as measurement device placing. In Finland environmental license is permitted by Centre for Economic Development, Transport and the Environment. Modern standards are closer to European standards and use definitely more precise methods. Measurement becomes more complicated. Older methods have attained proven status as deflects are better understood than those of new technologies, but real-time and continuous measurement might be less affordable in case of older methods. In United States is used EPA methods. Environmental equipment is a part of purchase of RB,

significant increase in instrumentation markets in continuous emissions measurement is due to legal binding that GHG should be accounted as mass unit.

Indirect and direct method are also involved if method is sampling type or then in-stack continuous type. For pollutant concentration indirect means sampling type. RB causes problems in CEMS, reason is that recovery ash build up on surface of measuring devices and flue gas moisture (Subsection 3.2.3).

4.2.1 Ultrasonic gas flow rate measurer

Maybe the most attractive and probable flow rate measurer is ultrasonic gas flow rate measurer. Accuracy of these devices has improved in later years for gases. Non-contact measurement is always better and deposition of ashes or wearing of equipment is less.

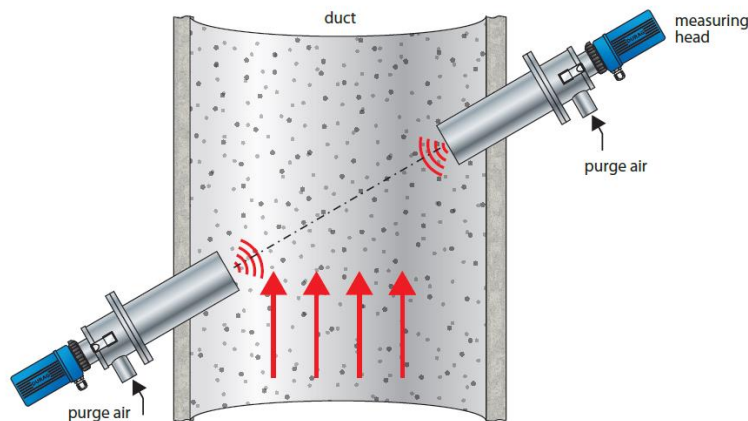


Figure 22 Durag D-FL 220 operating principle (Durag 2018)

4.2.2 Thermal mass flow measurement sensors

In RB's exit gases temperatures are usually higher and contains impurities, it is possible to meet the need for mass flow measurement. It is common to use thermal mass flow sensors in continuous mass flow measurement. Thermal mass flow measurement instrumentation is mainly used for gases.

Manufacturers of instrumentation for thermal mass flow sensors are for instance Kurz instruments, ABB, Sierra Instruments, FCI and many others. Thermal mass flow measurement have good accuracy (1-2 % uncertainty).

4.2.3 Integrating pitot-tube

Stack can be instrumented with averaging Pitot tube. Pitot tube is in principal a differentiating pressure measurement. Integrating Pitot tube is suitable tool for averaging pressure sensing in a duct. It has inbuilt temperature – and absolute pressure measurement. One only tube to the channel, fast and priceworthy installing, less maintenance and automatic operation on some extend are advantages of integrating Pitot tube. Figure 23 presents this device

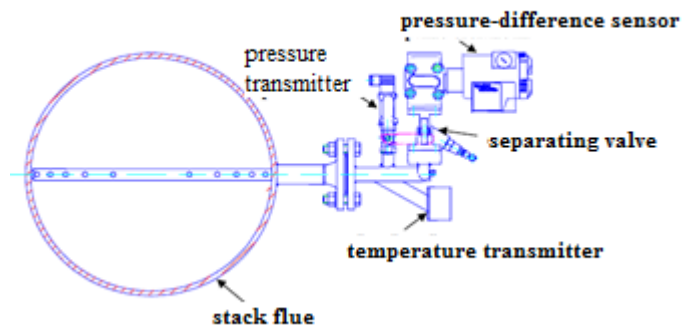


Figure 23 Example of integrating Pitot tube (Adapted from Kontram)

4.2.4 Multi-gas concentration measurer

Fourier Transform Infrared FTIR is analytical instrument for using spectroscopy to measure concentration commonly presented in ppm from purified (particulate matter removed) flue gases. FTIR consumes less time, while it may be used for several components at once and is after calibration automatic and even continuous measurer. Monitoring applied by on-line gaseous compound meters is often used. Reliability and reduced costs are the main reason for having these devices in power plant.

**A****B**

Figure 24 Above pictures A and B show how measurer works with the FTIR in some industrial flue gas (pictures from Gasmét Oy)

RBs use FTIR for reference measurements. FTIR is mainly working as concentration measurer. FTIR development has been recently developed considerably. Finnish company Gasmet makes FTIR devices for several purposes. They provide also the white paper for FTIR measurer to give the principles and overview to FTIR technology (Gasmet 2018).

Figure 25 presents construction of FTIR device. It uses mirrors with certain fine mechanics and electronics. Figure 26 gives image of the whole possible measurement field in industrial boilers and placing of the multi-concentration measurer at the last heated probe measuring point.

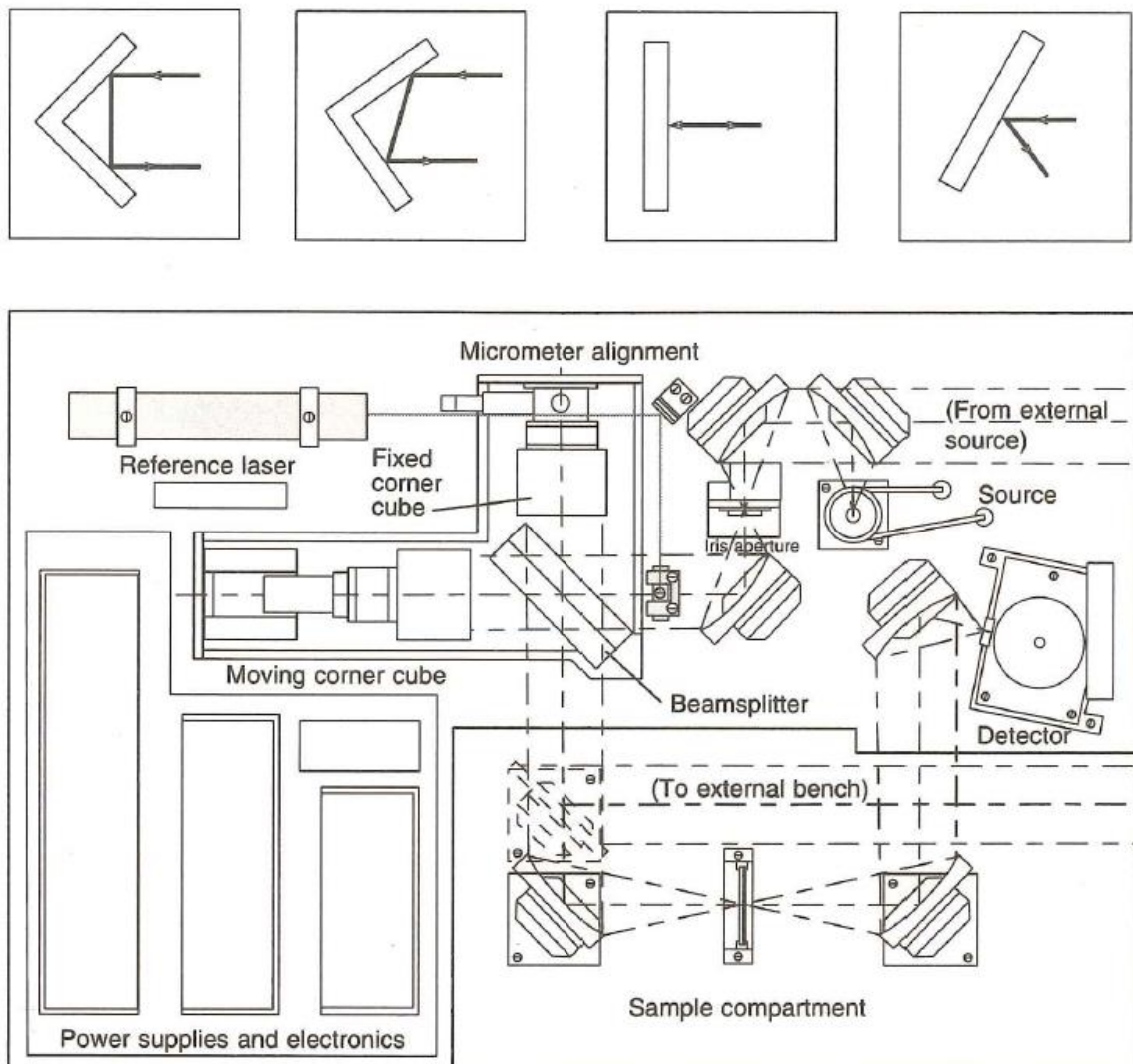


Figure 25 Construction of FTIR device for measurement (Torvela. 1994, 123)

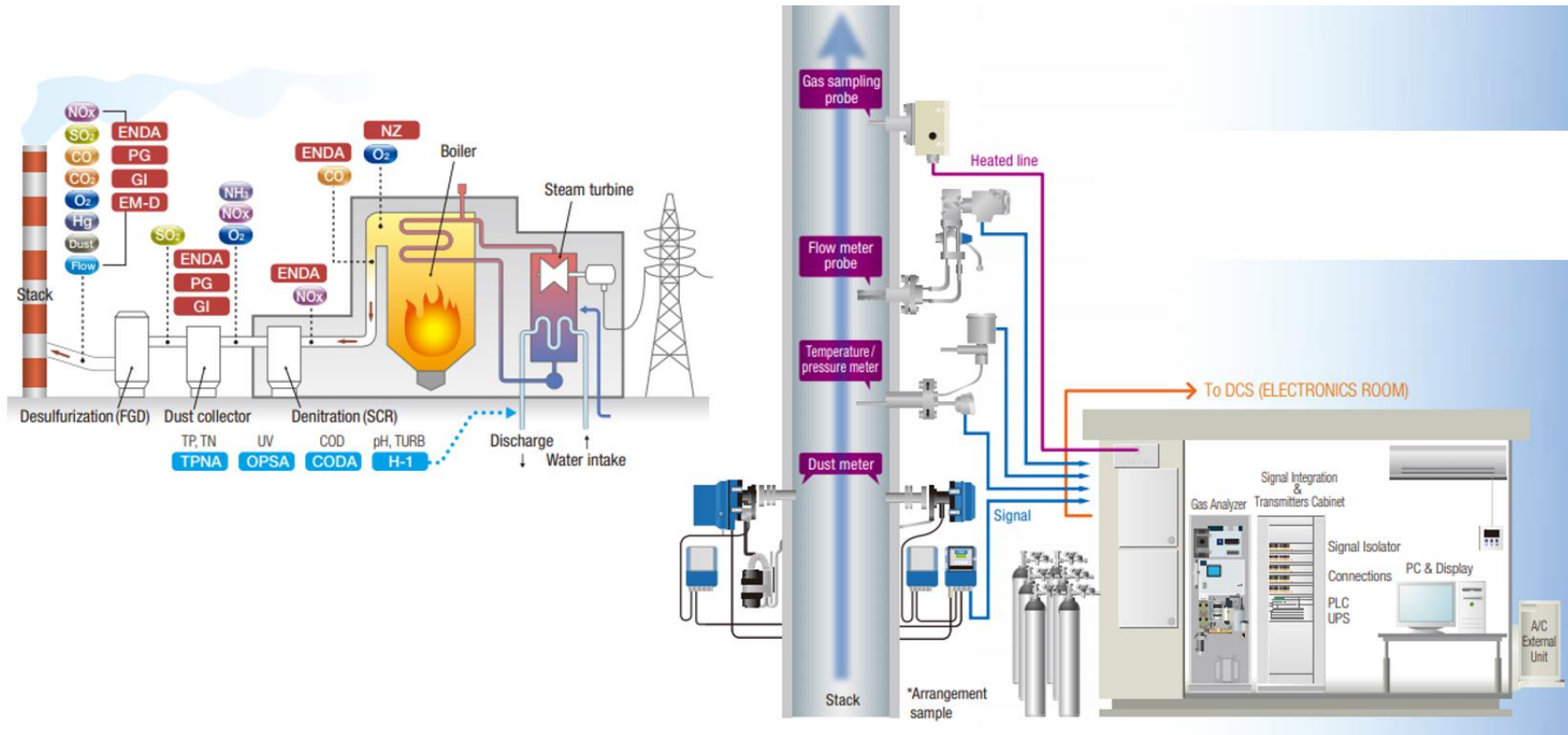


Figure 26 Continuous emissions measurement procedures and example of all the components in industrial boilers

4.3 Volume rate in duct – flue gas flow

First shall be verified a bit of the nature of the flue gas flow. Seemingly variation on flue gas flow is 6000 – 9000 Nm³/ADt (Dahl 2008, 125), depending on wood species and yield of the pulp. Advection of flue gas is happening in a duct. Swirl makes flue gas flow turbulent. Due to height, the stack flow has higher pressure in the down part of the duct compared to the higher part, where pressure is closer to surrounding ambient air. Purpose of the high stack is to get flue gases spread out from the mill area. Higher concentration of pollutants in respiratory air have several health risks to the workers who are in a constant exposure.

Standards are implemented in measurement of duct flow. ISO 16911, which has two parts given first one for manual methods and the second one for continuous automated methods.

Different methods are in use of determining the flow in the duct. It can be trace gas system, energy-mass balance computation. Still many prefer Pitot – tube, which measures velocity of the flue gas. Pressure sensing methods are using following equation 4.

$$q_v = A\bar{v} \quad (4)$$

where q_v is volumetric flow rate
 A is area of the channel
 v is average speed of gas inside the channel

Figure 27 presents example of boundaries to make emission balances. Certain flow of black liquor to be combusted will have certain amount of substances released in gaseous form to the stack and some end up unburned to the smelt – this is called indirect method of evaluating emissions (JRC 2017, 12). Other example of boundary of emission balance might be one where boundary is drawn in to the stack flow and surrounding atmospheric air – this is called direct method. Direct method means usage of measuring instruments (JRC 2017, 12). Reported values from the mills varies, some are done by indirect method, and some are done by measuring.

Reference Document on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations (2018) flow rate is measured by standard EN ISO 16911-1: 2013 for periodic measurement and CEN/TR 17078: 2017 include guidance on the application of the standard. Here monitoring methods include differential pressure (Pitot-tube), vane anemometer, tracer dilution, tracer transit time and calculation from energy consumption. For continuous metering are generic standards and EN ISO 16911-2: 2013. Standard reference standard is EN ISO 16911-1: 2013. Continuous flow rate measurement methods are ultra sound, differential pressure, IR cross-correlation of turbulence and thermal mass flow. Reference standards to EN ISO 16911-2: 2013 are EN 15267-14:2009, EN 15267-2: 2009, EN 15267-3:2007 and EN 14181:2014.

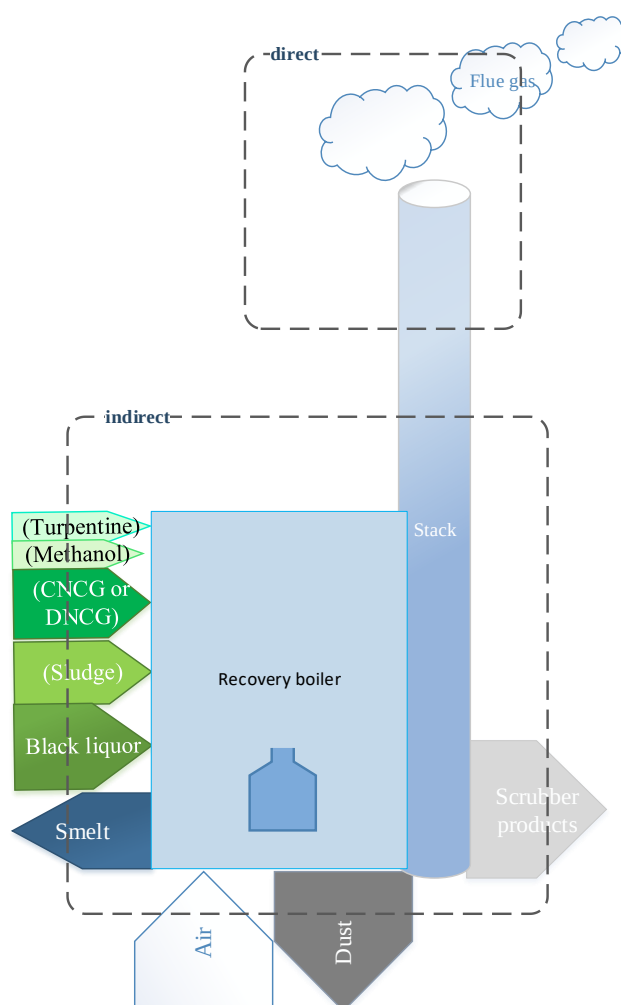


Figure 27 Examples of boundaries in RB to environment and emissions measurement – direct and indirect method for flue gas flow

Remarks in figure 27 that standard condition flue gas flow may be calculated indirectly or directly. Indirect is not using any devices in the duct.

4.3.1 Uncertainties in the flow rate measurement of flue gases

Turbulence in flue gas causes variations of the flow rate in time, which causes significant issues as the mean of that flow is rather instable. This phenomenon is illustrated in figure 28. Still according to Finnish recovery boiler committee the measurement of the flue gas flow of the RB in several mills is done by computational methods. Integrating pitot-tube may be used, but still the actual amounts of the flue gas is black liquor combustion calculation averaged to the year (Jussila 2007).

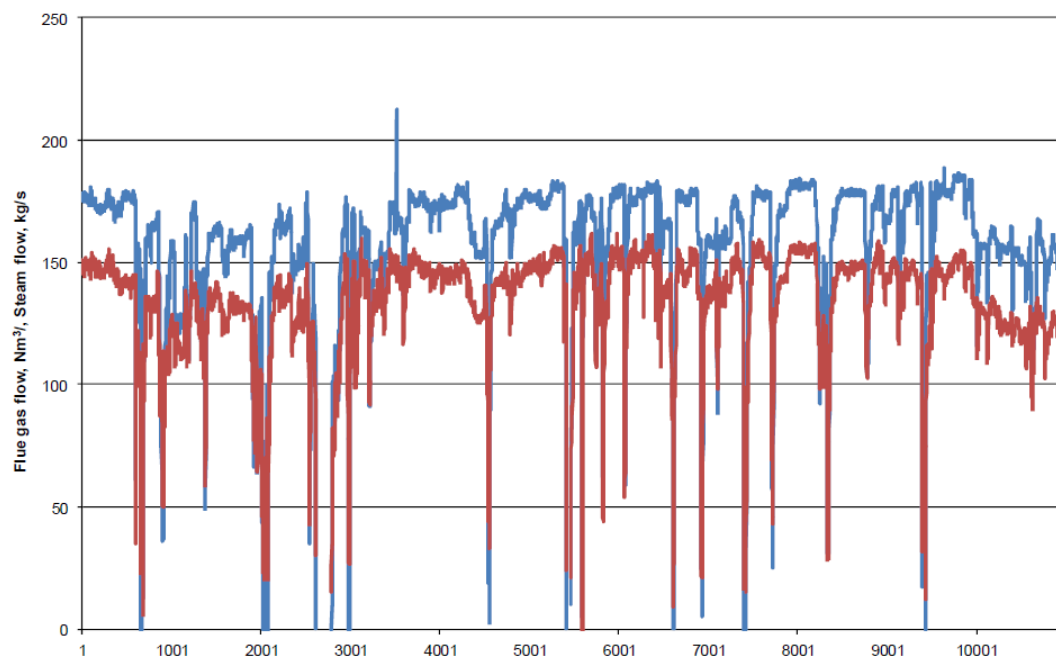


Figure 28 RB steam and flue gas flow (hourly averages) as example of flow rate changes. Red one is the steam (kg/s) and the blue line is flue gas flow (Nm^3/s) (Hamaguchi&Vakkilainen 2010, 29).

Faults may cause shut down of boiler, start up and failure of measuring device or calibration cause changes in flue gas flow. Higher flue gas flow – higher steam flow is noticeable. Flue gas flow is reported in form of Nm^3/s . Figure 28 is adopted from hourly data from a Finnish mill for a year. Depending on how a mill is run throughout the year, these values differ.

4.3.2 Indirect method for combustion gas flow, through mass flow of the fuel

Indirect method is available by making a mass balance for the fuel. Principle of what goes in as the black liquor fuel and feed water and what goes out is flue gas and heated steam. Figure 29 demonstrates the energy – and mass balance of these fluid flows.

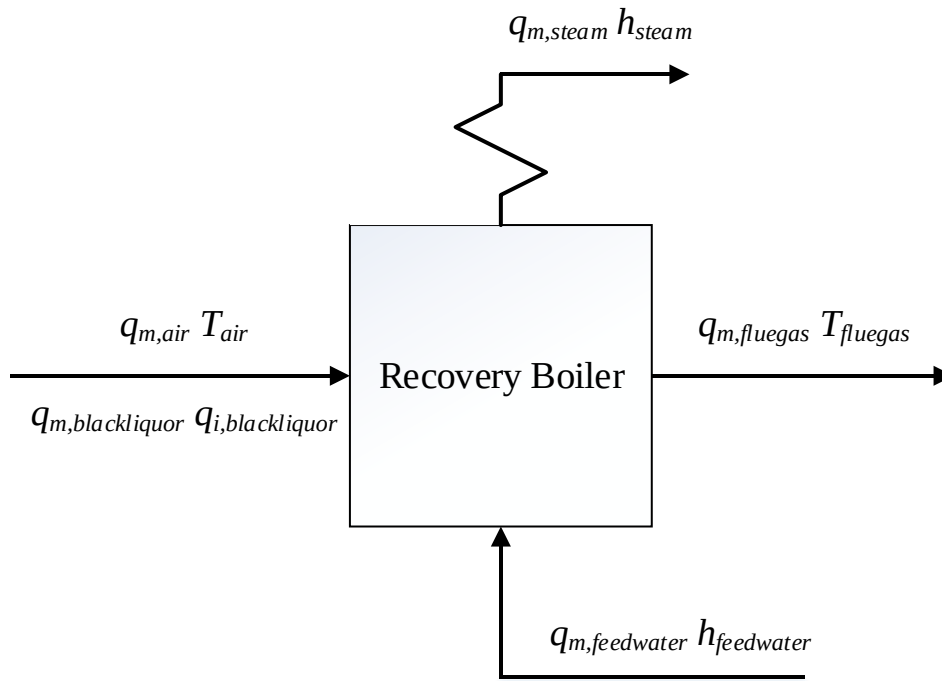


Figure 29 RB power – and mass balance. (Hammo 2000, 6)

Energy balance is

$$q_{m,steam} \Delta h = \sum_i (q_{m,i} q_{black\ liquor,i}) - q_{m,flue\ gas} \int c_p dT \quad (5)$$

where

$q_{m,steam} \Delta h$ is boilers net power

$\sum (q_{m,i} q_{black\ liquor,i})$ is total fuel power (=mass flow * heating value)

$q_{m,flue\ gas} \int c_p dT$ is flue gas loss

Additionally RB might combust concentrated non-condensable gas (CNCG). Many mills handle their CNCG in RB to convert smelly compounds to simpler ones to prevent odor problems. Weak gases or diluted non-condensable gases (DNCG) can also be destructed in the RB.

4.3.3 Emissions relation to stack gas flow rate in observed period of time

Emissions are usually reported in form of ppm in stationary stack gas flows. Parts per million ppm is usually determined in volumetric proportion and for PM mass to volume is common, mg/m³n.

When reporting annual total mass of compound, which were discharged to the atmosphere, the actual averaged annual flow rate must be obtained. Compounds that would be given as volumetric part or mass-to-volume are NO₂, NO, SO₂, SO₃, sulphuric acid aerosols, methyl mercaptans, H₂S, CO₂, C_xH_y, CO, H₂O, O₂, N₂, ash, heavy metals, gaseous chlorides HCL – equivalents, Hg, NH₃, Gaseous fluorides HF–equivalents, VOC, total gaseous organic carbon TVOC, PCDDs/PCDFs and dioxin-like PCBs (JRC 2017, 34).

$$m(t)_i = V(\dot{t}) \times C_i(t)dt \quad (6)$$

where m_i is compound mass over the time period
 V is volumetric flow rate
 $C_i(t)$ is concentration over the time
 dt differential time rate

As said in equation 6 concentration is depending on time period and volumetric time is as well time-dependent.

4.3.4 Working area and the preparation for work

Measurement space is the area, where the measurement is done. As example elevator lifts the measuring personnel with equipment to the right level. Needed labor aiding things other than instruments for measurement are sufficient electricity supply, dry compressed air, appropriate temperature, weather guard, clean room, link size and placing, backspace due to longer probe and all of the needed links for successful work. Best working area for practicing is measurement booth. It will be next to the stack and closed environment from the other installations of the mill.

Before actual emission component concentrations tests, should certain other values be predetermined. Pressure, temperature, flow metering, particulate measurement, gaseous components are some of those values to be predetermined. Filtering, drying of the sample and amount detection are done.

4.3.5 Tables of measurement technologies for compounds

In table 14 is presented collected name of analytical method and its component to meter. Some of the methods work in continuous and some in batch. In table 13 is presented certain type of methods of testing different gas components. IR is infrared and UV ultraviolet light. Industry is using in continuous metering multicomponent measurer nowadays as there have been great leap in development such devise in recent years.

Table 13 Common measurement techniques/methods. (Aumala 2000, 325).

Measurement	technique	method	technique
O ₂	zirconia probe	paramagnetism	
CO	IR	catalytic oxidation	
CO ₂	IR		
SO ₂	IR	UV	UV-fluorescence
NO _x (=NO ₂ +NO)	IR	UV	chemiluminescence
particle emissions	Optical (filament lamp)	Optical (laser)	piezoelectric sensor

Table 14 Measurement analytical method, targeted component.

Analytical principles	Target component	Continuous or batch	Remarks
Non-Dispersive Infrared (NDIR) absorption detection	CO, CO ₂	Continuous	
	NO	Continuous	
	N ₂ O	Continuous	
	HC	Continuous	As "n-C ₆ H ₁₄ equivalent"
Flame ionization detection (FID)	Total hydrocarbons	Continuous	
	CH ₄ , Non-Methane Hydrocarbons (NMHC)	Continuous or batch	In combination with NMC or GC
Chemiluminescence Detection	NO, NO ₂ , NO _x , (NO + NO ₂)	Continuous	
Non-Dispersive Ultraviolet (NDUV) detection	NO _x (NO + NO ₂)	Continuous	
Paramagnetic Detection (PMD)	O ₂	Continuous	
Zirconia solid electrolyte method	O ₂ , NO _x , Air-to-fuel ratio	Continuous	In-situ measurement (non-sampling)
Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy	N ₂ O NH ₃ CO, CO ₂ , NO, H ₂ O, NO ₂ , C ₂ H ₅ OH, HCHO, CH ₄ , et cetera	Continuous	Simultaneous, multicomponent analysis
Quantum Cascade Laser Infrared (QCL-IR) Spectroscopy	NO, NO ₂ , N ₂ O, NH ₃	Continuous	Simultaneous, multicomponent analysis
Gas Chromatography	Hydrocarbons or methane	Batch	
	Alcohols	Batch	
	N ₂ O	Batch	
High Performance Liquid Chromatography	Carbonyl compounds (HCHO, et cetera)	Batch	

All of these in table 14 presented analytical methods to work and calibrated right need in Subsection 4.3.4 mentioned preparatory determinations or information. In table 15 is similarly shown gas component, purpose for metering and necessity according Aumala (2000).

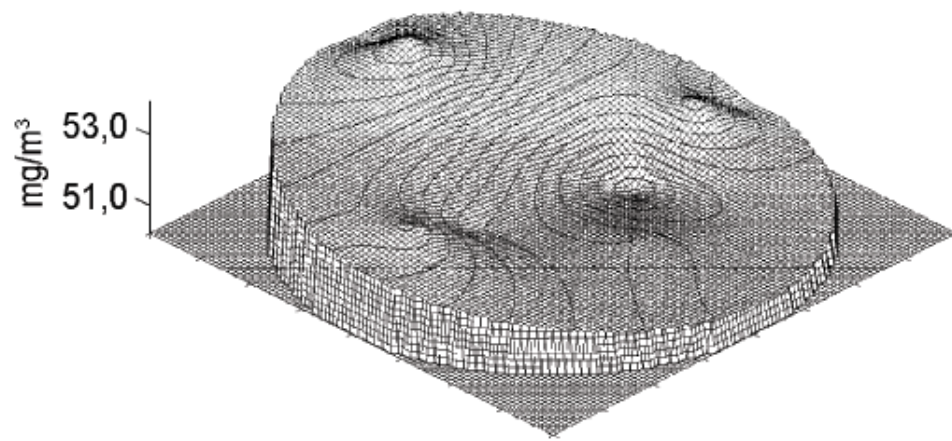
Table 15 Flue gas components (Aumala 2000, 323).

Gas component	Purpose of measurement	Measuring necessity
O ₂	control	continuous
CO	control, emission	continuous
CO ₂	control, emission	continuous
SO ₂	control, emission	continuous/ temporary
NO (=NO ₂ +NO)	emission	continuous/ temporary
H ₂ S	emission	continuous/ temporary
particle emissions	emission	continuous/ temporary
heavy metals	emission	continuous/ temporary

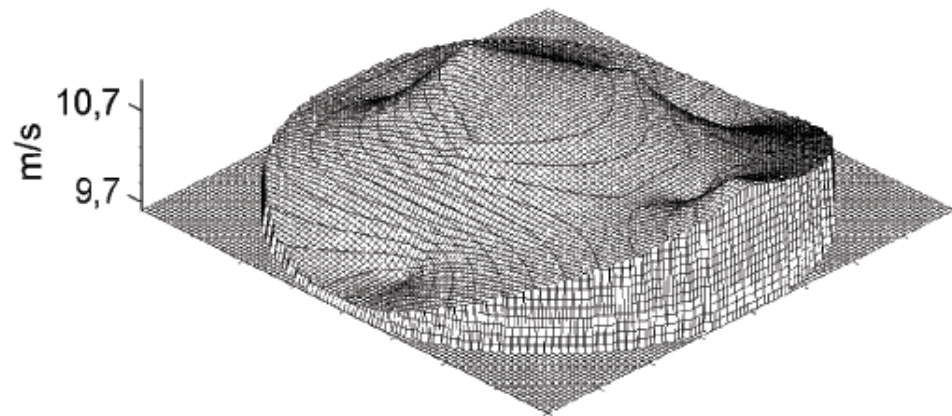
4.3.6 Flow profile

Flow measurement needs to be symmetrical to calculate the real value exact. Symmetrical flow means there is certain symmetry in the gaseous flow in the pipe. Waste gas profiles are better to be homogenous than inhomogeneous. Figure 30 presents homogenous flow profile for organic gaseous substance in a measurement plane and figure 31 presents inhomogeneous flow profiles in terms of mass concentration, velocity and mass flow density (SFS-EN 15259 2007, 71 -72).

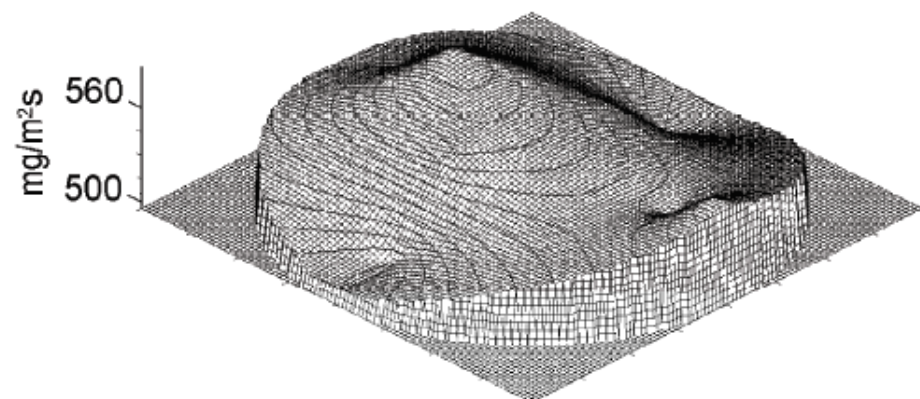
As seen in figure 30 velocities are very different in other side of the channel than other. Mills environmental staff often calculates or estimates flows and measurement is not option due to this. In Section 4.2 shortly described one optional mass flow meter, one should still remember possibility of inhomogeneous flow profile.



Mass concentration



Velocity



Mass flow density

Figure 30 Example of one component (organic gaseous substance, propane) and its homogenous measurement plane

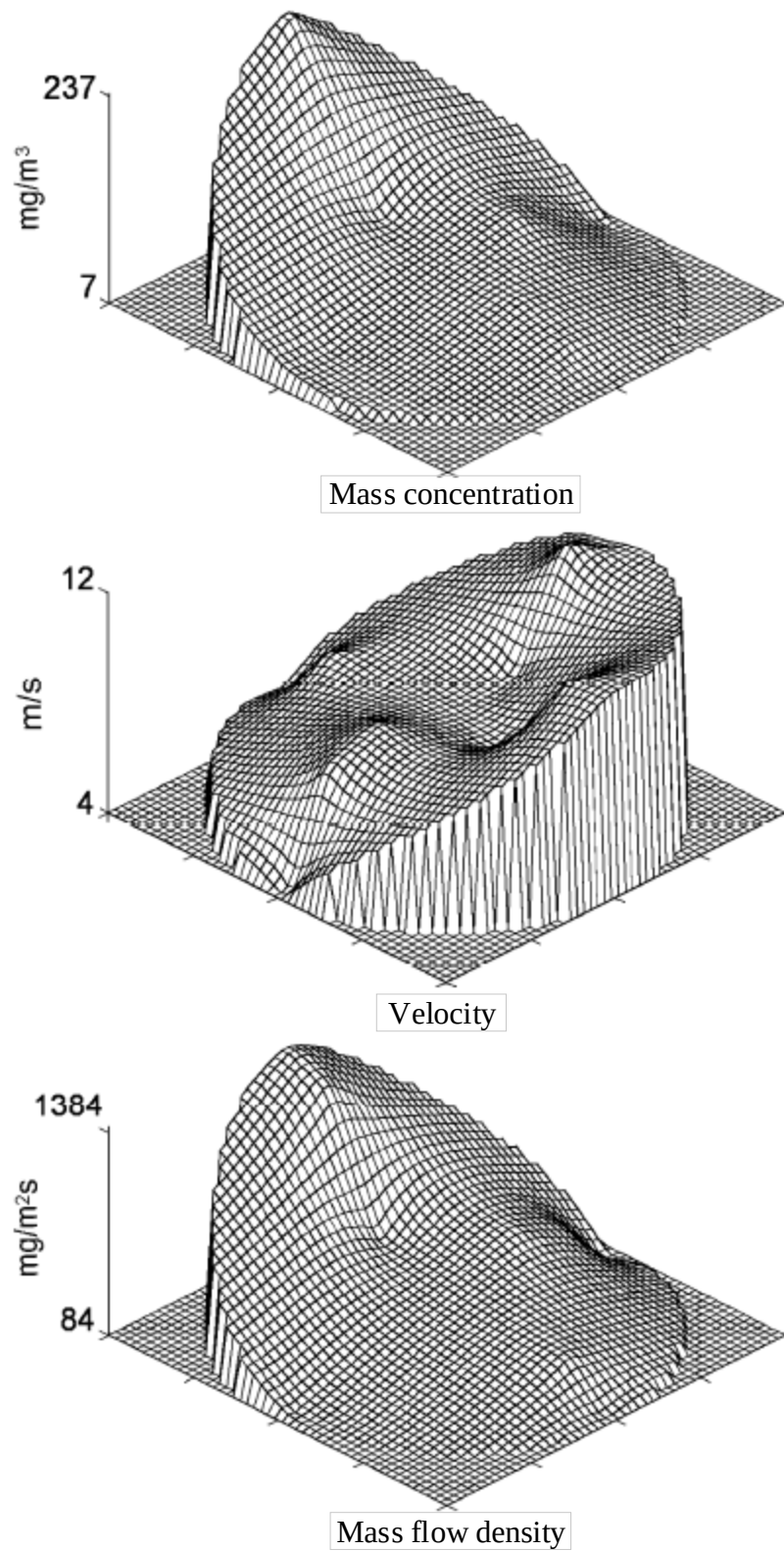


Figure 31 Example of inhomogeneous flow profile of organic gaseous substance (SFS-EN 15259 2007, 72)

5 RESULTS

As at 2018, there are 16 recovery operational boilers in Finland. We examine balances to year 2016 when there were 16 in operation. Data was given for research purposes from all of the 16 operating boilers (EIPPCB 2008). Two mills have two separate RBs, so 14 columns of boilers in the tables below.

Sheets of for every boiler was created and results are presented in following sections (example of calculation in Appendix II).

5.1 RBs in Finland – data

Table 16 presents years 2016 emissions in mass. Pulp production total emissions are direct air emissions. Energy production emissions are from other than RB. Mass of NO_x emissions are the largest in every mill compared to TRS, SO₂ or particulates.

In table 17 are presented year 2016 produced pulp in tons, and respect to that modelled value of specific NO_x emission. Lime kiln specific emissions and odor gas flare specific emissions were from 2008, while newer information was not available. It is assumed as good estimate to year 2016. In table 17 year 2016 specific model for NO_x is some different than reported for year 2008. Following then model flue gas flows, calculation sample for hardwood and softwood is in Appendix II. In table 18 %-of wood used is assumed to be mass percent. Process oxygen is in the model 3 % and reference oxygen content is 6 %. Comparable flue gas flows are in the last column for every RB. Mills using hardwood are having smaller flue gas flows than fully softwood using mills. Yield chosen for the mill changes result greatly.

Table 19 is the flue gas table where we can see certain differences. Mill G and L have significantly smaller flow per ton than model of combustion delivered. Also Mill C, E and M produces in 400 – 600 Nm³ difference to modelled values.

Table 16 Every Mills direct air emissions and energy production emissions. (Finnish Forest Industries 2017)

Pulp mills emissions to the atmosphere	Direct air emissions				Energy production emissions		
	SO ₂ , t(SO ₂)	TRS, t(S)	NO _x , t(NO ₂)	Particulates, t	SO ₂ , t(SO ₂)	NO _x , t(NO ₂)	Particulates, t
Mill A	37,2	5,0	181,0	14,5			
Mill B	101,6	9,3	848,7	127,4		2,2	
Mill C	136,7	34,2	1 039,2	142,9	0,3	93,6	1,3
Mill D	73,2	4,1	870,6	120,2			
Mill E	280,0	5,6	942,0	383,0			
Mill F	7,5	33,7	782,0	370,0	19,0	224,0	28,0
Mill G	60,0	17,0	1 651,0	141,0	56,0	434,0	2,0
Mill H	17,4	7,6	753,0	69,4	336,3	588,0	5,5
Mill I	26,5	6,3	633,8	341,6	13,8	93,8	2,6
Mill J	193,0	27,0	347,0	99,0	139,0	274,0	8,4
Mill K	10,2	69,3	554,5	132,4	338,0	487,7	3,5
Mill L	186,0	33,0	985,0	81,0		2,0	
Mill M	8,1	8,4	1 206,0	68,8	49,6	225,0	1,5
Mill N	43,0	30,0	1 162,0	114,0			

Table 17 Produced pulp in tons and respect to mentioned annual NOx emissions. year of 2016.

mills with RB/RBs	produced pulp in tons	Chemical pulp NOx	Lime kiln NOx*	Odor gases flare NOx*	Recovery boiler NOx *	Reported for RB
		ADt	kg/ADt	kg/ADt	kg/ADt	
Mill A	200 000	0,91			0,91	1,75
Mill B	618 700	1,37	0,21		1,16	1,22
Mill C	603 524	1,72	0,23		1,49	1,85
Mill D	585 187	1,49	0,27		1,22	1,42
Mill E	509 962	1,85	0,36	0,050	1,44	1,20
Mill F	460 000	1,70	0,14	0,200	1,36	1,13
Mill G*	1 126 000	1,47	0,13	0,100	1,24	1,26
Mill H	349 000	2,16	0,34		1,82	1,35
Mill I*	371 000	1,71	0,24	0,040	1,43	1,58
Mill J	305 000	1,14	0,52		0,62	1,63
Mill K	429 000	1,29	0,19		1,10	2,01
Mill L	655 000	1,50	0,33	0,220	0,95	1,36
Mill M	775 000	1,56	0,05	0,180	1,33	1,43
Mill N	782 000	1,49	0,05	0,001	1,43	1,05
*two RBs in mill			*2008 questionnaire EIPPC	*2008 questionnaire EIPPC	*2008 questionnaire EIPPC (BREF Data) without limekiln and odorous gas flare	

Table 18 Model of combustion for every mill and flows per time and flows per pulp ton. Grey means those mills not using hardwood.

	% - of wood used		softwood				hardwood					m ³ n/Adt	
			m ³ n/Adt*	%	m ³ n/Adt	m ³ n/s	m ³ n/s	m ³ n/Adt	%	m ³ n/ADt	m ³ n/s		m ³ n/s
			softwood	hardwood	wet process	O ₂ Yield used*	dry 6% O ₂ wet, [process 3%O ₂ dry, [process 3%O ₂	wet real O ₂ Yield used dry 6% O ₂ wet, [O2-content] dry, [process 3% O ₂	dry, 6% ref O ₂				
Mill A	100	0	7 768	46	8 236	51	45	-	-	-	-	-	8 236
Mill B	100	0		43	9 114	174	153	-	-	-	-	-	9 114
Mill C	65	35		46	8 236		91		49	6 828		34	7 743
Mill D	100	0	8 309	44	8 808	106	94	-	-	-	-	-	8 808
Mill E	44	56	8 033	45	8 515	59	52	6 706	49	6 828	62	53	7 571
Mill F	62	38	7 928	46	8 236	74	64	6627	49	6 828	28	24	7 701
Mill G	45	55	8 203	45	8 515	136	117	6 857	48	7 060	138	119	7 715
Mill H	100	0	8 014	46	8236	91	78	-	-	-	-	-	8 236
Mill I	100	0	8 309	44	8 808	101	89	-	-	-	-	-	8 808
Mill J	60	40	8 151	45	8 515	48,63	42	7 043	47	7 301	28	24	8 030
Mill K	35	65	8 309	44	8 808	41	36	6 996	47	7 301	64	55	7 829
Mill L	60	40	7 640	46,5	8 101	98	86	6 521	49	6 828	56	49	7 592
Mill M	38	62	7 768	46	8 236	75	66	6 442	49	6 828	101	89	7 363
Mill N	52	48	8 552	44	9 114	113	101	7 127	46	7 553	87	77	8 365

* all values are in stand. Cond. State

*Yield from wood to dry unbleached cellulose in the model

Table 19 Model of combustion results and reported volumetric flowrates in standard condition. Estimating conjecture was made by thesis worker.

	Model of combustion results	Reported (O ₂ -level process dependent)	Converted to the same ref. O ₂ -level from reported	Conjecture made by thesis worker from reported value
	m ³ n/ADt dry, 6-% ref O ₂	Volumetric flow rate Nm ³ /ADt, stand. cond., dry gas	Volumetric flow rate Nm ³ /ADt, stand. cond., dry gas (6%)	Volumetric flow rate Nm ³ /ADt, stand. cond., dry gas (6%)
Mill A	8 236	-	-	-
Mill B	9 114	8 250	9 900	-
Mill C	7 743	7 356	7 356	7 341
Mill D	8 808	7 630	8 902	-
Mill E	7 571	7 128	7 128	7 603
Mill F	7 701	7 600	9 000	8 610
Mill G	7 715	5 800	5 800	-
Mill H	8 236	7 250	8 410	-
Mill I*	8 808	10 491	9246 / 10673	10 078
Mill J	8 030	8 069	8 069	-
Mill K	7 829	7 600	8 107	-
Mill L	7 592	6 800	6 845	7 782
Mill M	7 363	6 642	6 775	7 730
Mill N	8 365	7 400	8 387	-

* reported values for two different RBs

*combined for both RBs

Table 20 Total flow per second and modelled flows to specific emissions, which results concentration of NO_x.

	Model of combustion flow and NO _x concentrations		Modelled Nm3/ADt to reported kg/ADt Nox (2008)
	m ³ n/s	mg NO ₂ /m ³ n (kg/ADt 2016)	mg NO ₂ /m ³ n
	dry, process 3 % O ₂	dry, 6% ref O ₂	dry, 6% ref O ₂
Mill A	45	110	-
Mill B	153	127	134
Mill C	125	193	239
Mill D	94	138	161
Mill E	105	190	159
Mill F	88	177	147
Mill G	236	161	163
Mill H	78	221	164
Mill I	89	162	179
Mill J	67	77	203
Mill K	91	141	257
Mill L	135	126	179
Mill M	155	180	194
Mill N	178	172	126

Table 21 A study of reported values to year 2016 or either to year 2008. Oxygen content was noticed to be inconsistent in reporting in EIPPC 2008.

	Reported flue gas to 2016 NOx kg/(ADt) mg NO ₂ /m ³ n dry, 6% ref O ₂	Reported flue gas to reported Nox (2008) mg NO ₂ /m ³ n dry, 6% ref O ₂	Conjecture flue gas to 2016 NOx kg/ADt mg NO ₂ /m ³ n dry, 6% ref O ₂	Conjecture and reported 2008 mg NO ₂ /m ³ n dry, 6% ref O ₂	Reported EIPPC concentration mg NO ₂ /m ³ n dry, O ₂ varying reported differently	Reported mg NO ₂ /m ³ n dry, 6% ref O ₂
Mill A						
Mill B	117	123			162	162
Mill C	203	251	203	252	252	252
Mill D	137	160			165	142
Mill E	202	168	189	158	171	171
Mill F	151	126	158	131	140	131
Mill G	214	217			220	220
Mill H	216	161			170	170
Mill I	142	157	142	157	156	156
Mill J	77	202			202	202
Mill K	136	248			236	236
Mill L	139	198	123	175	175	175
Mill M	196	211	172	185	185	185
Mill N	171	125			124	124

Table 20 is models off-gas and specific NO_x emission per tonne turned to average annual concentration. The specific emissions are from the table 17. Flows are in dry condition, even in reality off-gas is always wet and not dry.

Table 21 presents reported NO_x concentrations, differences are to be examined.

Conjecture from reported values is done by changing some of the values by the thesis worker. Those values follow better the general trend.

5.2 Other reported volumetric flows of some RBs

Reported values for flue gas flow for RB are two different sets one was obtained from BREF PP 2015 that should have same as in EIPPCB questionnaires. In table 22 some finnish mill locations names and the publically reported volumetric flue gas flows.

Table 22 BREF page 304 year 2007/2009

	Nm ³ / ADt	
joutseno	9 900	
kemi	7 356	
rauma	8 902	
äänekoski	7 603	
oulu	8 410	
sunila SE 1	3 840	sum for two
sunila SE 2	6 214	10 054
varkaus	5 069	
veitsiluoto	8 107	
kaukas	6 845	
pietarsaari	8 387	

Variety in flows is due to utilization of hardwood. Trend line can be drawn that the larger the off-gas flow, the more likely hardwood is used as raw material.

5.3 Typical wood consumption rate to produced pulp

Wood consumption is interesting factor as we examine mill performance. Cellulose is only a part of the wood. Table 23 shows examples of wood utilization rates, source is not mentioned due to context of the thesis.

Table 23 Mills B, C, D and E information of wood consumption related to produced pulp (2016)

	Mill B	Mill C	Mill D	Mill E
tons of pulp	618 700	603 524	585 187	509 962
total wood consumption 1000 m³	3 406	3 061	3 211	2 336
wood per pulp m³/t	5,5051	5,0719	5,4871	4,5807
pulp per wood t/m³	0,1817	0,1972	0,1822	0,2183

Mill B and Mill D are fully softwood operating mills and Mill C and E use partly hardwood. Mill B needs more wood than Mill C and reports higher off-gas volume (table 19). Mill E has higher hardwood rate than Mill C (table 18).

UPM reports in its annual report (2016) that typical average in mills is 4,44 m³/ t of produced pulp for all of its chemical pulp mills across the world. Eucalyptus mills need less wood for operating the same amount of pulp as it is hardwood and has higher yield than Nordic hardwood or softwood. UMP owns eucalyptus mills.

6 INTERPRETATION OF RESULTS

6.1 Flow corrections

Before making assumptions in the future, as making flue gas flow a parameter for yield of products, should be made sure that if those reported flue gas flows are right and precise averaged yearly. Some of those reported values even after changing to reference oxygen levels are higher or lower than expected. In the model of combustion or through NO_x emission calculation made possible flows seen different than reported ones.

6.2 NO_x concentration to off-gas volumetric flow

If lower NO_x concentration is due to larger volume of off-gas (in reference state), the environmental benefit of reducing NO_x concentration is not very beneficial. Figure 32 has some inclination. Every ball presents one mill.

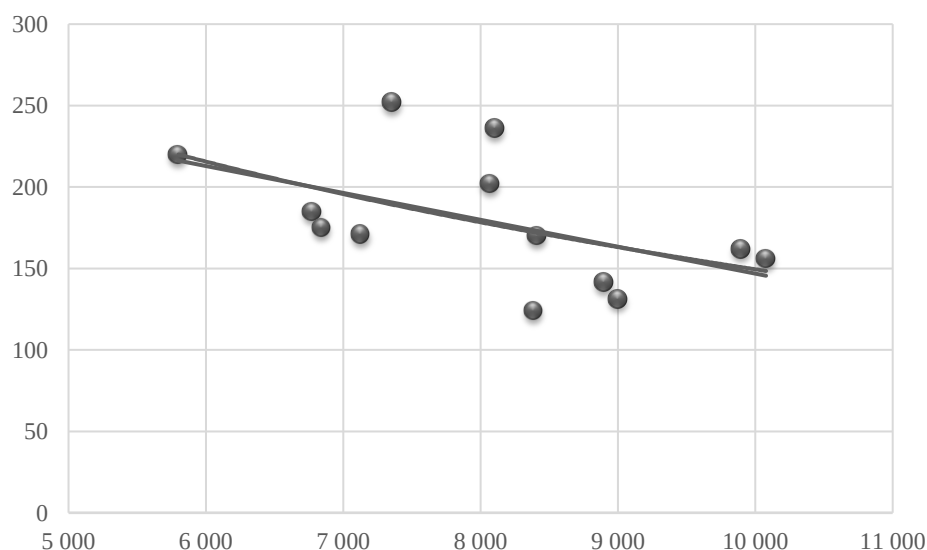


Figure 32 Reported flows and reported NO_x concentration [mg/m³n]. Trend line presents reported values NO_x concentration declines as volume grows [Nm³/ADt]

Assumptions on, if Nordic hardwood produces higher NO_x concentration annual average than softwood is less correlating, but remarkable trend is to be found. Modelled concentrations and modelled flue gas-flow have lesser correlation.

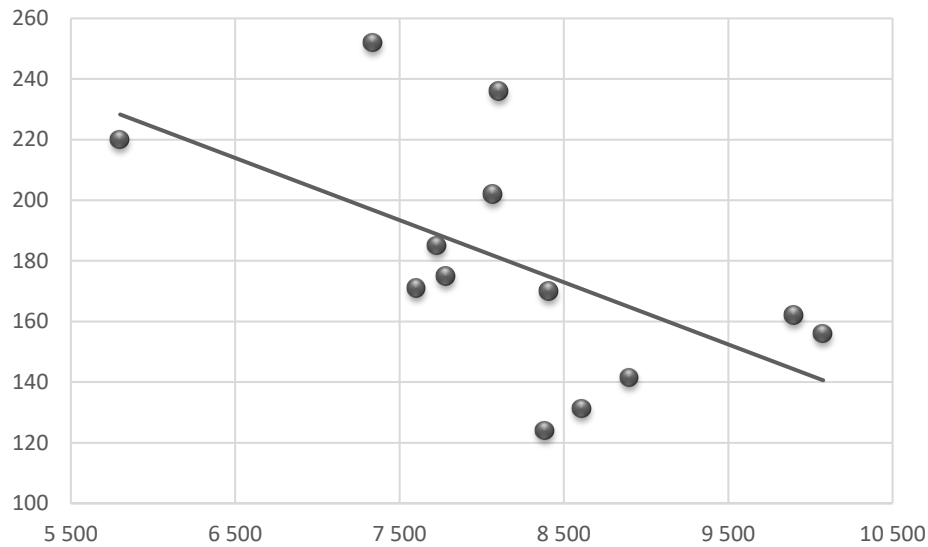


Figure 33 Conjecture flue gas to NO_x concentration reported in EIPPC (2008).

Figure 33 presents thesis workers conjecture off-gas volume to reported NO_x concentration (mg/m³h). As flue gases are more trend is that NO_x concentration level in it lowers. In figure 34 seemingly also for hardwood mills NO_x can be more.

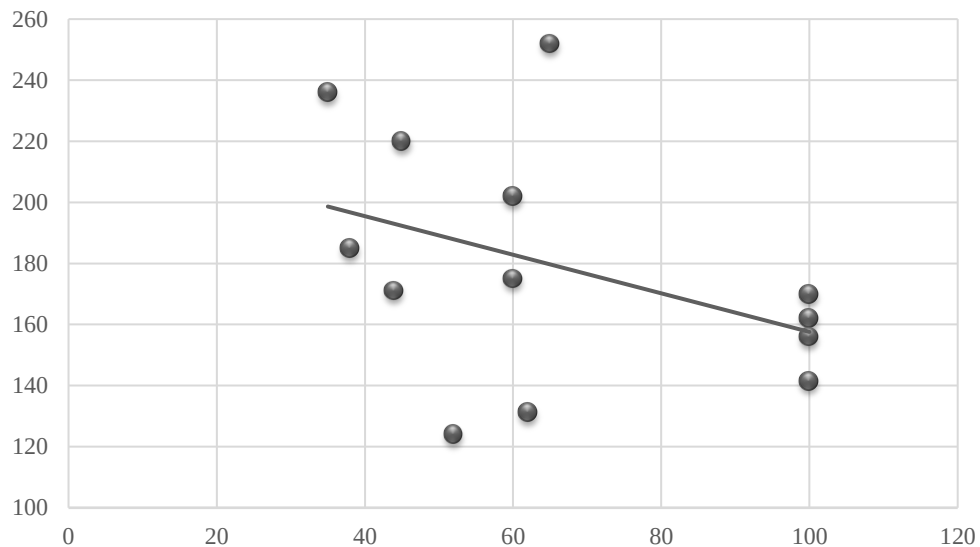


Figure 34 Reported NO_x and hardwood correlate less, but trend is down

Model of combustions and its NO_x concentration was created. In figure 35 shows resulting trend for modelled values for year 2016.

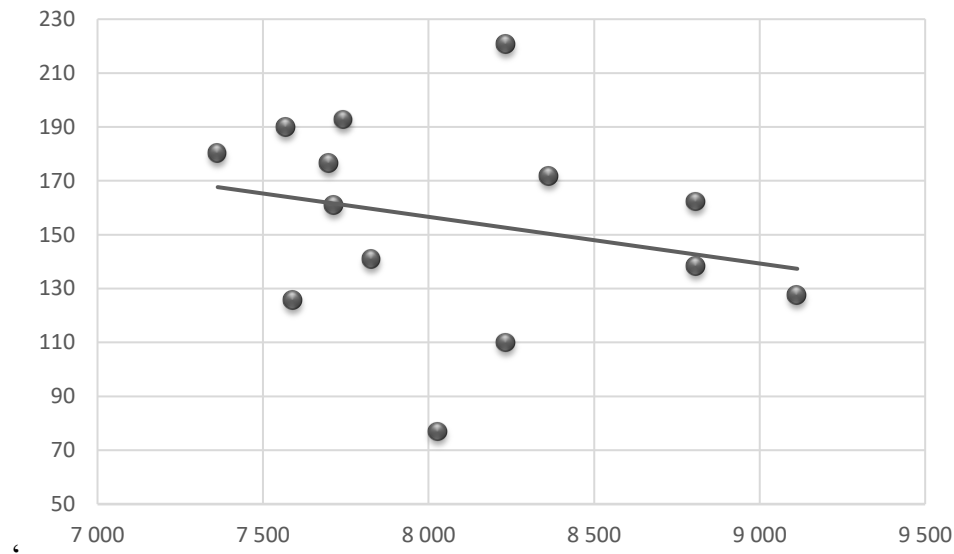


Figure 35 Model of combustion and NO_x (mg/m³n) 2016 to flue gas modelled.

6.3 Exit gas volume to softwood proportion

Reported flue gas flows in right reference oxygen are presented in this section. Figure 36 presents flue gas to its softwood proportion in year 2008, higher flue gas amount higher softwood usage.

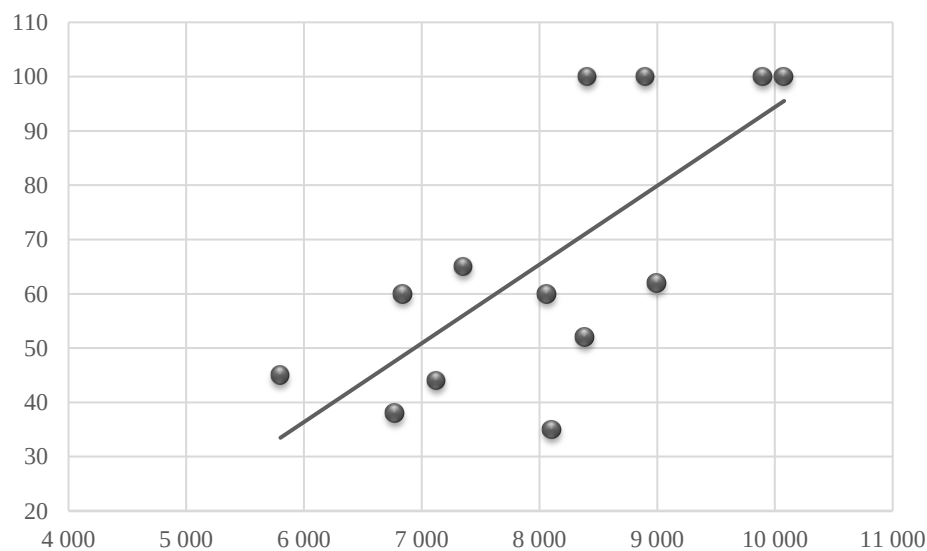


Figure 36 Reported flue gas flow to softwood-% reported along year 2008.

Figure 37 presents well that model of combustion result and exit gas raise along. Many of Chapter 6 presented figures are best presented as linear, also logarithmic trend line, exponential trend lines were tested for each figures.

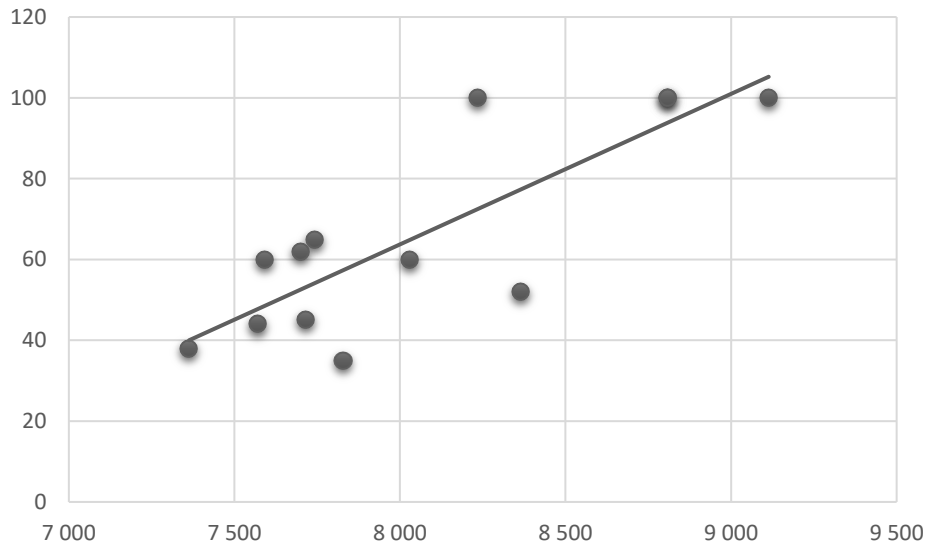


Figure 37 Model of combustion volume and reported softwood-%

Lastly conjecture, with small changes to reported flue gas flows is presented in figure 38. Here is exponential trend line.

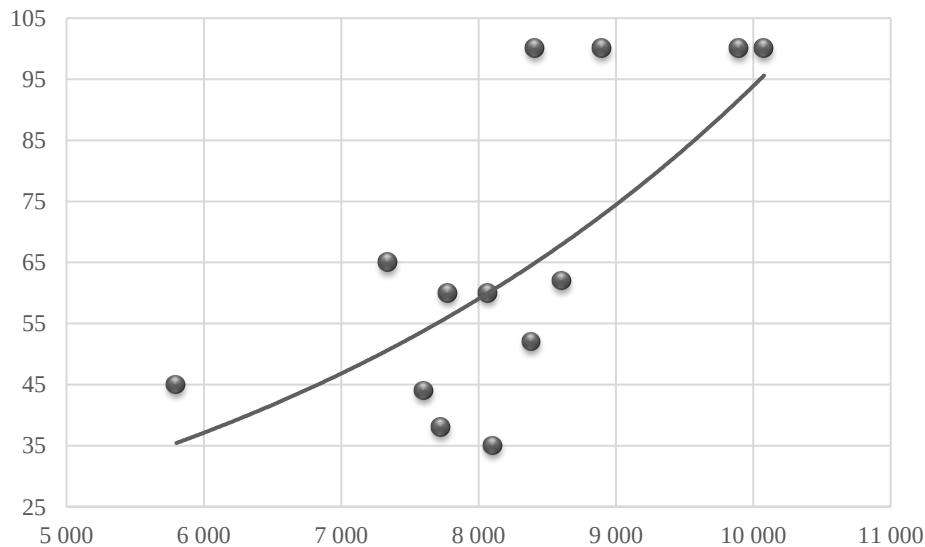


Figure 38 Conjecture Nm^3/Adt and softwood content [%]

Flue gas flow rate from RB could estimate how much of incoming roundwood is left to solid or liquid products and what proportion is becoming gaseous off-gas. Future research could

look for Nm³/ADt varying reasons numerically, if it is then that it effects to some parameters.

6.4 Specific emissions

Reported specific emissions for NO_x does not depend from flue gas amount seemingly, in figure 39.

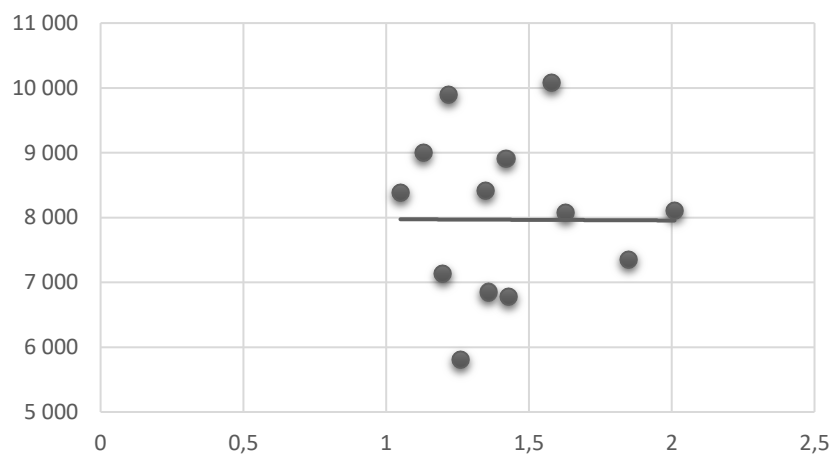


Figure 39 Reported volume Nm³ to kg NO_x year 2008.

Both big and small volume of RB's flue gas produces higher or smaller specific emission of NO_x. Hardwood proportion in reported values show less dependency, in figure 40.

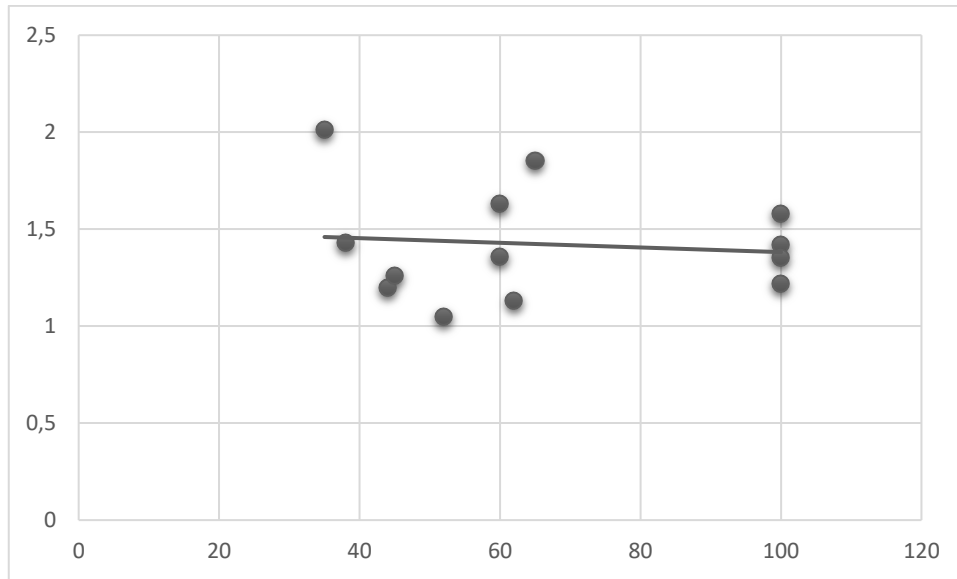


Figure 40 Reported kg/ADt and sw% year 2008.

Conjecture off-gas volume made by thesis worker from reported values and years 2016 approximated specific NO_x emissions present no sharp angle in trend line, in figure 41.

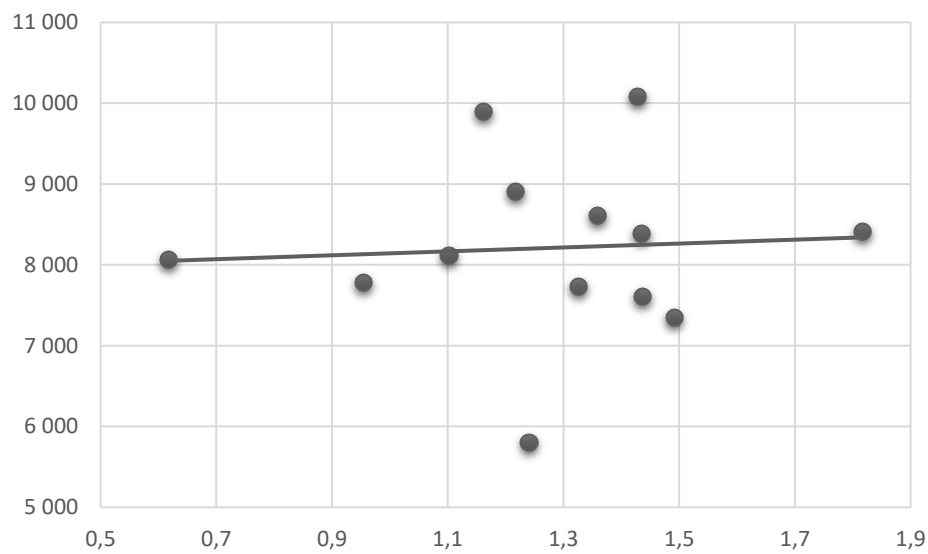


Figure 41 Conjecture volume and 2016 NO_x specif. emission in kg.

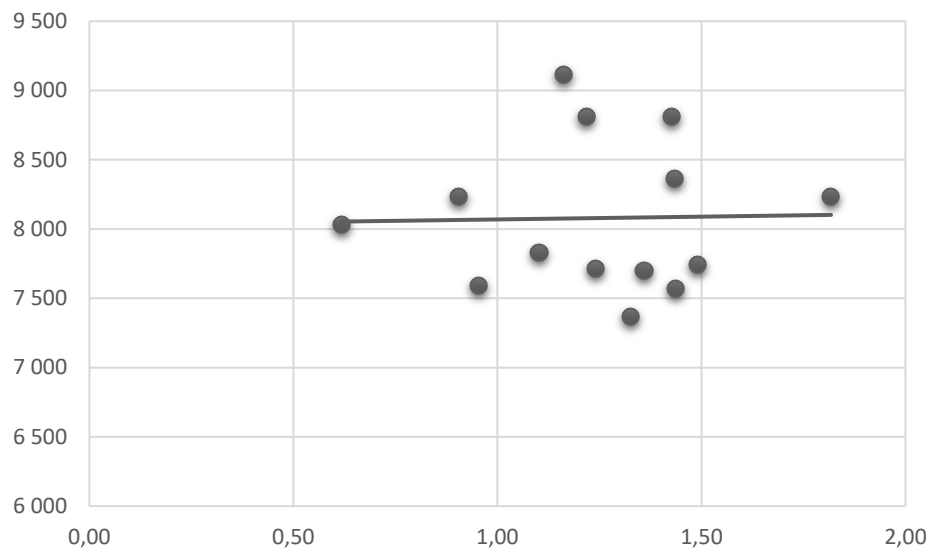


Figure 42 Year 2016 modelled flue gas volume Nm³/ADt and recovery boiler NO_x (kg/ADt) in year 2016.

Specific NO_x per produced ton of pulp generate no changes from gas volumetric or hardwood consumption.

7 CONCLUSIONS

Fluid movement in a channel of the RB furnace is needed to make balances for other emissions. Reporting of values there should be oxygen content clearly presented. Mostly, for the balances to be plain, there must be implementing rule for giving the flue gas flows, same gas state. Also notification to water content and other certain parametric measurements in simultaneous time frame that are needed for qualified flue gas flow results.

Pulp mills have differences on their operation and flue gas amount that they produce to the surrounding atmosphere. Open policy on why some mills at least report lower exit gas flows indicating higher yield of pulp could help the overall industry to set better operation possibly.

The BREF PP 2015 table 8.4 in page 795 does not greatly differentiate between hardwood and softwood the concentration of NO_x. Due to higher yield and lower off-gas volume of hardwood most likely the concentration of NO_x tend to be higher than 200 mg/m³n in some mills operating. Specific emission levels (kg NO_x/ADt) are more to be observed in recovery boiler for comparison. Generally some mills operate at too high dry solids content of black liquor and higher yield of pulp from wood, which is good for many reasons, but results higher NO_x concentrations in off-gas.

One proportion is that if higher volume of flue gas per tonne of produced pulp – more material was released to the atmosphere and not utilized as bio-based product. Same atoms, where combusted to the air as has it was not been transmuted to useful chemical pulp or by-product. Energy recovery is the last utilizing method in pulp mill, but it remains the important for running the factory well.

Lignin has prospective outlook in the future, it is turning to a product to be sold to the chemical industry makes it valuable to customers, it might be that RBs work in the future only for self-sufficiency reasons and process improvements. Lignin markets still need to be established. Next steps in Finnish companies in coming years will be reducing waste or reutilization of it as a by-product. Also these companies that own RBs in their pulp mill

components have made great plans to find new solutions to make more profit and contributions to the environmental protection.

8 SUMMARY

Forest industry and its pulp mills are many and several workers employ themselves in those places. RB releases air emissions, which are effected processes and wood species. Wood species are mainly two utilized in finnish kraft pulp mills. Those wood species have different chemical composition. . Obtaining desirable product it is important to use different wood species in pulping. Species pine, spruce and birch are the main three by total mass in Nordic countries in kraft pulp mills. Main component incinerated in RB is lignin. Softwoods have higher lignin content.

Step-by-step changes in emissions and energy balances have been used. Various purification techniques for air emissions have been adopted. Finnish kraft pulp mills saw significant results years 1990 – 2007 reduce in sulphuric air emissions, increasing dry solids content of the black liquor and by lime mud drying technologies.

Pulp mill contains two main lines fibre line and recovery line. We examined RBs flue gas flow, which are largest flue gas flow from the pulp mills units. Recovery systems main tasks are inorganic pulping chemicals recovery, incineration of dissolved organic material, organic by-products capture (tall oil) and prevention and control of pollutants. Without recovery system waste water load would be higher inside the mills environment and as well as emissions to air.

Reporting and measuring atmospheric emissions have in EU countries legal binding. Air emissions are averaged to annual period from the validated hourly data. Concentration and specific pollutant are reported. Periodic and continuous measurement are different. Relevant parameters for certain measurement component are pressure, temperature, oxygen, CO and water vapour content in flue-gas for combustion processes. Simultaneous and on same time-frame reported data gives more accurate result for others such as exit gas flow and concentration values. If there is other parameter monitored only periodically and the other continuously mathematically considered results are not dependable enough.

REFERENCES

Alén Raimo, 1998. Relationships between chemical composition and combustion properties of black liquor. Post-graduate course in recovery boiler technology. Helsinki University of Technology

Alén Raimo, Hupa Mikko, Noopila Taina, 1992. Combustion properties of organic constituents of kraft black liquors. *Holzforschung* Vol. 46. 337–342

Aumala, O., 2000. Teollisuusprosessien mittaukset. 4. rewritten edition. Pressus Oy, Tampere. ISBN 952-9835-31-0

Bajpai Pratima, 2017. Pulp and Paper Industry: Chemical Recovery Book. ISBN 978-0-12-811103-1 Kindle cloud reader edition no pages available

Bajpai Pratima, 2010. Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper. Wiley et sons. ISBN: 978-0-470-52810-5

BREF PP: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board 2015

Brinkmann Thomas, Both Ralf, Scalet Bianca Maria, Roudier Serge, Sancho Luis Delgado, 2018. JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations; EUR 29261 EN; doi 10.2760/344197

Boston consulting group. Improvement of pulp mill energy efficiency in an integrated pulp and paper mill.

CEPI, 2017. [E-document] Published July 19 2018. [Retrieved August 13, 2018]. <http://www.cepi.org/keystatistics2017>

Dahl Olli, 2008. Book 19 Environmental management and control. Papermaking science and technology. Paperi ja puu Oy. ISBN 78-952-5216-30-1

Durag, 2018. Products > Measuring & Monitoring > Volume Flow Measurement > D-FL 220 > Downloads [e-document] [Retrieved August 13, 2018].

https://www.durag.com/fileadmin/files/Products/Measuring_Monitoring/Volume_Flow_Measurement/D-FL_220/Downloads/bro_dfl220_en.pdf

EIPPCB, 2008. Questionnaires for data collection. European commission directorate-general joint research centre Institute for Prospective Technological Studies (Seville) Sustainable Production and Consumption Unit European. IPPC Bureau.

2014/687/EU: Commission Implementing Decision of 26 September 2014 establishing the best available techniques (BAT) conclusions, under Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council, for the production of pulp, paper and board (notified under document C(2014) 6750) Text with EEA relevance

http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2014/687/oj

Findicator, Front page > Renewable energy sources [e-document] Published December 8, 2017. [Retrieved August 13, 2018]. <https://findikaattori.fi/en/89>

Finnish Forest Industries. > Statistics Environment. 2017 [e-document] [Retrieved December 20, 2017]. <https://www.forestindustries.fi/statistics/pulp-and-paper-industry/>

Finnish Forest Industries. > Statistics Pulp and Paper industry. 2017 [e-document] [Retrieved January 9, 2018]. <https://www.forestindustries.fi/statistics/environment/>

Gasmet, 2018. FTIR Gas Analysis 2017 [e-document] Published January 17, 2018. [Retrieved September 4, 2018]. <https://www.gasmet.com/whats-new/white-papers/>

Gellerstedt Göran, 2009. Cellulose products and chemicals from the wood. Wood Chemistry and wood biotechnology. Edited by Monica Ek, Göran Gellerstedt, Gunnar Henriksson. De Gruyter, Inc, Berlin/Boston. Proquest Ebook Central. [Retrieved July 3, 2018].

Hamaguchi Marcelo, Vakkilainen Esa, 2011. Effect of timescale on emission levels from pulp mills. Lappeenranta University of Technology Faculty of Technology. LUT Energy Research report

Hammo Simo, 2000. Savukaasun tilavuusvirran jatkuvatoiminen määrittäminen. Tutkimusraportti EN B-131. LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO. ISBN 951-764-430-2

Haygreen J.G., Bowyer J.L., 1982. Forest products and wood science. Iowa State University Press.

Henriksson Gunnar, Brännwall Elisabet, Lennholm Helena, 2018. Wood chemistry and Wood biotechnology: Wood chemistry and Wood technology. Edited by Gellerstedt EK M, Henriksson, G. De Gruyter. Inc., Berlin/Boston. Proquest Ebook Central. [Retrieved July 3, 2018].

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2007. Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions. Head of Communication and Information Office, 9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France.

JRC, 2017. Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED installations. Revised final draft. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)

Jussila Pekka, 2007. SOODAKATTILAN PÄÄSTÖMITTAUSTEN MENETELMÄT Raportti 7/2007 / Pöyry Forest Industry Oy Suomen Soodakattilayhdistys ry ja Soodakattilayhdistyksen Automaatiotyöryhmä.

Jääskeläinen Anna-Stiina, Sundqvist Henna, 2007. Puun rakenne ja kemia. 607 Otatieto Helsinki University Press Finland Ltd. ISBN 978-951-672-351-1

Kellomäki Seppo, 2009. Forest Resources and Sustainable Management. Updated 2. edition ISBN 978-952-5216-32-5

Koch Gerald, 2006. Raw material for pulp. Handbook of Pulp. Edited by Herbert Sixta. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 3-527-30999-3

Kärkkäinen Matti, 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. ISBN: 9789525694109

Knowpulp. Learning environment [e-document] [Retrieved January 11, 2018]. <http://www.knowpulp.com/suomi/>

Krotscheck Andreas W., Sixta Herbert, 2006. Recovery. Handbook of Pulp. Edited by Herbert Sixta. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 3-527-30999-3

Luke Natural resources institute Finland, [E-document] [Retrieved August 13, 2018]. http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/en/LUKE/LUKE__04%20Metsa__04%20Talous__08%20Metsateollisuuden%20puunkaytto/02_metsateol_puunk_toimialoittain.px/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db

Luostarinen Kari,. Vakkilainen Esa, Marcelo Cardoso, Gustavo Matheus de Almeida, Marcelo Hamaguchi, 2011. Estimation of recovery boiler NO_x-emissions based on wood species, boiler age, load and ncg flows. Kari Tuominen: Future Pulp Mill with Energy products Andritz

Niemelä Klaus, Tamminen Tarja, Ohra-aho Taina, 2010. Characterisation of black liquor constituents.
[http://web.abo.fi/fak/tkf/spk/costfp0901/Vienna_2010/2_07_Vienna_Niemela.pdf]

Nilsson Pia, Puurunen Karina, Vasara Petri and Jouttijärvi Timo, 2007. Continuum – Rethinking BAT Emissions of the Pulp and Paper Industry in the European Union, The Finnish Environment Institute. ISBN 978-952-11-2642-0

Peavy Howard S., Rowe Donald R., Tchobanoglous George, 1985. Environmental engineering. McGraw-Hill International editions. Civil engineering series. ISBN 10: 0071002316

Pellikka Tuula, Kajolinna Tuula, Antson Olli, Högström Richard, 2018. Mittausepävarmuuden arviointiin uusia työkaluja. Ilmansuojelu 2|2018 Ilmansuojeluyhdistys. Scanseri Oy

Pinkerton John E., 2014. Trends in pulp and paper mill emissions of SO₂ and NO_x, 1980-2010. TAPPI JOURNAL February 2014

Rowell Roger M., Pettersen Roger, Han James S., Rowell Jeffrey S. and Tshabalala Mandla A., 2005. Cell wall chemistry. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Edited by Rowell, RM. CRC Press, Baton Rouge. Available from: ProQuest Ebook Central. [Retrieved July 19, 2018].

SFS-EN ISO 16911-2, 2013. Stationary source emissions. Manual and automatic determination of velocity and volume flow rate in ducts. Part 2: automated measuring systems Helsinki: Finnish Standards Association

SFS-EN 15259, 2008. Air quality - Measurement of stationary source emissions - Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report Helsinki: Finnish Standards Association

Sjöström Eero, 1993. Wood Chemistry, Fundamentals and Applications. Second Edition. Academic Press. ISBN 978-0-08-092589-9

Statistics Finland [E-document] Published May 25, 2016. [Retrieved May 5, 2018].
https://www.stat.fi/til/khki/2015/khki_2015_2016-05-25_tie_001_en.html

Statistics Finland [E-document] Published December 8, 2017. [Retrieved May 8, 2018].
 Home > Statistics > Environment and Natural Resources > Greenhouse gases > 2016 >
 Finland's greenhouse gases made an upturn
https://www.stat.fi/til/khki/2016/khki_2016_2017-12-08_tie_001_en.html

Suomen Soodakattilayhdistys ry: Soodakattilan vastaanottokokeet Materiaali- ja energiatase.

Vakkilainen Esa, 1999. Chemical recovery. Papermaking Science and Technology Book 6B. ISBN 952-5216-06-3

Vakkilainen Esa, Kivistö Aija, 2010. Energy consumption trends and energy consumption in modern mills in forest industry. ISBN 978-952-265-019-1

Wessman Helena, 2007. Factors contributing to improved environmental performance in the Finnish kraft pulping industry. 3 – 9 TAPPI JOURNAL, September 2007

Wiedenhoeft Alex C., 2005. Structure and Function of Wood. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Edited by Rowell Roger M. Boca Raton (FL) CRC Press cop. ISBN 0-8493-1588-3

Williams R. Sam, 2005. Weathering of Wood. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Edited by Rowell Roger M. Boca Raton (FL). CRC Press cop. ISBN 0-8493-1588-3

Mill B typical information given in datasheet for measurement of recovery boiler

BLACK LIQUOR	<u>units</u>
Liquor flow	tds/d
dry solids content in guns	%
density at guns	kg/l
temperature in the storage tank	°C
flow front	l/s
flow right	l/s
flow left	l/s
flow rear	l/s
FW & STEAM	
FW	kg/s
CBD	kg/s
SB	kg/s
net steam	kg/s
AUX FUEL IN OPERATION	
load gas	m3n/s
start up gas	bar
load gas	bar
AIR	
primary left	m3n/s
primary right	m3n/s
secondary left	m3n/s
secondary right	m3n/s
load burner air	m3n/s
tertiary front	m3n/s
tertiary rear	m3n/s
Strong to combustion	m3n/s
Strong to combustion	kg/s
FLUE GAS	
CO left	ppm
CO right	ppm
SO2	mg/m3n
TRS	mg/m3n
NOx	mg/m3n
Dust	%
O2 after BB left	%, wet
O2 after BB right	%, wet

Hardwood model for the Mill G

Wood species in cooking		3	Composition of formed black liquor dry solids						
				Mill liquor		laboratory		laboratory	
Air dry unbleached cellulose	1745	t/24 h	355 days/y	C	33,9 %	C	33,84 %	Org acids	32,16 %
Yield in Oxygen delignification	95	%		H	3,5 %	H	3,81 %	lignin	26,47 %
Yield from wood to dry unbleached cellulose	54	%	48-55	N	0,1 %			Soap	0,03 %
Pulp kappa before oxygen delignification	18			S	5,9 %	S	5,87 %	Other org	5,56 %
Pulp kappa after oxygen delignification	13			Na	19,3 %	Na	23,50 %	Org. Na	9,81 %
Washing efficieny unbleached pulp	99	%		K	1,5 %			NaOH	4,83 %
Washing efficieny bleached pulp	99	%		Cl	0,3 %			Na2S	12,92 %
Soap recovery efficiency	80	%		O by diff	35,5 %	O	32,98 %	Na2CO3	5,70 %
Water created when wood acids are neutralized	100	kg/t Bleached pulp		Inorganics	26,9	SUM	67,02 %	Na2SO4	2,52 %
NCG generation during cook	3	% wood		S/(Na2+K2)	41,76			SUM	100,00 %
Sulfur in NCG	2	kg/t Bleached pulp		Cl/(Na+K)	0,97				
				K/(Na+K)	4,38				
White liquor				Chemical composition of wood					
Active alkali, Na2O-% per wood	19	%							
White liquor sufidity	40	%		Cellulose	40 %				
White liquor dry solids	15	%		Hemicellulose	37 %				
Causticity	80	%		Lignin	20 %				
Reduction in white liquor	95	%		Extractives	3 %				
Black liquor dry solids	73	%		Summary	100				
Oxidized White liquor				Wood type	hardwood				
Oxidized White liquor used in Oxygen delignification	200	kg/t Bleached pulp							
Methanol formation in Oxygen delignification	0,2	kg/t Bleached pulp							

Heating value of black liquor dry-solids 13834 kJ/kg BLDS

Heat in to recovery boiler	18,246	GJ/t Bleached pulp
Heat in to recovery boiler per second	0,332	GJ/s
Massflow to recovery boiler	2153,0	tDS/24h
Massflow to recovery boiler	24,9	kgDS/s

		<u>comparison</u>	
Organic compounds	Air dry bleached pulp pulp	1657,282 t/24h	2850
	Dry bleached pulp pulp	1492 t/24h	2565
	Dry unbleached cellulose	1570 t/24h	2700
	Dry wood needed	2908 t/24h	5870
	Wood needed to make 1000 kg unbleached	1852 kg/t Bleached pulp	2174
	Loss as volatiles (including TRS-compounds)	56 kg/t Bleached pulp	65
	TRS-compound loss (assumed as methylmerkaptan)	3 kg/t Bleached pulp	3
	Water generated when acids in wood are neutralized	100 kg/t Bleached pulp	100
	Organic compounds in Black liquor	797 kg/t Bleached pulp	1110
	Organic compounds in pulp	996 kg/t Bleached pulp	995
	Lignin in wood to make 1 t of unbleached pulp	370 kg/t Bleached pulp	435
	Lignin in unbleached pulp	28 kg/t Bleached pulp	45
	Lignin in Black liquor	342 kg/t Bleached pulp	390
	Tall oil from rosins and fatty acids	2 kg/t Bleached pulp	2
	Tall oil remains	0 kg/t Bleached pulp	0
	Tall oil recovered	2 kg/t Bleached pulp	2
	Tall oil in black liquor	0 kg/t Bleached pulp	0
	Other organic compounds formation (4 % from wood)	74 kg/t Bleached pulp	87
	Other organic compounds to pulp	1 kg/t Bleached pulp	1
	Other organic compounds to Black liquor	73 kg/t Bleached pulp	86
	Organic acids to Black liquor	381 kg/t Bleached pulp	634
	<u>Sum of Organic compounds to Black liquor</u>	<u>797</u> kg/t Bleached pulp	<u>1110</u>
	Lignin heating value	8597 kJ/kg Bleached pulp	9788
	Rosins and fatty acids heating value	15 kJ/kg Bleached pulp	15
	Organic acids heating value	5280 kJ/kg Bleached pulp	8597
	Other organic compounds heating value	1390 kJ/kg Bleached pulp	1632
	<u>Sum of organic compounds heating value</u>	<u>15281</u> kJ/kg Bleached pulp	<u>20031</u>

White liquor (estimate)	Active alkali, NaOH-% per dry wood	24 %	24
	Active alkali kg/t unbleached pulp, Na ₂ O	352 kg/t Bleached pulp	402
	Active alkali kg/t unbleached pulp, NaOH	449 kg/t Bleached pulp	514
	NaOH charge as Na ₂ O	211 kg/t Bleached pulp	261
	NaOH charge as NaOH	272 kg/t Bleached pulp	337
	Na ₂ S charge as Na ₂ O	141 kg/t Bleached pulp	141
	Na ₂ S charge as NaOH	182 kg/t Bleached pulp	182
	Active alkali concentration, Na ₂ O	115 g/l	112
	Active alkali concentration, NaOH	148 g/l	144
	White liquor density	1169 g/l	1169
	Na ₂ CO ₃ in white liquor as Na ₂ O	42 kg/t Bleached pulp	58
	Na ₂ SO ₄ in white liquor as Na ₂ O	7 kg/t Bleached pulp	8
	<u>Sum of inorganic compounds in white liquor</u>	<u>538 kg/t Bleached pulp</u>	<u>632</u>
	Sum of inorganic compounds in white liquor as Na ₂ O	401 kg/t Bleached pulp	468
Black liquor	NaOH in black liquor	50 kg/t Bleached pulp	<u>114</u>
	Organically bound Na in black liquor	129 kg/t Bleached pulp	<u>129</u>
	Na ₂ S in black liquor	170 kg/t Bleached pulp	<u>170</u>
	Na ₂ CO ₃ in black liquor	71 kg/t Bleached pulp	<u>97</u>
	Na ₂ SO ₄ in black liquor	16 kg/t Bleached pulp	<u>19</u>
	<u>Inorganic compounds in black liquor</u>	<u>437 kg/t Bleached pulp</u>	<u>530</u>
	<u>Inorganic compounds, (Na₂S heating value)</u>	<u>2199 kJ/kg Bleached pulp</u>	<u>2199</u>
Inorganic compounds in wood	NaOH pulp	1 kg/t Bleached pulp	<u>1</u>
	Na in pulp organically bound	1 kg/t Bleached pulp	<u>1</u>
	Na ₂ S pulp	2 kg/t Bleached pulp	<u>2</u>
	Na ₂ CO ₃ pulp	1 kg/t Bleached pulp	<u>1</u>
	Na ₂ SO ₄ pulp	0 kg/t Bleached pulp	0
	<u>Inorganic compounds pulp</u>	<u>4 kg/t Bleached pulp</u>	5
	<u>Black liquor dry solids from cooking</u>	<u>1234 kg/t Bleached pulp</u>	1641
Oxygen stage	Bleached pulp formation	950 kg/t Bleached pulp	950
	Bleached pulp inorganic compounds	5 kg/t Bleached pulp	6
	Bleached pulp organic compounds	945 kg/t Bleached pulp	944
	Loss of unbleached pulp during bleaching	50 kg/t Bleached pulp	50
	Lignin in bleached pulp	21 kg/t Bleached pulp	31
	Lignin dissolved to bleaching effluent	7 kg/t Bleached pulp	14
	Metanol creation	0,2 kg/t Bleached pulp	0
	Organic acids to bleaching effluent	43 kg/t Bleached pulp	36
	<u>Organic compounds in bleaching effluent</u>	<u>50 kg/t Bleached pulp</u>	50

Appendix II, 4

oxidized White liquor

White liquor oxidizing reaction: $2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$

Oxidized White liquor used in Oxygen delignification	200 kg/t Bleached pulp	200
Unoxidized White liquor dry solids	15 %	15
Unoxidized White liquor dry matter	150 kg/t WL unoxidated	150
Unoxidized White liquor water	850 kg/t WL unoxidated	850
Unoxidized White liquor Na ₂ S-content	33 %	28
Unoxidized White liquor NaOH-content	51 %	53
Unoxidized White liquor Na ₂ CO ₃ -content	13 %	16
Unoxidized White liquor Na ₂ SO ₄ -content	3 %	3
TOTAL	100 %	100

White liquor oxidation reaction: $2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$

Na ₂ S in one ton of unoxidized White liquor	49 kg/t WL unoxidated	42
Na ₂ S ₂ O ₃ in oxidation reaction	50 kg/t WL unoxidated	43
NaOH created in oxidation reaction	25 kg/t WL unoxidated	22
Water lost in oxidation reaction	6 kg/t WL unoxidated	5

NaOH in oxidized White liquor	101 kg/1021 kg WL oxidated	102
Na ₂ S ₂ O ₃ in oxidized White liquor	50 kg/1021 kg WL oxidated	43
Na ₂ CO ₃ in oxidized White liquor	20 kg/1021 kg WL oxidated	23
Na ₂ SO ₄ in oxidized White liquor	4 kg/1021 kg WL oxidated	5
Water in oxidized White liquor	844 kg/1021 kg WL oxidated	845
Sum of oxidized White liquor	1020 kg	1017

Oxygen delignification Na₂S₂O₃ oxidized fully to Na₂SO₄
 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{O}_2 + 2\text{NaOH} \Rightarrow 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Oxygen delignification NaOH used to oxidize thiosulfate	25 kg/1021 kg WL oxidated	21,55
Oxygen delignification Na ₂ SO ₄ created in oxidizing thiosulfate	90 kg/1021 kg WL oxidated	76,49
Oxygen delignification H ₂ O created in oxidizing thiosulfate	6 kg/1021 kg WL oxidated	4,85
Sum of water and inorganics in Bleaching residue	1091 kg	1077

NaOH in oxygen bleaching residue	14 kg/t Bleached pulp	15
Na ₂ S ₂ O ₃ in oxygen bleaching residue	0 kg/t Bleached pulp	0
Na ₂ CO ₃ in oxygen bleaching residue	4 kg/t Bleached pulp	4
Na ₂ SO ₄ in oxygen bleaching residue	17 kg/t Bleached pulp	15
<u>Sum of Inorganic compounds to bleaching effluent</u>	<u>35 kg/t Bleached pulp</u>	<u>34</u>

Dry solids in Bleaching residue	85 kg/t Bleached pulp	84
--	------------------------------	-----------

Bleaching residue heating value

Lignin heating value in Bleaching residue	168 kJ/kg Bleached pulp	357
Organic acids heating value in Bleaching residue	597 kJ/kg Bleached pulp	482
Na ₂ S ₂ O ₃ heating value in Bleaching residue	0 kJ/kg Bleached pulp	0
Bleaching residue heating value yhteensä	765 kJ/kg Bleached pulp	839

Sum of Black liquor and Bleaching residue Dry solids	1319 kg/t Bleached pulp	1725
---	--------------------------------	-------------

Liquor analysis		Design value	Estimate from HHV
Flow	Tds/d	2300,8	
HHV	MJ/kgds	13,83	13,8
C	mass-%, d	33,95	33,9
H	mass-%, d	5,87	3,4
N	mass-%, d	0,10	0,1
S	mass-%, d	5,87	5,9
Na	mass-%, d	19,26	19,3
K	mass-%, d	1,50	1,5
Cl	mass-%, d	0,30	0,3
Inorganics	mass-%, d	26,9	26,9
Dry solids	%	73	73
Air ratio	-	1,164	1,164

(estimate)	<u>Black liquor total heating value</u>		18246	kJ/kg Bleached pulp	23070	NetHeat	kW/kgds	7973	8037
	<u>Black liquor Dry solids heating value</u>		13834	kJ/kg BLDS	13375	Air at 1.0	m3n/kgds	2,93	2,89
	Dry solids to recovery boiler		1319	kg/t Bleached pulp	1725	Air at 1.x	m3n/kgds	3,410	3,363
	Dry solids organic matter content		64,22	%	67	Air/HHV	m3n/MJ	0,212	0,209
	Black liquor to recovery boiler		1807	kg/t Bleached pulp	2464	FG at 1.x	m3n/kgds	4,269	4,220
	Black liquor density		1400	g/l	1400	FG/HHV	m3n/MJ	0,309	0,305
	Flue gases					FGdry at 1	m3n/kgds	3,664	3,625
			4832	m3n/Adt	5798	Fg	m3n/s	113,68	5630 m3n(wet)/#
							kg/s	140,3	
						Air	m3n/s	78,0	
<u>Heat to recovery boiler</u>		18,25	GJ/t Bleached pulp	23,07	Fg from hw Fg form sw		kg/s	100,0	
"		0,332	GJ/s	0,721	3189,016 3470,202	FG(dry)	m3n/s	97,56	4831,84 m3n(dry)/A
Moolmass					6659,218 combined		kg/s	120,4	
Na2O		61,97894	g/mol						
NaOH		39,99707	"						
Alkali conversion NaOH		=	1,290666475	Na2O					
(estimate)	<u>Black liquor total heating value</u>		18246	kJ/kg Bleached pulp	23070	NetHeat	kW/kgds	7973	8037
	<u>Black liquor Dry solids heating value</u>		13834	kJ/kg BLDS	13375	Air at 1.0	m3n/kgds	2,93	2,89
	Dry solids to recovery boiler		1319	kg/t Bleached pulp	1725	Air at 1.x	m3n/kgds	3,410	3,363
	Dry solids organic matter content		64,22	%	67	Air/HHV	m3n/MJ	0,212	0,209
	Black liquor to recovery boiler		1807	kg/t Bleached pulp	2464	FG at 1.x	m3n/kgds	4,269	4,220
	Black liquor density		1400	g/l	1400	FG/HHV	m3n/MJ	0,309	0,305
	Flue gases					FGdry at 1	m3n/kgds	3,664	3,625
			4832	m3n/Adt	5798	Fg	m3n/s	113,68	5630 m3n(wet)/#
							kg/s	140,3	
						Air	m3n/s	78,0	
<u>Heat to recovery boiler</u>		18,25	GJ/t Bleached pulp	23,07	Fg from hw Fg form sw		kg/s	100,0	
"		0,332	GJ/s	0,721	3189,016 3470,202	FG(dry)	m3n/s	97,56	4831,84 m3n(dry)/A
Moolmass					6659,218 combined		kg/s	120,4	
Na2O		61,97894	g/mol						
NaOH		39,99707	"						
Alkali conversion NaOH		=	1,290666475	Na2O					

Wood species Compounds in liquor and their heating values

Pine		SI heating value		C %	H %	O %	Na %	S %	Muut %	yht
Spruce	ORG. ACIDS FROM CARBOHYDRATES									
Birch	softwood (Pine)	13855 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
Euca	softwood (Spruce)	13340 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
Other	hardwood (Birch)	13555 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
	Hardwood (Euca)	13555 kJ/kg			6	48	0	0	0	54
	LIGNIN									
	softwood (Pine)	25300 kJ/kg		66	5,8	28,2	0	0	0	100
	softwood (Spruce)	26900 kJ/kg		64	6	30	0	0	0	100
	hardwood (Birch)	25110 kJ/kg		60	5,8	34,2	0	0	0	100
	Hardwood (Euca)	25110 kJ/kg		60	5,8	34,2	0	0	0	100
J. Gullichsenin corresponding values are:	softwoodlignin	26377 kJ/kg		64	6	30	0	0	0	100
(Lignin heating value bit smaller)	hardwoodlignin	24702 kJ/kg		60	6	34	0	0	0	100
org. acids heating value bit larger)	Acids from carbohydrates	17585 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
	RESINS									
	rosins and fatty acids	37710 kJ/kg	arvio=>	77	12	11	0	0	0	100
	OTHER ORGANIC COMPOUNDS									
	other organic compounds	18955 kJ/kg	arvio=>	45	4	51	0	0	0	100
	INORGANIC SUBSTANCES									
	Na ₂ S ₂ O ₃	5790 kJ/kg		0	0	30	29	41	0	100
	Na ₂ S	12900 kJ/kg		0	0	0	59	41	0	100
	Na ₂ SO ₄	0 kJ/kg		0	0	45,1	32,4	22,5	0	100
	NaOH	0 kJ/kg		0	2,5	40	57,5	0	0	100
	Na ₂ CO ₃	0 kJ/kg		11,3	0	45,3	43,4	0	0	100
	Others	0 kJ/kg		0	0	0	0	0	100	100
	SMELLY GASES AND VOLATILES									
	CH ₃ SH	26100 kJ/kg								
	CH ₃ SCH ₃	30900 kJ/kg								
	CH ₃ SSCH ₃	23600 kJ/kg								
	methanol	22300 kJ/kg								
	turpentine	29200 kJ/kg								
	REACTION HEATS	465 MJ/t pulp								

Chemical compositions

		Pine	Spruce	Birch	Euca	Other
Cellulose	%	39	41	40	45	0
Hemicellulose	%	30	30	37	25	0
Lignin	%	27	27	20	27	0
Extractives	%	4	2	3	3	0
		softwood	softwood	hardwood	hardwood	
Summary		100	100	100	100	0

Softwood model for the Mill G

Wood species in cooking	1	Composition of formed black liquor dry solids						
				Mill liquor		laboratory	laboratory	
Air dry unbleached cellulose	1427 t/24 h	355 days/y	C	36,7 %	C	38,23 %	Org acids	27,48 %
Yield in Oxygen delignification	96 %		H	3,8 %	H	4,01 %	lignin	34,09 %
Yield from wood to dry unbleached cellulose	48 %	40-48	N	0,1 %			Soap	0,29 %
Pulp kappa before oxygen delignification	28		S	5,4 %	S	5,42 %	Other org	5,21 %
Pulp kappa after oxygen delignification	14		Na	17,5 %	Na	21,31 %	Org. Na	8,17 %
Washing efficieny unbleached pulp	99 %		K	1,5 %			NaOH	5,75 %
Washing efficieny bleached pulp	99 %		Cl	0,3 %			Na2S	11,89 %
Soap recovery efficiency	80 %		O by diff	34,7 %	O	31,02 %	Na2CO3	4,69 %
Water created when wood acids are neutralized	100 kg/t Bleached pulp		Inorganics	24,7	SUM	68,98 %	Na2SO4	2,44 %
NCG generation during cook	3 % wood		S/(Na2+K2)	42,31			SUM	100,00 %
Sulfur in NCG	2 kg/t Bleached pulp		Cl/(Na+K)	1,06				
			K/(Na+K)	4,80				
White liquor								
Active alkali, Na2O-% per wood	18,6 %							
White liquor sulfidity	40 %							
White liquor dry solids	15 %							
Causticity	82 %					%		
Reduction in white liquor	94 %		Cellulose	39 %				
Black liquor dry solids	73 %		Hemicellulose	30 %				
			Lignin	27 %				
Oxidized White liquor			Extractives	4 %				
Oxidized White liquor used in Oxygen delignification	200 kg/t Bleached pulp		Summary	100				
Methanol formation in Oxygen delignification	0,2 kg/t Bleached pulp		Wood type	softwood				

Heating value of black liquor dry-solids

Heat in to recovery boiler

Heat in to recovery boiler per second

Massflow to recovery boiler

Massflow to recovery boiler

15061 kJ/kg BLDS

23,849 GJ/t Bleached pulp

0,355 GJ/s

2153,5 tDS/24h

24,9 kgDS/s

Organic compound	Air dry bleached pulp pulp	1370,231 t/24h	2850	
	Dry bleached pulp pulp	1233 t/24h	2565	
	Dry unbleached cellulose	1285 t/24h	2700	
	Dry wood needed	2676 t/24h	5870	
	Wood needed to make 1000 kg unbleached	2083 kg/t Bleached pulp	2174	
	Loss as volatiles (including TRS-compounds)	63 kg/t Bleached pulp	65	
	TRS-compound loss (assumed as methylmerkaptan)	3 kg/t Bleached pulp	3	
	Water generated when acids in wood are neutralized	100 kg/t Bleached pulp	100	
	Organic compounds in Black liquor	1022 kg/t Bleached pulp	1110	
	Organic compounds in pulp	995 kg/t Bleached pulp	995	
	Lignin in wood to make 1 t of unbleached pulp	563 kg/t Bleached pulp	435	
	Lignin in unbleached pulp	42 kg/t Bleached pulp	45	
	Lignin in Black liquor	520 kg/t Bleached pulp	390	
	Tall oil from rosins and fatty acids	23 kg/t Bleached pulp	2	
	Tall oil remains	0 kg/t Bleached pulp	0	
	Tall oil recovered	18 kg/t Bleached pulp	2	
	Tall oil in black liquor	5 kg/t Bleached pulp	0	
	Other organic compounds formation (4 % from wood)	83 kg/t Bleached pulp	87	
	Other organic compounds to pulp	1 kg/t Bleached pulp	1	
	Other organic compounds to Black liquor	83 kg/t Bleached pulp	86	
	Organic acids to Black liquor	415 kg/t Bleached pulp	634	
	<u>Sum of Organic compounds to Black liquor</u>	<u>1022 kg/t Bleached pulp</u>	<u>1110</u>	
	Lignin heating value	13167 kJ/kg Bleached pulp	9788	Heating value kJ/BDt 14148
	Rosins and fatty acids heating value	170 kJ/kg Bleached pulp	15	Heating value kJ/BDt 174
	Organic acids heating value	5746 kJ/kg Bleached pulp	8597	Heating value kJ/BDt 7393
	Other organic compounds heating value	1564 kJ/kg Bleached pulp	1632	Heating value kJ/BDt 1254
	<u>Sum of organic compounds heating value</u>	<u>20648 kJ/kg Bleached pulp</u>	<u>20031</u>	<u>Heating value kJ/BDt 22968</u>
White liquor	Active alkali, NaOH-% per dry wood	24 %	24	
	Active alkali kg/t unbleached pulp, Na ₂ O	388 kg/t Bleached pulp	402	
	Active alkali kg/t unbleached pulp, NaOH	495 kg/t Bleached pulp	514	
	NaOH charge as Na ₂ O	233 kg/t Bleached pulp	261	
	NaOH charge as NaOH	300 kg/t Bleached pulp	337	
	Na ₂ S charge as Na ₂ O	155 kg/t Bleached pulp	141	
	Na ₂ S charge as NaOH	200 kg/t Bleached pulp	182	

(estimate)	Active alkali concentration, Na ₂ O	116 g/l	112
	Active alkali concentration, NaOH	149 g/l	144
	White liquor density	1169 g/l	1169
	Na ₂ CO ₃ in white liquor as Na ₂ O	42 kg/t Bleached pulp	58
	Na ₂ SO ₄ in white liquor as Na ₂ O	9 kg/t Bleached pulp	8
	<u>Sum of inorganic compounds in white liquor</u>	<u>588</u> kg/t Bleached pulp	<u>632</u>
	Sum of inorganic compounds in white liquor as Na ₂ O	439 kg/t Bleached pulp	468
	Black liquor NaOH in black liquor	77 kg/t Bleached pulp	<u>114</u>
	Organically bound Na in black liquor	129 kg/t Bleached pulp	<u>129</u>
	Na ₂ S in black liquor	188 kg/t Bleached pulp	<u>170</u>
	Na ₂ CO ₃ in black liquor	71 kg/t Bleached pulp	<u>97</u>
	Na ₂ SO ₄ in black liquor	21 kg/t Bleached pulp	<u>19</u>
	<u>Inorganic compounds in black liquor</u>	<u>487</u> kg/t Bleached pulp	<u>530</u>
	Inorganic compounds, (Na₂S heating value)		
		kJ/kg Bleached pulp	
		<u>2428</u>	<u>2199</u>
	Inorganic compounds in wood		
	NaOH pulp	1 kg/t Bleached pulp	<u>1</u>
	Na in pulp organically bound	1 kg/t Bleached pulp	<u>1</u>
	Na ₂ S pulp	2 kg/t Bleached pulp	<u>2</u>
	Na ₂ CO ₃ pulp	1 kg/t Bleached pulp	<u>1</u>
	Na ₂ SO ₄ pulp	0 kg/t Bleached pulp	0
	<u>Inorganic compounds pulp</u>	<u>5</u> kg/t Bleached pulp	5
	<u>Black liquor dry solids from cooking</u>	<u>1509</u> kg/t Bleached pulp	1641
	<u>Bleached pulp formation</u>	<u>960</u> kg/t Bleached pulp	950
	<u>Bleached pulp inorganic compounds</u>	<u>5</u> kg/t Bleached pulp	6
	<u>Bleached pulp organic compounds</u>	<u>955</u> kg/t Bleached pulp	944
Oxygen stage	<u>Loss of unbleached pulp during bleaching</u>	<u>40</u> kg/t Bleached pulp	50
	<u>Lignin in bleached pulp</u>	<u>23</u> kg/t Bleached pulp	31
	<u>Lignin dissolved to bleaching effluent</u>	<u>19</u> kg/t Bleached pulp	14

oxidized White liquor	<u>Metanol creation</u>	<u>0,2</u> kg/t Bleached pulp	0
	<u>Organic acids to bleaching effluent</u>	<u>20</u> kg/t Bleached pulp	36
	<u>Organic compounds in bleaching effluent</u>	<u>40</u> kg/t Bleached pulp	50
	White liquor oxidizing reaction: $2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$		
	Oxidized White liquor used in Oxygen delignification		
		200 kg/t Bleached pulp	200
	Unoxidized White liquor dry solids	15 %	15
	Unoxidized White liquor dry matter	150 kg/t WL unoxidated	150
	Unoxidized White liquor water	850 kg/t WL unoxidated	850
	Unoxidized White liquor Na ₂ S-content	33 %	28
	Unoxidized White liquor NaOH-content	51 %	53
	Unoxidized White liquor Na ₂ CO ₃ -content	12 %	16
	Unoxidized White liquor Na ₂ SO ₄ -content	4 %	3
	TOTAL	100 %	100
	White liquor oxidation reaction: $2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH}$		

Na ₂ S in one ton of unoxidized White liquor	50 kg/t WL unoxidated	42
Na ₂ S ₂ O ₃ in oxidation reaction	50 kg/t WL unoxidated	43
NaOH created in oxidation reaction	26 kg/t WL unoxidated	22
Water lost in oxidation reaction	6 kg/t WL unoxidated	5
NaOH in oxidized White liquor	102 kg/1021 kg WL oxidat	102
Na ₂ S ₂ O ₃ in oxidized White liquor	50 kg/1021 kg WL oxidat	43
Na ₂ CO ₃ in oxidized White liquor	18 kg/1021 kg WL oxidat	23
Na ₂ SO ₄ in oxidized White liquor	5 kg/1021 kg WL oxidat	5
Water in oxidized White liquor	844 kg/1021 kg WL oxidat	845
<i>Sum of oxidized White liquor</i>	1020 kg	1017
Oxygen delignification Na ₂ S ₂ O ₃ oxidized fully to Na ₂ SO ₄ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{O}_2 + 2\text{NaOH} \Rightarrow 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$		
Oxygen delignification NaOH used to oxidize thiosulfate	26 kg/1021 kg WL oxidat	21,55
Oxygen delignification Na ₂ SO ₄ created in oxidizing thiosulfate	91 kg/1021 kg WL oxidat	76,49
Oxygen delignification H ₂ O created in oxidizing thiosulfate	6 kg/1021 kg WL oxidat	4,85
<i>Sum of water and inorganics in Bleaching residue</i>	1091 kg	1077

	NaOH in oxygen bleaching residue	14 kg/t Bleached pulp	15
	Na ₂ S ₂ O ₃ in oxygen bleaching residue	0 kg/t Bleached pulp	0
	Na ₂ CO ₃ in oxygen bleaching residue	3 kg/t Bleached pulp	4
	Na ₂ SO ₄ in oxygen bleaching residue	18 kg/t Bleached pulp	15
	<u>Sum of Inorganic compounds to bleaching effluent</u>	35 kg/t Bleached pulp	34
	Dry solids in Bleaching residue	75 kg/t Bleached pulp	84
Bleaching residue heating value	Lignin heating value in Bleaching residue	492 kJ/kg Bleached pulp	357
	Organic acids heating value in Bleaching residue	282 kJ/kg Bleached pulp	482
	Na ₂ S ₂ O ₃ heating value in in Bleaching residue	0 kJ/kg Bleached pulp	0
	Bleaching residue heating value yhteensä	774 kJ/kg Bleached pulp	839
	Sum of Black liquor and Bleaching residue Dry solids	1584 kg/t Bleached pulp	1725
	<u>Black liquor total heating value</u>	<u>23849 kJ/kg Bleached pulp</u>	<u>23070</u>
	<u>Black liquor Dry solids heating value</u>	<u>15061 kJ/kg BLDS</u>	<u>13375</u>
	Dry solids to recovery boiler	1584 kg/t Bleached pulp	1725
	Dry solids organic matter content	67,06 %	67
	Black liquor to recovery boiler	2169 kg/t Bleached pulp	2464
(estimate)	Black liquor density	1400 g/l	1400
	Flue gases	6426 m3n(dry)/Adt	7712
	<u>Heat to recovery boiler</u>	<u>23,85 GJ/t Bleached pulp</u>	<u>23,07</u>
	"	<u>0,355 GJ/s</u>	<u>0,721</u>
	Moolmass		
	Na ₂ O	61,97894 g/mol	
	NaOH	39,99707 "	
	Alkali conversion NaOH	=	1,290666475 Na ₂ O

Liquor analysis		Design value	Estimate from HHV
Flow	Tds/d	2260,2	
HHV	MJ/kgds	15,06	15,1
C	mass-%, d	36,65	36,7
H	mass-%, d	3,81	3,7
N	mass-%, d	0,10	0,1
S	mass-%, d	5,42	5,4
Na	mass-%, d	17,50	17,5
K	mass-%, d	1,50	1,5
Cl	mass-%, d	0,30	0,3
Inorganics	mass-%, d	24,7	24,7
Dry solids	%	73	73
Air ratio	-	1,164	1,164
NetHeat	kW/kgds	9245	9313
Air at 1.0	m3n/kgds	3,26	3,21
Air at 1.x	m3n/kgds	3,790	3,739
Air/HHV	m3n/MJ	0,216	0,213
FG at 1.x	m3n/kgds	4,690	4,637
FG/HHV	m3n/MJ	0,311	0,308
FGdry at 1	m3n/kgds	4,058	4,017
Fg(wet)	m3n/s	122,68	7426
	kg/s	151,4	
Air	m3n/s	85,2	
	kg/s	109,2	
FG(dry)	m3n/s	106,16	6426,30
	kg/s	131,0	

Wood species Compounds in liquor and their heating values

Pine		SI heating value		C %	H %	O %	Na %	S %	Muut %	yht
Spruce	ORG. ACIDS FROM CARBOHYDRATES									
Birch	softwood (Pine)	13855 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
Euca	softwood (Spruce)	13340 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
Other	hardwood (Birch)	13555 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
	Hardwood (Euca)	13555 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
	LIGNIN									
	softwood (Pine)	25300 kJ/kg		66	5,8	28,2	0	0	0	100
	softwood (Spruce)	26900 kJ/kg		64	6	30	0	0	0	100
	hardwood (Birch)	25110 kJ/kg		60	5,8	34,2	0	0	0	100
	Hardwood (Euca)	25110 kJ/kg		60	5,8	34,2	0	0	0	100
J. Gullichsen:	softwoodlignin	26377 kJ/kg		64	6	30	0	0	0	100
(Lignin heating value bit smaller	hardwoodlignin	24702 kJ/kg		60	6	34	0	0	0	100
org. acids heating value bit larger)	Acids from carbohydrates	17585 kJ/kg		46	6	48	0	0	0	100
	RESINS									
	rosins and fatty acids	37710 kJ/kg	arvio=>	77	12	11	0	0	0	100
	OTHER ORGANIC COMPOUNDS									
	other organic compounds	18955 kJ/kg	arvio=>	45	4	51	0	0	0	100
	INORGANIC SUBSTANCES									
	Na2S2O3	5790 kJ/kg		0	0	30	29	41	0	100
	Na2S	12900 kJ/kg		0	0	0	59	41	0	100
	Na2SO4	0 kJ/kg		0	0	45,1	32,4	22,5	0	100
	NaOH	0 kJ/kg		0	2,5	40	57,5	0	0	100
	Na2CO3	0 kJ/kg		11,3	0	45,3	43,4	0	0	100
	Others	0 kJ/kg		0	0	0	0	0	100	100
	SMELLY GASES AND VOLATILES									
	CH3SH	26100 kJ/kg								
	CH3SCH3	30900 kJ/kg								
	CH3SSCH3	23600 kJ/kg								
	methanol	22300 kJ/kg								
	turpentine	29200 kJ/kg								
	REACTION HEATS	465 MJ/t pulp								

		Pine	Spruce	Birch	Euca	Other
Cellulose	%	39	41	40	45	0
Hemicellulose	%	30	30	37	25	0
Lignin	%	27	27	20	27	0
Extractives	%	4	2	3	3	0
		softwood	softwood	hardwood	hardwood	
Summary		100	100	100	100	0

Periodic measurement of emissions to air EU specific standards (Brinkmann et al. 2018, 127 – 130)

Parameter/ Substance(s) ⁽¹⁾	EN or ISO standard ⁽¹⁾	Monitoring methods	Measurement ranges and/or measurement limits ⁽²⁾	Remarks
Ammonia (NH ₃)	No EN or ISO standard available	NA	NA	ISO standard being prepared (ISO/DIS 21877:2018); several national/industry standards are available, e.g. IS 11255- 6; NF X43-303; SCAQMD 207.1; UNICHIM 632; US EPA CTM-027; VDI 3878
Carbon monoxide (CO)	EN 15058:2017	Extraction, filtration and conditioning, followed by non-dispersive infrared spectrometry	Up to 400 mg/m ³ at large combustion plants (sampling duration of 30 min); Up to 740 mg/m ³ at waste (co-)incineration plants (sampling duration of 30 min)	—
Dinitrogen monoxide (N ₂ O)	EN ISO 21258:2010	Extraction, filtration and conditioning, followed by non-dispersive infrared spectrometry	Up to 200 mg/m ³ ⁽³⁾	—
Dust	EN 13284-1:2017	Extraction and filtration, followed by gravimetry	Up to 50 mg/m ³ , measurements typically at 5 mg/m ³ ; LoD: ~ 0.3 mg/m ³ (dry gases, sampling duration of 30 min), ~ 2 mg/m ³ (vapour-saturated gases, sampling duration of 30 min) ⁽³⁾	—
Flow rate	EN ISO 16911-1:2013	- Differential pressure (Pitot tube) - Vane anemometer - Tracer dilution - Tracer transit time - Calculation from energy consumption	NS	CEN/TR 17078:2017 provides guidance on the application of EN ISO 16911-1:2013
Formaldehyde (CH ₂ O)	No EN or ISO standard available	NA	NA	Several national/industry standards are available, e.g. CARB M 430; FD X43-319; NCASI CI/WP-98.01; US EPA M 0011 and M 316; VDI 3862-2 and -6

Parameter/ Substance(s) ⁽¹⁾	EN or ISO standard ⁽¹⁾	Monitoring methods	Measurement ranges and/or measurement limits ⁽²⁾	Remarks
Gaseous chlorides	EN 1911:2010	Extraction and filtration, followed by absorption in water with subsequent chloride determination by a) silver potentiometric titration, b) mercury(II) thiocyanate spectrophotometry or c) ion chromatography	1 mg/m ³ to 5 000 mg/m ³ ⁽³⁾ ; LoD: ~ 0.2 mg/m ³ (sample gas volume of 0.4 m ³ to 0.5 m ³ , sampling duration of 2 h, method A); For water analysis: a): LoD: 0.5 mg/l to 1 mg/l b) and c): LoD: 0.05 mg/l to 0.1 mg/l	—
Gaseous fluorides	ISO 15713:2006	Extraction and filtration, followed by absorption in liquid phase with subsequent use of an ion-selective electrode	Up to 200 mg/m ³ ; LoD: ~ 0.1 mg/m ³ (sample gas volume of 0.1 m ³)	—
Gaseous organic compounds	No EN or ISO standard available	NA	NA	CEN/TS 13649:2014 describes the determination of the mass concentration of individual gaseous organic compounds
Mercury (Hg)	EN 13211:2001	Extraction and filtration, followed by absorption in liquid phase (solution of KMnO ₄ /H ₂ SO ₄ or K ₂ Cr ₂ O ₇ /HNO ₃); subsequent digestion of the filter; final analysis of the aqueous samples by AAS	1 µg/m ³ to 500 µg/m ³ ⁽³⁾ ; LoD: 2.6 µg/m ³ (sample gas volume of 0.05 m ³)	AC:2005 (Technical corrigendum)
Metals (As, Cd, Tl, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	EN 14385:2004	Extraction and filtration, followed by absorption in liquid phase (solution of H ₂ O ₂ /HNO ₃); subsequent digestion of the filter; final analysis of the aqueous samples by AAS, ICP-OES or ICP-MS	5 µg/m ³ to 500 µg/m ³ (for each element) ⁽³⁾ ; Required LoD: ≤ 1 µg/m ³ for each element and sampling train; Resulting LoD: 5 µg/m ³ for the whole sampling train	—
Methane (CH ₄)	EN ISO 25139:2011	Extraction, filtration and conditioning, followed by gas chromatography with flame ionisation detection	Up to 1 500 mg/m ³	—
Nitrogen oxides (NO _x)	EN 14792:2017	Extraction, filtration and conditioning, followed by chemiluminescence (after conversion to NO and reaction with ozone)	Up to 1 300 mg/m ³ at large combustion plants; Up to 400 mg/m ³ at waste (co-)incineration plants	—
Odour	EN 13725:2003	Dynamic olfactometry	Measurements typically from 10 ¹ ouE/m ³ to 10 ⁷ ouE/m ³ (including predilution); Detection threshold: 1 ouE/m ³	AC:2006 (Technical corrigendum)
Oxygen (O ₂)	EN 14789:2017	Extraction, filtration and conditioning, followed by paramagnetism	3 vol-% to 21 vol-% (sampling duration of 30 min) ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	—
PM ₁₀ /PM _{2.5}	EN ISO 23210:2009	Impactors, followed by gravimetry	LoD: PM ₁₀ : 0.4 mg/m ³ (sample gas volume: 1 m ³ , sampling duration of ~ 30 min) LoD: PM _{2.5} : 0.3 mg/m ³ (sample gas volume: 1 m ³ , sampling duration of ~ 30 min)	—

Parameter/ Substance(s) ⁽¹⁾	EN or ISO standard ⁽¹⁾	Monitoring methods	Measurement ranges and/or measurement limits ⁽²⁾	Remarks
Dioxin-like PCBs	EN 1948-4:2010	Sampling according to EN 1948-1, followed by extraction and clean-up according to EN 1948-2 and subsequent identification and quantification using isotope dilution gas chromatography with mass spectrometry	LoD: 0.11 pg WHO-TEQ/m ³ to 0.57 pg WHO-TEQ/m ³ , LoQ: 0.20 pg WHO-TEQ/m ³ to 1.37 pg WHO-TEQ/m ³ (depending on sampling method) ⁽³⁾	A1:2013 (Amendment 1)
PCDDs/PCDFs	EN 1948-1:2006 EN 1948-2:2006 EN 1948-3:2006	EN 1948-1: Sampling by filter/condenser method, dilution method or cooled probe method EN 1948-2: Extraction and clean-up EN 1948-3: Identification and quantification using isotope dilution gas chromatography with mass spectrometry	Measurements typically at 0.1 ng I-TEQ/m ³ ; LoQ: 0.1 pg/m ³ to 8.8 pg/m ³ for individual congeners ⁽³⁾ (corresponds to a LoQ of 1.2 pg I-TEQ/m ³ to 3.7 pg I-TEQ/m ³)	CEN/TS 1948-5:2015 describes the long-term sampling of PCDDs/PCDFs and PCBs
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)	ISO 11338-1:2003 ISO 11338-2:2003	ISO 11338-1: Sampling by the dilution method, the heated filter/condenser/adsorber method or the cooled probe/adsorber method ISO 11338-2: Sample preparation, clean-up and determination by high-performance liquid chromatography (HPLC) or gas chromatography mass spectrometry (GC-MS)	LoD (16 US EPA PAH): 0.1 µg/m ³ to 1 µg/m ³ for 6 m ³ sample volume and a dilution factor of 100	—
Sulphur oxides (SO _x)	EN 14791:2017	Extraction and filtration, followed by absorption in aqueous H ₂ O ₂ solution with subsequent sulphate determination via a) ion chromatography or b) titration	a) Ion chromatography: 0.5 mg/m ³ to 2 000 mg/m ³ (sampling duration of 30 min) ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ ; LoQ: ≥ 0.1 mg/m ³ (flow rate of 1 l/min, 100 ml of absorption solution, sampling duration of 30 min) b) Titration: 5 mg/m ³ to 2 000 mg/m ³ (sampling duration of 30 min) ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ ; LoQ ≥ 2.2 mg/m ³ (flow rate of 1 l/min, 100 ml of absorption solution, sampling duration of 30 min)	—
Temperature	No EN or ISO standard available	NA	NA	—
Total volatile organic carbon (TVOC)	EN 12619:2013	Extraction and filtration, followed by flame ionisation detection	Up to 1 000 mg/m ³	—
	EN ISO 13199:2012	Extraction and filtration, followed by catalytic conversion and NDIR	From about 70 mg/m ³ to 600 mg/m ³	Not applicable to combustion processes

Parameter/ Substance(s) ⁽¹⁾	EN or ISO standard ⁽¹⁾	Monitoring methods	Measurement ranges and/or measurement limits ⁽²⁾	Remarks
Water vapour	EN 14790:2017	- Extraction and filtration, followed by adsorption or condensation/adsorption with subsequent gravimetry - Temperature method for vapour-saturated gases	4 vol-% to 40 vol-%	—
⁽¹⁾ Non-exhaustive list. ⁽²⁾ Under standard conditions, i.e. dry gas, 273.15 K, 101.3 kPa, at the reference O ₂ concentration. ⁽³⁾ Validated during field trials in waste (co-)incineration plants. ⁽⁴⁾ Validated during field trials in large combustion plants. ⁽⁵⁾ Validated on a recognised test bench. NB: AAS = atomic absorption spectrometry; GC-MS = gas chromatography mass spectrometry; HPLC = high-performance liquid chromatography; ICP-OES = inductively coupled plasma optical emission spectrometry; ICP-MS = inductively coupled plasma mass spectrometry; I-TEQ = international toxic equivalent; LoD = limit of detection; LoQ = limit of quantification; NA = not applicable; NDIR = non-dispersive infrared spectrometry; NS = not specified.				

*Not all the standards or emissions mentioned here are needed or measured actually in finnish RBs.

Automatic measurement system specific standards (Brinkmann et al. 2018, 131 – 132)

Parameter/ Substance(s)	Monitoring methods	Certified measurement ranges and measurement limits ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	Certification and calibration standards	EN or ISO standard for SRM
Ammonia (NH ₃)	FTIR, NDIR with GFC, TDL	Lowest range: $\leq 0.4 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 5 mg/m^3 ⁽²⁾ Highest range: up to 500 mg/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	No EN or ISO standard available
Carbon monoxide (CO)	FTIR, NDIR	Lowest range: $\leq 4 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 50 mg/m^3 Highest range: up to 10 g/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 15058:2017
Dinitrogen monoxide (N ₂ O)	FTIR, NDIR	Lowest range: $\leq 1.6 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 20 mg/m^3 Highest range: up to 9.8 g/m^3 (given as 5 000 ppm)	Generic standards ⁽⁴⁾	EN ISO 21258:2010
Dust	Light attenuation or scattering, triboelectric	Lowest range: $\leq 0.12 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 1.5 mg/m^3 (given as 5 scattered light units) ⁽²⁾ Highest range: up to 300 mg/m^3 (given as 20 000 scattered light units)	Generic standards ⁽⁴⁾ and EN 13284-2:2017	EN 13284-1:2017
Flow rate	Ultrasound, differential pressure (Pitot tube), IR cross-correlation of turbulence, thermal mass flow	Lowest range: 1.6 m/s (LoQ req.) to 20 m/s Highest range: up to 60 m/s	Generic standards ⁽⁴⁾ and EN ISO 16911-2:2013	EN ISO 16911-1:2013
Hydrogen chloride (HCl)	FTIR, NDIR with GFC, TDL	Lowest range: $\leq 0.8 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 10 mg/m^3 ⁽²⁾ Highest range: up to 5.0 g/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 1911:2010
Hydrogen fluoride (HF)	FTIR, TDL	Lowest range: $\leq 0.08 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 1 mg/m^3 ⁽²⁾ Highest range: up to 300 mg/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	ISO 15713:2006
Methane (CH ₄)	FID, FTIR, NDIR	Lowest range: $\leq 0.6 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 7.5 mg/m^3 ⁽²⁾ Highest range: up to 500 mg/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾ and EN ISO 25140:2010	EN ISO 25139:2011
Mercury (Hg)	AAS, DOAS	Lowest range: $\leq 0.4 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ (LoQ req.) to $5 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ ⁽²⁾ Highest range: up to 1 mg/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾ and EN 14884:2005	EN 13211:2001
Nitrogen oxides (NO _x) ⁽⁶⁾	Chemiluminescence, FTIR, NDIR, NDUV, DOAS	Lowest range: $\leq 1.6 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 20 mg/m^3 ⁽²⁾ Highest range: up to 7.5 g/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 14792:2017
Oxygen (O ₂)	Paramagnetism, electrochemical cell, zirconia (ZrO ₂)	Lowest range: $\leq 0.8 \text{ vol-%}$ (LoQ req.) to 5 vol-% Highest range: up to 25 vol-%	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 14789:2017

Parameter/ Substance(s)	Monitoring methods	Certified measurement ranges and measurement limits ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	Certification and calibration standards	EN or ISO standard for SRM
Sulphur dioxide (SO ₂)	FTIR, NDIR, NDUV, DOAS	Lowest range: $\leq 0.8 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 10 mg/m^3 ⁽⁵⁾ Highest range: up to 8.0 g/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 14791:2017
Temperature	Thermocouples, pyrometry	400 °C to 1 300 °C (one certified AMS)	Generic standards ⁽⁴⁾	No specific EN or ISO standard for measurements in air available
Total volatile organic carbon (TVOC)	FID	Lowest range: $\leq 1.2 \text{ mg/m}^3$ (LoQ req.) to 15 mg/m^3 Highest range: up to 2.0 g/m^3	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 12619:2013
Water vapour	FTIR, NDIR with GFC, TDL	Lowest range: $\leq 2 \text{ vol-}\%$ (LoQ req.) to $25 \text{ vol-}\%$ ⁽⁵⁾ Highest range: up to $50 \text{ vol-}\%$	Generic standards ⁽⁴⁾	EN 14790:2017

⁽¹⁾ The certification process is described in Section 4.3.2.2.1.
⁽²⁾ Under standard conditions, i.e. dry gas, 273.15 K, 101.3 kPa, at the reference O₂ concentration.
⁽³⁾ LoQs are specified as performance criteria and are derived from four times the performance criterion for the repeatability standard deviation (RSD) at zero in laboratory tests according to EN 15267-3:2007. For the flow rate, particulate matter, and gaseous compounds except oxygen, the performance criterion for the RSD is $\leq 2.0 \%$ of the upper limit of the certification range. For oxygen, the performance criterion for the RSD is $\leq 0.20 \text{ vol-}\%$. For the flow rate, the RSD applies at the lower reference point (instead of applying at zero). Actual LoQs may be (much) lower than the required performance.
⁽⁴⁾ EN15267-1:2009, EN15267-2:2009, EN15267-3:2007 and EN 14181:2014.
⁽⁵⁾ At the beginning of 2018, this measurement range was certified for one AMS. The other AMS were certified for higher ranges.
⁽⁶⁾ AMS for measuring NO and NO₂ separately are also available.
 NB: AAS = atomic absorption spectrometry; DOAS = differential optical absorption spectroscopy; FID = flame ionisation detection; FTIR = Fourier transform infrared spectrometry; GFC = gas filter correlation; LoQ = limit of quantification; NDIR = non-dispersive infrared spectrometry; NDUV = non-dispersive UV spectrometry; req. = requirement; SRM = standard reference method; TDL = tunable diode laser absorption spectrometry.

*Not all the standards or emissions mentioned here are needed or measured actually in finnish RBs.

**Hajukaasusuositus, ehdotetut muokkaukset;
Esa Vakkilainen, LUT**



SUOMEN SOODAKATTILAYHDISTYS
FINNISH RECOVERY BOILER COMMITTEE

Suomen Soodakattilayhdistys ry

Hajukaasujen polttosuositus

30.5.2002

16.12.2005, rev A.

29.10.2013, rev B.

xx.xx.2019, rev C

Suositus 1



ESIPUHE

Tämä Soodakattilayhdistyksen suositus on päivitetty versio 30.5.2002 ilmestyneestä suosituksesta. Suositukseen on lisätty häiriö ja vaaranarviointiin liittyvä kappale ja se on päivitetty viime vuosina toteutettujen sellutehdasprojektien kokemusten perusteella.

Tämän revisio C tekemisestä on vastannut Soodakattilayhdistyksen perustama työryhmä jäseninään XXX.

Revisio B tekemisestä on vastannut Soodakattilayhdistyksen perustama työryhmä jäseninään Marja Heinola ja Risto Honkanen Andritz Oy, Kari Haaga ja Tuomo Hilli Metso Power Oy, Ismo Tapalinen UPM-Kymmene Kaukaan tehdas, Lauri Mattila UPM-Kymmene Oyj Pietarsaaren tehdas, Raine Rantanen UPM-Kymmene Kymin tehdas, Esa Vakkilainen Lappeenrannan teknillinen yliopisto sekä sihteerinä Markus Nieminen Pöyry Finland Oy.

Revisio A tekemisestä on vastannut Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmä puheenjohtajanaan Pekka Posti Oy Metsä-Botnia Ab, Sihteerinä Jens Kohlmann Jaakko Pöyry Oy ja jäseninään Hanna Anttila Andritz Oy, Jouni Hiltunen Stora Enso Fine Paper Oy, Mikko Anttila Kvaerner Power Oy, Kari Parviainen Teknillinen korkeakoulu, Harri Jussila UPM-Kymmene Oyj, Kymi, Jorma Torniaisen Oy Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium AB ja Juha Tolvanen Alstom Power Finland Oy sekä asiantuntijana Esa Vakkilainen Jaakko Pöyry Oy.

Alkuperäisen suosituksen tekemisestä vastasi Suomen Soodakattilayhdistyksen Ympäristötyöryhmä puheenjohtajanaan Pekka Posti Oy Metsä-Botnia Ab, Sihteerinä Sebastian Kankkonen Jaakko Pöyry Oy ja jäseninään Aimo Hakkarainen Andritz-Ahlstrom Oy, Jouni Hiltunen Stora Enso Fine Paper Oy, Markku Isoniemi Kvaerner Pulping Oy, Kari Parviainen Jaakko Pöyry Oy, Matti Tikka Kymi Paper Oy, Esko Talka Oy Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium AB ja Juha Tolvanen Alstom Power Finland Oy sekä asiantuntijana Esa Vakkilainen Jaakko Pöyry Oy.



Tämä suositus ei yritä yhtenäistää hajukaasujärjestelmien rakennetta tai pakottaa käyttäjiä tai valmistajia samanlaisiin laitteisiin tai prosessiratkaisuihin. Suositus ei ota kantaa HAZOP tyyppisen analyysin tekoon hajukaasujärjestelmästä, mutta antaa tietoa niistä mahdollisista ongelmista, haasteista ja vikatilanteista joita hajukaasujärjestelmässä voi esiintyä. Suosituksessa esitetään perustietoutta, jota voidaan käyttää suunnittelun, valmistuksen ja käytön apuna.

Tarkoituksena on kehittää suositusta edelleen ja tästä syystä mahdolliset huomiot virheistä, parannusehdotuksista ja kokemuksista pyydetään lähettämään Soodakattilayhdistyksen sihteeristölle. Yhteystiedot löytyvät yhdistyksen kotisivuilta: <http://www.soodakattilayhdistys.fi>

Yhdistys ei vastaa tämän suosituksen virheistä eikä tästä johtuvista mahdollisista ongelmista. Mahdollinen päivitetty versio on jäsenten löydettävissä yhdistyksen kotisivuilta tai saatavissa sihteeristöstä.

Suomen Soodakattilayhdistys ry



SISÄLLYS

1	YLEISTÄ	1
2	MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ	3
2.1	VÄKEVÄT HAJUKAASUT	3
2.2	LAIMEAT HAJUKAASUT	4
2.3	LIUOTINSÄILIÖN JA SEKOITUSSÄILIÖN HÖNGÄT	5
2.4	MÄÄRITELMIÄ	5
2.5	LYHENTEITÄ	6
2.6	RÄJÄHDYSRAJOJEN LASKENTAKAAVOJA	6
2.7	RIKKIVETY	8
2.8	METYYLIMERKAPTAANI	8
2.9	DIMETYYLISULFIDI / DIMETYYLIDISULFIDI	8
2.10	METANOLI	8
2.11	TÄRPÄTTI	9
3	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN PÄÄSTÖIHIN	11
3.1	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN RIKKIPÄÄSTÖIHIN	11
3.2	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN NO _x -PÄÄSTÖIHIN	11
3.2.1	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN VAIKUTUS	11
3.2.2	LIUOTINHÖNGÄN VAIKUTUS	12
3.2.3	VÄKEVIEN HAJUKAASUJEN VAIKUTUS	12
3.2.4	METANOLIN VAIKUTUS	13
3.3	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN TRS-PÄÄSTÖIHIN	13
3.4	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN TUKKEENTUMISEEN	13
3.5	VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN MUUHUN TOIMINTAAN	14
4	HAJUKAASUJÄRJESTELMIEN RISKIT JA KORROOSIO	15
4.1	HAJUKAASUJEN KARKAAMINEN TYÖSKENTELYTILAAN	15
4.1.1	HAJU	16
4.1.2	SUOJAUTUMINEN	16
4.2	LAUHTEEN POISTO-ONGELMAT	16
4.2.1	VESITYSTASKUN TÄYTTÄMINEN	16
4.2.2	VESILUKON KUIVUMINEN	17
4.2.3	VESILUKON TUKKEUTUMINEN	17
4.3	RÄJÄHDYSVAARAT HAJUKAASULINJOISSA	17
4.3.1	ALAS- JA YLÖSAJOTILANTEET	17
4.3.2	TULENKÄSITTELY- JA TUPAKOINTIKIELTO	18
4.4	KAASURÄJÄHDYS KATTILASSA	18
4.5	SULAVESIRÄJÄHDYS KATTILASSA	18
4.6	KORROOSIO-ONGELMAT	18
4.7	KIPINÖINTI/STAATTINEN SÄHKÖ	18
5	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN JÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA	20



5.1	KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ.....	20
5.2	JÄÄHDYTYKSI/LÄMMITYS.....	22
5.3	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN POLTON LOGIIKKA.....	22
5.3.1	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN SYÖTÖN EDELLYTYKSET.....	23
5.3.2	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN SYÖTÖN KESKEYTYS	24
5.4	PUHALLIN.....	24
5.5	VARASILMAYHDE	24
5.6	KANAVAT	25
5.6.1	VIRTAUS.....	25
5.6.2	POTENTIAALITASAU.....	25
5.7	LAUHTENPOISTO	25
5.7.1	LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO	25
5.7.2	KANAVIEN KALLISTUS JA LAUHTENPOISTOYHTEITTEN SIIJOTUS	25
5.7.3	VESILUKOT	26
5.8	PESURIT / LAUHDUTTIIET.....	26
5.9	VENTTIILIT/PELLIT	26
5.10	OHITUS.....	27
5.11	PISARANEROTIN	27
5.12	LIEKINESTIN.....	28
5.13	ALIPAINESUOJA.....	28
5.14	YLIPAINESUOJA.....	28
5.14.1	RÄJÄHDYSLEVY / MURTOKALVOT	28
5.15	PITOISUUSMITTAUS	28
6	LIUOTTIIEN HÖNGÄN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA	
	29	
6.1	KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ.....	29
6.2	SEKOITUSSÄILÖN HÖNGÄT	30
6.3	JÄÄHDYTYKSI/LÄMMITYS.....	30
6.4	LIUOTTIIEN HÖNKIEN POLTON LOGIIKKA.....	30
6.4.1	LIUOTTIIEN HÖNKIEN SYÖTÖN EDELLYTYKSET.....	31
6.4.2	LIUOTTIIEN HÖNKIEN SYÖTÖN KESKEYTYS	31
6.5	PUHALLIN.....	32
6.6	KANAVAT	32
6.6.1	VIRTAUS.....	32
6.6.2	POTENTIAALINTASAU	32
6.7	LAUHTENPOISTO	32
6.7.1	LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO	32
6.7.2	KANAVIEN KALLISTUS JA LAUHTENPOISTOYHTEITTEN SIIJOTUS	32
6.7.3	VESILUKOT	33
6.8	PESURI.....	33
6.9	VENTTIILIT/PELLIT	33
6.10	OHITUS.....	34
6.11	PISARANEROTIN	34
6.12	LIEKINESTIN.....	34
6.13	YLIPAINESUOJA.....	34
6.13.1	RÄJÄHDYSLEVY	34
6.14	PITOISUUSMITTAUS	34



7	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTO SOODAKATTILALLA.....	35
7.1	KOOSTUMUS JA MÄÄRÄ.....	35
7.2	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTON LOGIIKKA.....	37
7.2.1	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET	37
7.2.2	KAPASITEETTIRAJOITUS.....	38
7.2.3	VÄKEVIEN KAASUJEN POLTON KESKEYTTÄMINEN.....	39
7.2.4	POLTIN JA TUKILIEKIN KÄYTTÖ	39
7.3	PUTKISTO	41
7.3.1	PUTKISTON HÖYRYTYS	41
7.3.2	PUTKISTON PAINEMITTAUKSET	42
7.3.3	POTENTIAALITASAU.....	42
7.4	LAUHTENPOISTO	42
7.4.1	LAUHTENPOISTOLINJOJEN KOKO	42
7.4.2	PUTKIEN KALLISTUKSET JA LAUHTENPOISTOYHTEIDEN SJOITUS	42
7.4.3	VESILUKOT	43
7.5	VENTTIILIT.....	43
7.5.1	SULKUVENTTIILIT	44
7.6	VÄKEVIEN KAASUJEN SIIRTO.....	44
7.6.1	PAINEENPITOHÖYRY	44
7.6.2	JÄÄHDYTYS/LÄMMITYS	44
7.6.3	PISARANEROTIN	45
7.6.4	LIEKINESTIN.....	45
7.6.5	ALIPAINESUOJA.....	45
7.6.6	YLIPAINESUOJA.....	45
7.6.7	RÄJÄHDYSLEVYT / MURTOKALVOT	45
7.7	PITOISUUSMITTAUS	46
7.8	VAIHTOEHTOINEN PAIKKA.....	46
7.8.1	VENTTIILIT	46
7.8.2	HÖYRYTYS.....	46
7.8.3	SOIHDUN SJOITUS	46
8	METANOLIN / TÄRPÄTIN POLTTO SOODAKATTILALLA.....	47
8.1	METANOLIN/TÄRPÄTIN POLTON LOGIIKKA	47
8.1.1	METANOLI- JA TÄRPÄTTIPOLTTIMEN KÄYNNISTYKSEN EDELLYTYKSET	48
8.1.2	METANOLIN JA TÄRPÄTIN POLTON KESKEYTTÄVÄT TAPAHTUMAT.....	48
8.2	POLTTIMEN SÄHKÖISTYS JA AUTOMATIikka	49
8.3	VENTTIILIT.....	49
8.3.1	PIKASULKUVENTTIILIT	49
9	TOIMINTA ERIKOISTILANTEISSA.....	50
9.1	TOIMINTA HÄIRIÖN YHTEYDESSÄ.....	50
9.2	TOIMINTA ALASAJON YHTEYDESSÄ.....	50
9.3	TOIMINTA YLÖSAJON YHTEYDESSÄ.....	50
9.4	TOIMINTA SEISOKIN AIKANA	51
9.4.1	OHJEITA HAJUKAASUJÄRJESTELMÄN VALMISTELEMISEKSI SEISOKKI- TAI HUOLTOTÖITÄ VARTEN	51
9.4.2	OHJEITA SEISOKIN AIKAISIIN KUNNOSSAPIDON TÖIHIN	52



9.5	TOIMINTA HÄIRIÖIDEN YHTEYDESSÄ	52
10	ERIKOISOHJEET HAJUKAASULINJOJEN SUUNNITTELUSSA	53
10.1	LUOKITTELU	53
10.2	KYLTTIT.....	53
10.3	LAUHTENPOISTO	54
10.4	KANAVA/PUTKISTOMATERIAALI	54
10.5	KANAVIEN ERISTYKSET	54
10.6	PUTKIEN/KANAVIEN KALLISTUKSET.....	54
10.7	VENTTIILIT/PELLIT	55
10.8	LAIPAT, YHTEET.....	55
10.9	PUHALTIMET	55
10.10	EJEKTORIT / NESTERENGASKOMPRESSORI	55
10.11	KANAVAMITOITUS	56
10.12	LIEKINESTIMEN SJOITUS.....	56
10.13	RÄJÄHDYSLEVYJEN /MURTOKALVOJEN SJOITUS	56
10.14	OHITUKSEN SJOITUS	56
10.15	TILALUOKITUKSET	57
10.16	VALMISTUSLUVAT	57
11	SOIHDUT JA HAJUKAASUKATTILAT SEKÄ YHTEISTOIMINTA (UUSI).....	59
11.1	SOIHDUN KÄYTÖSTÄ HUOMIOITAVAA.....	59
11.2	HAJUKAASUKATTILAN KÄYTÖSTÄ HUOMIOITAVAA	59
12	VAARANARVIOINNISSA HUOMIOITAVAA (UUSI)	60
12.1	KEITTÄMÖ.....	60
12.2	AVOIN LAIMEIDEN KERÄILY.....	60
12.3	VESIPATSAALLA TOTEUTETUT YLI- JA ALIPAINESUOJAT SEKÄ LAUHTENPOISTOT	61
12.4	HAIHDUTTAMON TYHJÖKAIVO VÄKEVISSÄ HAJUKAASUISSA.....	61
12.5	LIKAISLAUhteiden KÄSITTELY	62
12.6	HAIHDUTTAMON LIKAISLAUHDESÄILIÖ	62
12.7	LIPEÄN PAISUNTA HAIHDUTTAMOALUEELLA	63
12.8	POLTTOLIPEÄSÄILIÖ JA VAHVAMUSTALIPEÄSÄILIÖ.....	63
12.9	SOODAKATTILAN LIUOTTAJAN HÖNGÄT.....	64
12.10	LAIMEAT HAJUKAASUT SOODAKATTILAN ERI ILMATASOILLE	64
12.11	HAJUKAASUJEN ESILÄMMITTIMIEN LÄMMÖNSIIRTOPINTOJEN LIKAANTUMINEN	65
12.12	LAUhteiden PÄÄSY SOODAKATTILAAN.....	65
12.13	HAJUKAASUPESURIEN LÄMMÖNSIIRTIMEN LIKAANTUMINEN	65
12.14	KAUSTISTAMON LAIMEAT HAJUKAASUT	66
12.15	MÄNTYÖLJYKEITTÄMÖN HÖNGÄT.....	66
12.16	HAKESIILON HÖNGÄT	67
12.17	TÄRPÄTTI.....	68
12.18	LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN LAUhteET	68
12.19	HAIHDUTTAMON KÄYNTIINAJO.....	68
12.20	SOODAKATTILAN VÄKEVIEN POLTTIMEN ONGELMAT	69
12.21	VARAPOLTTOPAikkojen HÄIRIÖT	70



13	SUUNNITTELUUN JA KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT MUUT OHJEET JA MÄÄRÄYKSET	71
13.1	SUOMEN LAINSÄÄDÄNTÖ	71
13.1.1	POIKKEAMATARKASTELU (HAZOP)	71
13.1.2	PUTKISTOJEN LUOKITTELU	71
13.1.3	RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN LUOKITTELU (ATEX).....	72
13.2	EUROOPPALAISET STANDARDIT.....	72
13.3	OLEMASSA OLEVAT OHJEET.....	72
13.3.1	SODAHUSKOMMITÉEN	73
13.3.2	BLRBAC	73
14	POIKKEAMAT MUIDEN OHJEIDEN KÄYTÄNTÖÖN	74
14.1	POIKKEAMAT BLRBACn OHJEISIIN.....	74
15	ESIMERKKEJÄ VAURIOISTA	75
15.1	ESIMERKKI 1:.....	75
15.2	ESIMERKKI 2: UPM-KYMMENE, PIETARSAARI, 28.12.2008.....	76
15.3	ESIMERKKI 3: OY METSÄ-BOTNIA AB, RAUMA, 2.1.2007	77
15.4	ESIMERKKI 4:.....	78
15.5	ESIMERKKI 5: SUNILA OY, KOTKA, 19.10.2004	79
15.6	ESIMERKKI 6: OY METSÄ-BOTNIA AB, JOUTSENO, 1.4.2004	81
15.7	ESIMERKKI 7: OY METSÄ-BOTNIA AB, KEMIN TEHTAAN VAURIO 29.12.1998	82
15.8	ESIMERKKI 8: KLABININ TAPAUS BRASILIASSA 10.10.1998	82
15.9	ESIMERKKI 9: VARKAUDEN TAPAUS 1980-LUVULLA	83
16	LOPPUSANAT	84
17	KIRJALLISUUSVIITTEITÄ.....	85
	LIITE 1.....	87
	ESIMERKKI POHJAKUORMAN LASKEMISEKSI	87
	LIITE 2.....	89
	ALFA-PINEENIN TASAPAINOKÄYRÄ ILMASSA	89
	LIITE 3.....	91
	METANOLIN TASAPAINOKÄYRÄ ILMASSA	91
LIITTEET:		
Liite I	Esimerkki pohjakuorman laskemiseksi	
Liite II	Alfa-pineenin tasapainokäyrä	
Liite III	Metanolin tasapainokäyrä	



1 YLEISTÄ

Hajukaasujen poltto soodakattiloissa on yleistä. Suomen Soodakattilayhdistys ei ota kantaa siihen missä hajukaasujen poltto pitäisi suorittaa. Hajukaasujen poltto soodakattilassa lisää onnettomuusriskejä ja hajukaasujen käsittely voi aiheuttaa työturvallisuusongelmia. Koska hajukaasuja kuitenkin poltetaan, niin yhdistyksen jäsenistö on kaivannut selkeää ohjetta sellutehtaan hajukaasujen käsittelyyn ja polttoon soodakattilalla. Taustana on huoli turvallisuudesta ja kokonaisprosessin toimivuudesta.

Tämä suositus koskee soodakattilan hajukaasujärjestelmiä ja niihin liittyviä laitteita. Hajukaasujen keräilykohteisiin ja keräilytapoihin sekä niihin liittyviin laitteisiin ei oteta kantaa. Keräilyn suunnittelu täytyy kuitenkin tehdä kokonaisvaltaisesti. Suositus ei myöskään yritä yhtenäistää hajukaasujärjestelmien rakennetta eikä pakottaa samanlaisiin laitteisiin tai prosessiratkaisuihin. Sen sijaan esitetään perustietoutta jota tulee käyttää suunnittelun, valmistuksen ja käytön apuna.

Soodakattila vaatii käyttöympäristönä erittäin luotettavat ja turvalliset järjestelmät. Laitteiden laatuun ja niiden oikeaan käyttöön kannattaa investoida. Sellutehtaalla lyhyetkin häiriöistä aiheutuvat käyttöseisokit maksavat usein enemmän kuin niiden eston tarvitsema investointi. Hajukaasujen poltto lisää soodakattilan käyttöön monimutkaisuutta ja palavien myrkyllisten kaasujen käsittely tuo onnettomuusriskejä. Tämän suosituksen ohjeiden noudattaminen pienentää kyseisiä riskejä ja vaaratilanteita.

Tämä suositus ei ota kantaa hajukaasujen keräilyn ja polton järjestelmien vaatimaan käyttäjäkoulutuksen sisältöön. Ennen kuin uusia laitteita aletaan käyttää ja ennen kuin uudet työntekijät alkavat hajukaasujen polttolaitteilla työskennellä on asianmukainen koulutus ja työhön perehdyttäminen suoritettava.

Suositus ei ota kantaa hajukaasujärjestelmien laitteiden mekaanisiin huolto- ja kunnossapitotoimintoihin. Sen sijaan suosituksessa on otettu kantaa tarkastusväliin ja -tapaan.

Suosituksista laadittaessa on noudatettu huolellista valmistelutapaa ja yritetty kuulla sekä tehtaiden, laitetoimittajien että vakuutuslaitosten mielipiteitä hajukaasujen



poltosta. Tämä suositus lähtee siitä olettamuksesta, että hajukaasujärjestelmän laitteet ensisijaisesti täyttävät ne vaatimukset, jotka Suomen voimassa olevat lait ja oikeussäännökset mm. työsuojelulaki sekä palavia nesteitä ja kaasuja koskevat lait ja asetukset, määräävät tai valvovat viranomaiset asettavat. Hajukaasulaitteistojen oletetaan myös olevan kaikin puolin ammattitaitoisesti suunniteltuja, ensiluokkaisia, asianmukaisia ja käyttövarmoja sekä rakenteeltaan tarkoituksenmukaisia ja lisäksi käytettyjen aineiden ja työn moitteettomuuden suhteen ensiluokkaisia.

Vastuu hajukaasujärjestelmän toimivuudesta ja prosessiratkaisuista on laitteiden suunnittelijoilla. Vastuu hajukaasujärjestelmän oikeasta ja huolellisesta käytöstä on laitoksen käyttäjillä. Soodakattilayhdistys suosittelee että ennen järjestelmän hankkimista toimittaja ja loppukäyttäjä suorittavat laitoksen poikkeamatarkastelun (HAZOP) ja käyvät yhdessä läpi vaaranarvioinnin vaatimat tiedot. Soodakattilayhdistys on raporttisarjassaan julkaissut raportin [11/2001 ”Soodakattilalaitoksen vaaranarviointi”](#).

Huolimatta siitä mitä tässä suosituksessa on sanottu, on ensisijaisesti noudatettava lakeja, asetuksia ja viranomaisten antamia määräyksiä ja ohjeita.



2 MÄÄRITELMIÄ JA LYHENTEITÄ

Hajukaasut sisältävät sellun valmistuksen yhteydessä vapautuvia kaasuja, puun mukana tulevia kaasuuntuvia yhdisteitä, vesihöyryä ja ilmaa. Keitossa, mustalipeän käsittelyssä ja kaustisoinnissa vapautuvat kaasut ja höngät; rikkivety, metyylimerkaptaani, dimetyylisulfidi, dimetyylidisulfidi, metanoli ja tärpätti ovat palavia, räjähtäviä ja voimakkaasti haisevia yhdisteitä, mikä antaa hajukaasuille niiden luontaisen aromin. Puun mukana tulevat kaasuuntuvat yhdisteet; tärpätti ja metanoli, eivät puhtaana haise, mutta sellutehtaassa ne sisältävät epäpuhtautena haisevia komponentteja.

Tässä suosituksessa hajukaasut ryhmitellään seuraavasti:

- laimeat hajukaasut
- väkevät hajukaasut
- liuottajan ja sekoitussäiliön hönkäkaasut
- nestemäinen metanoli
- nestemäinen tärpätti

2.1 Väkevät hajukaasut

Väkevät hajukaasut ovat pääosin peräisin haihduttamolta, strippauksesta, metanolilaitokselta, polttolipeäsäiliöstä, vahvalipeäsäiliöstä, sekä niitä voi tulla myös keittämöltä.

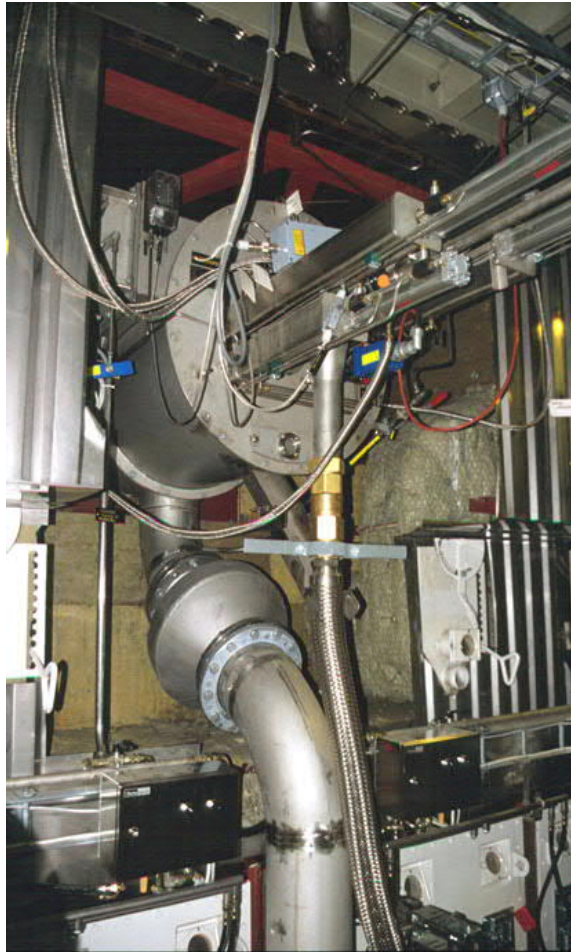
Väkevät hajukaasut sisältävät palavia kaasumaisia yhdisteitä, jolloin hajukaasujen käsittelyssä riskinä on räjähdysvaara. Pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS, Total Reduced Sulphur) ja etenkin tärpätti ovat räjähdysherkkiä laajalla pitoisuusalueella. Räjähdysvaara poistetaan estämällä ilman vuoto järjestelmään ja eliminoimalla sytytysenergian lähteet.

Englanninkielisinä lyhenteinä väkeville hajukaasuista käytetään termejä CNCG (Concentrated Non-Condensable Gas) ja LVHC (Low Volume High Concentration).

SOG (Stripper Off Gases) tarkoittaa stripperiltä tulevia lauhtumattomia väkeviä kaasuja, jossa esim. metanoli on höyryfaasissa. Jos stripperin kaasuille tehdään metanolin nesteytys, niin syntyvät lauhtumattomat kaasut johdetaan väkevien hajukaa-

sujen keräilyjärjestelmään. SOG kaasujen puuttuessa hajukaasujen polttoprosessi saadaan tasaisemmaksi ja varmatoimisemmaksi myös haihduttamon ja stripperin häiriötilanteissa.

Kuvassa 2-1 on esimerkki väkevien hajukaasujen polttimesta, jossa näkyy mm. hajukaasujen tuloputki, metanolilanssi, liekinvalvojat, liekinestin ja tukipoltin.



Kuva 2-1. Väkevien hajukaasujen poltin

2.2 Laimeat hajukaasut

Laimeita hajukaasuja kerätään paineettomista säiliöistä ja laitteilta kuitulinjalta, haihduttamolta, mäntyöljykeittämöltä sekä kaustisointilaitokselta. Paineellisista mustalipeäsäiliöistä tulevat kaasut pitää ohjata väkeviin hajukaasuihin. Paineettomista vahvalipeäsäiliöistä tulevien kaasujen johtaminen väkevien tai laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään tulisi harkita tapauskohtaisesti.



Laimeat hajukaasut sisältävät samoja komponentteja kuin väkevätkin hajukaasut. Laimeat hajukaasut sisältävät niin paljon vuotoilmaa, että ne ovat pitoisuuksiltaan räjähdysalueen alapuolella. Laimeiden hajukaasujen käsittelyn prosessiratkaisujen pitää huolehtia kaasujen laimeudesta kaikissa olosuhteissa.

Englanninkielinen lyhenne HVLC (High Volume Low Concentration) tarkoittaa laimeita hajukaasuja. BLRBAC:in ohjeessa käytetään amerikkalaista termiä DNCG (Diluted Non-Condensable Gas).

2.3 Liutinsäiliön ja sekoitussäiliön höngät

Tuhkan ja mustalipeän sekoitussäiliö voidaan yhdistää laimeisiin hajukaasuihin tai liutinsäiliön hönkiin esimerkiksi tyhjennyssäiliön kautta. Sekoitussäiliön höngän keräilyssä pitää prosessiratkaisun olla sellainen, jossa kaasut ovat laimeita kaikissa olosuhteissa.

Liutinsäiliön hönkä sisältää epäorgaanista pölyä sekä haisevia rikkiyhdisteitä. Hönkää ei perinteisesti ole luettu hajukaasuksi. Kuitenkin, jos hönkä johdetaan soodakattilan tulipesään, tulee sen käsittelyssä noudattaa laimeille hajukaasuille annettuja suosituksia muun muassa höngän suuren kosteuspitoisuuden vuoksi.

2.4 Määritelmiä

- | | |
|--------------------------|---|
| Alempi räjähdysraja, LEL | Pitoisuus jota korkeampi palavan kaasun pitoisuus voi räjähtää (pelkkä ilma ei räjähdä). |
| Ylempi räjähdysraja, UEL | Pitoisuus jota alempi palavan kaasun pitoisuus voi räjähtää (pelkkä polttoaine ei räjähdä). |



2.5 Lyhenteitä

Lyhennys	Suomalainen määritelmä	Englanninkielinen määritelmä
BLRBAC	Amerikan soodakattilayhdistys	Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee
CH ₃ SH	metyylimerkaptani	methyl mercaptan
MM	metyylimerkaptani	methyl mercaptan
(CH ₃) ₂ S	dimetyylisulfidi	dimethyl sulfide
DMS	dimetyylisulfidi	dimethyl sulfide
(CH ₃) ₂ S ₂	dimetyylidisulfidi	dimethyldi sulfide
DMDS	dimetyylidisulfidi	dimethyldi sulfide
C ₁₀ H ₁₆	tärpähti	turpentine
CH ₃ OH	metanoli	methanol
MeOH	metanoli	methanol
C ₂ H ₅ OH	etanoli	ethanol
H ₂ S	rikkivety	hydrogen sulfide
SO ₂	rikkidioksidi	sulfur dioxide
O ₂	happi	oxygen
NH ₃	ammoniakki	ammonia
H ₂ O	vesi	water
CO ₂	hiilidioksidi	carbon dioxide
CO	hiilimonoksidi	carbon monoxide
NO	typpioksidi	nitric oxide
CNCG	väkevät hajukaasut	concentrated non condensible gas
DNCG	laimeat hajukaasut	diluted non condensible gas
HEL	ylempi räjähdysraja	higher explosion limit
HVLC	laimeat hajukaasut	high volume low concentration
LEL	alempi räjähdysraja	lower explosion limit
LVHC	väkevät hajukaasut	low volume high concentration
NCG	hajukaasu	non condensible gas
SHK	Ruotsin soodakattilayhdistys	Sodahuskommittén
SOG	stripperin kaasut	stripper off gas
TRS	pelkistyneet rikkiyhdisteet	total reduced sulfur compounds
UEL	ylempi räjähdysraja	upper explosion limit
HAZOP	poikkeamatarkastelu	hazard and operability study
HTP (TLV)	haitalliseksi tunnettu pitoisuus	threshold limit value

2.6 Räjähdysrajojen laskentakaavoja

Räjähdysraja lasketaan tyypillisesti seoksen komponenttien avulla.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä (807/2001) [liite 1 kohta 7.7.1](#) antaa kaavan syttyvyyden määrittämiselle. Pohjana on käytetty standardia [“Gases and gas mixtures — Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets”](#)



[ISO 10156](#) ja sen taulukoita 1 ja 2 jotka antavat eri palaville ja inerteille kaasulle laskentavakioita. Taulukkoon 2-2 on kerätty hajukaasun eri komponenttien ominaisuuksia ilmassa.

Taulukko 2-1. Hajukaasun eri komponenttien ominaisuuksia ilmassa Burgess ja Young 1992.

		Rikki vety	Metyyli merkaptani	Dimetyyli sulfidi	Dimetyyli disulfidi	Tärpätti (α-pineeni)	Metanoli
Kaava		H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂	C ₁₀ H ₁₆	CH ₃ OH
Molykyylipaino		34	48	64	94	132	32
Räjähdyksraja	LEL	4.3	3.9	2.2	1.1	0.8	5.5
	HEL	45.0	21.8	19.7	16.1	6.0	36.5
Liekin nopeus	m/s			0.55		0.62	0.5
Itsesyttymislämpötila	°C	260	197 (340)	206	300	255	385 (465)
Leimahduspiste	°C	Kaasu	Kaasu	- 49	24	34	11
Kiehumispiste	°C	- 60	6	38	110	150	65
Lämpöarvo HHV	MJ/kg	15	22	31	23	41	22
Kaasun tilavuuspaino verrattuna ilmaan		1,19	0,87	2,14	3,24	4,7	1,11
Hajukynnys	ppm	0.008	0.0004-0.003	0.001-0.01	0.003-0.011	100	100
Lämpöarvo	<u>kJ/mol</u>	<u>518</u>	<u>1249</u>	<u>1908</u>	<u>2213</u>	<u>3947</u>	<u>543</u>
Liukoisuus veteen		Kyllä	Ei	Ei	Huonosti	Ei	Kyllä

Syttymis- eli räjähdysrajoja määriteltäessä on syytä käyttää menetelmää, joka varmasti antaa turvalliset rajat. Räjähdysrajoja voidaan laskea eri periaatteilla.. Kaasuseoksissa voidaan soveltaa standardissa [ISO 10156 /2010](#) kohdassa 5.2 käytettyä räjähdysrajojen laskentaa.

Toinen tapa on tarkkailla ongelmaa termodynaamisesti (Hokynar 1999). Eroa ei käytännössä ole alemman räjähdysrajan osalta, mutta ylemmän räjähdysrajan määrittely eroaa koska inertin kaasun vaikutus on eri kahdessa edellä mainitussa menetelmässä.



2.7 Rikkivety

Rikkivety on väritön, myrkyllinen, erittäin helposti syttyvä ja ilmaa raskaampi kaasu, jolla on voimakas mädäntyneen kananmunan haju, mutta lähestyttäessä 100 ppm:n lukemia rikkivetyä ei yleensä enää haista. Rikkivetyvuoto voi aiheuttaa ulkotiloissa syttymisvaaran ja sisätiloissa räjähdysvaaran. Se syövyttää useita metalleja ja muoveja.

Rikkivety on pelkistin, joten se voi reagoida hapettavien aineiden kanssa voimakkaasti. Aine syövyttää metalleja ja muodostaa metallisulfideja. Vesiliuoksessa rikkivety reagoi happamasti. Rikkivetyä muodostuu sulfidia, esimerkiksi natriumsulfidi, sisältävien liuosten sekoituessa happojen kanssa ja sitä voi esiintyä koko tehdasalueella ja viemäreitä sekä kanaaleja pitkin se voi levitä pitkienkin matkojen päähän. Tästä syystä sellutehtaalle on asennettu kaasuilmaisimia alueille joissa voi esiintyä rikkivetyä. Ilmaisimen havaitessa tarpeeksi suuren pitoisuuden vaarallista kaasua järjestelmään kytketyt ja mittauspisteiden lähelle asennetut hälytysvalot syttyvät.

2.8 Metyylimerkaptani

Metyylimerkaptani on väritön, ilmaa raskaampi, erittäin helposti syttyvä, haihtuva ja myrkyllinen kaasu. Metyylimerkaptanin terveyteen kohdistuvat haittavaikutukset ovat paljolti samanlaiset kuin rikkivedyn.

2.9 Dimetyylisulfidi / Dimetyylidisulfidi

Dimetyylisulfidi ja dimetyylidisulfidi ovat normaaliolosuhteissa värittömiä nesteitä, joilla on tunnusomainen epämiellyttävä haju. Molemmat yhdisteet ovat helposti syttyviä ja ilman kanssa sekoituessaan räjähtäviä.

2.10 Metanoli

Puhdas metanoli (CH_3OH) on väritön, lähes hajuton, palava ja myrkyllinen kaasu/neste, mutta sulfaattitehtaalla metanolin joukkoon erottuu runsaasti haisevia yhdisteitä. Metanoli liukenee veteen kaikissa tilavuussuhteissa, joten se voidaan poistaa kaasuseoksesta helposti pesurilla.



Metanoli vapautuu lipeästä haihduttamalla ja päätyy likaislauhteeseen. Likaislauhdesta metanoli erotetaan strippauskolonnissa. Kolonnista tuleva stripperikaasu (SOG), joka sisältää 30-35 % metanolihöyryä, johdetaan joko suoraan polttoon tai metanolikoloniin, jossa metanoli nesteytetään ja pumpataan säiliöön. Sieltä se pumpataan polttoon. Nesteytettynä metanolia voidaan varastoida säiliöissä ennen polttoa.

2.11 Tärpätti

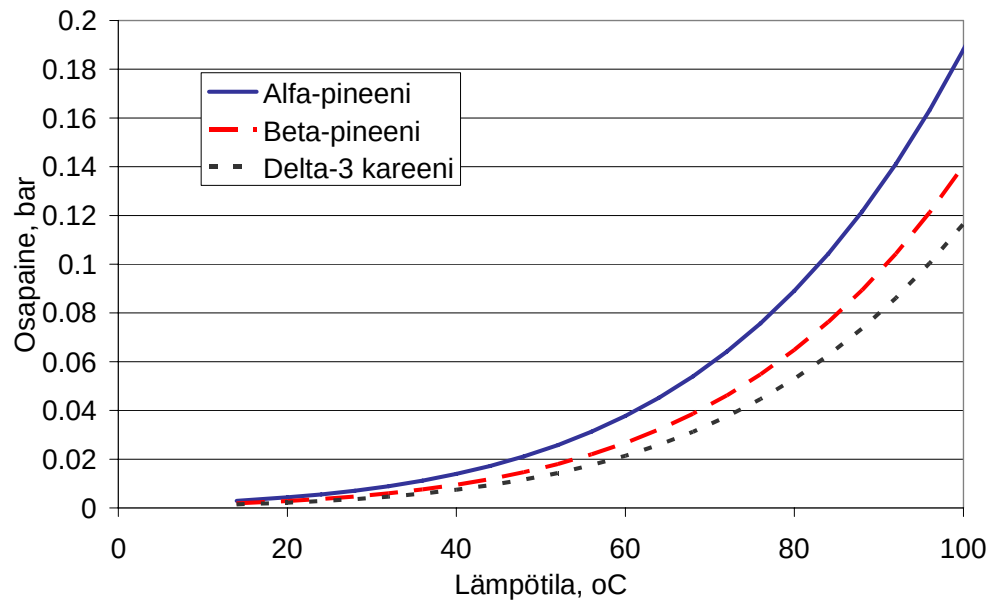
Raakatärpätti on C₁₀H₁₆-terpeeni-isomeerien seos (mm. alfa-pineeni) jota syntyy sellun keiton sivutuotteena havupuiden pihkasta. Tärpätti erotetaan ja joissain tapauksissa se poltetaan. Tislattu tärpätti on väritön ja miedosti tuoksuva kaasu/neste, mutta sulfaattitehtaalla tärpätin joukkoon erottuu runsaasti haisevia orgaanisia rikkiyhdisteitä, kuten metyylimerkaptania. Tärpätin tyypillinen koostumus on esitetty taulukossa 2-1.

Taulukko 2-2. Tärpätin tyypillinen koostumus

Yhdiste	Pitoisuus, %
Alfa-pineeni	80 - 90
Beta-pineeni	5 - 10
Delta-3 kareeni	5 - 10
Muita C ₁₀ H ₁₆ yhdisteitä	< 1
Metyylimerkaptani	0 - 5
Dimetyylisulfidi	0 - 12
Dimetyylidisulfidi	0 - 1

Hajukaasuista on syytä poistaa mahdollisimman tarkkaan tärpätti (C₁₀H₁₆), koska se on räjähdysherkkä erittäin laajalla pitoisuusalueella. Huomaa, että tärpätillä alin räjähdysraja on n. 0,8 %. Kerättäessä kohteita, joissa voi esiintyä terpeenejä, rajoitetaan suuria pitoisuuksia lauhduttamalla kaasuja. Tärpätti erotetaan hajukaasuista pesurissa lauhduttamalla kylmällä vedellä. Pesuri sijaitsee tärpättilauhduttimen jälkeen hajukaasulinjassa. Erotettu raakatärpätti varastoidaan tärpättsäiliöön.

Suoritetusta lauhdutuksesta huolimatta terpeenejä jää aina kaasumaisena käsiteltävään kaasuseokseen terpentiinien osapainetta vastaava määrä, kuva 2-1.



Kuva 2-2. Tärpätin komponenttien höyryn osapaineita, Drew et al., 1971

Edellä olevasta johtuu, että tällaiset mahdollisesti runsaasti terpeenejä sisältävät laimeiden hajukaasujen kohteet on laimennettava keräyspisteen tai lauhdutuksen jälkeen. Keräyskohteen maksimilämpötilan ylittyessä on kohde rajattava automaattisesti pois keräilystä.

Terpeenipitoisia keräyskohteita voi olla esimerkiksi seuraavat: havuhakkeen syöttösiilot, likaislaudesäiliöt, keräily- ja laihalipeäsäiliöt, jos niihin johdetaan ajoittainkin tärpättipitoisia lauhteita.

Myös seisokki- ja starttitilanteissa voi lauhtunut tärpätti höyrystyä hajukaasujen joukkoon lauhdesäiliöiden pinnalta tai kanavista.

Hajukaasujen lisäksi tärpättiä voidaan erottaa metanolitislauksen pohjaluhteesta tärpättidekanterilla. Dekanterissa tärpätti vettä kevyempänä ja heikosti liukenevana nousee veden pinnalle. Veden pinnalta se on mahdollista erottaa ylikaatona. Kerättävät kaasut johdetaan väkevien hajukaasujen keräilyjärjestelmään.



3 VAIKUTUKSET SOODAKATTILAN PÄÄSTÖIHIN

Hajukaasujen poltto soodakattilassa saattaa vaikuttaa soodakattilan emissioihin. Hajukaasujen poltto saattaa alentaa soodakattilan tuhkasuolan karbonaattipitoisuutta ja pH-arvoa. Hajukaasujen mukana tulipesään sisään syötettävä lisärikki näkyy ensin savukaasujen mukana sähkösuodattimille tulevassa tuhkasuolassa olevan karbonaatin korvaantumisena sulfaatilla. Karbonaatin tultua käytetyksi ylimäärä riskistä muodostaa SO₂:ta.

3.1 Vaikutukset soodakattilan rikkipäästöihin

Hajukaasujen sisältämä lisärikki nostaa aina soodakattilan tuhkan sulfaattipitoisuutta ja täten saattaa alentaa sen pH:ta. Jollei riittävää karbonaattipuskurivaraa ole, saattaa kattilan SO₂ päästö nousta. Kattilan SO₂ päästöön vaikuttaa tehtaan korkea sulfidititeetti, polttolipeän kuiva-aine ja lämpöarvo sekä kattilan kuorma.

Hajukaasuja ei tulisi polttaa soodakattilalla jossa on jo rikkipäästöjä. Kyseisessä tapauksessa hajukaasujen polttopaikaksi suositellaan erillistä polttopaikkaa jossa on rikin talteenotto, Tälläisiä polttopaikkoja ovat muun muassa erillispolttokattila ja pesurilla varustettu meesauuni.

3.2 Vaikutukset soodakattilan NO_x-päästöihin

Varsinkin väkevät hajukaasut sisältävät typpiyhdisteitä. Nämä typpiyhdisteet ovat pääosin ammoniakkia, joka erottuu haihduttamalla mustalipeästä. Osa tästä tyypestä on muodostunut soodakattilan sulan mukana liuotinsäiliöön tulleen typen reaktioissa kaustisointialueella ja on kiertänyt keiton kautta takaisin soodakattilaan.

3.2.1 Laimeiden hajukaasujen vaikutus

Laimeiden hajukaasujen osuus soodakattilan syötettävästä kokonaisilmasta on tyypillisesti 5...15 % koko ilmamäärästä. Typpi laihoissa hajukaasuissa on pääasiassa ammoniakkia. Ammoniakkipitoisuuden kuivissa kaasuissa voidaan olettaa olevan luokkaa 10 ppm. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 100 ppm, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys on silloin



$$NO_x = \frac{(100 + 0.3 * 0.1 * 10)}{100} - 1 \leq 1\%$$

Mitattavaa vaikutusta ei käytännössä ole havaittu, jos laimeat hajukaasut ohjataan tulipesässä oikealle lämpötila-alueelle.

3.2.2 Liuotinhöngän vaikutus

Liuotinhöngän mukana tulevan ilman osuus soodakattilan syötettävästä kokonaisilmasta on tyypillisesti 5 % koko ilmamäärästä. Typpi liuotinhöngässä on peräisin haihduuttamon sekundäärilauhteista tai sulan mukana liuotinsäiliöön tulevan typen reagoimisesta ammoniakiksi. Ammoniakkipitoisuuden kuivissa kaasuissa voidaan olettaa olevan luokkaa 100 ppm. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 100 ppm, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys on silloin

$$NO_x = \frac{(100 + 0.3 * 0.05 * 100)}{100} - 1 \approx 1\%$$

Mitattavaa vaikutusta ei käytännössä ole havaittu, jos laimeat hajukaasut ohjataan tulipesässä oikealle lämpötila-alueelle.

3.2.3 Väkevien hajukaasujen vaikutus

Väkevien hajukaasujen osuus soodakattilan syötettävästä kokonaisilmasta on tyypillisesti 0.2... 3 % koko ilmamäärästä. Typpi väkevissä hajukaasuissa on pääasiasa ammoniakkia. Ammoniakkipitoisuuden kuivissa kaasuissa voidaan olettaa olevan luokkaa 2000 ppm. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 100 ppm, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys saattaa olla silloin

$$NO_x = \frac{(100 + 0.3 * 0.01 * 2000)}{100} - 1 \approx 6\%$$



3.2.4 Metanolin vaikutus

Metanolia syntyy noin 10 kg/ADt riippuen käytetystä puuraaka-aineesta. Nestemäisessä metanolissa voi ammoniakkia olla noin 2%. Ammoniakkipitoisuuden metanolissa voidaan olettaa olevan luokkaa 0,2 kg/Adt. Voitaisiin olettaa, että noin 30 % ammoniakista konvertoituu NO:ksi. Jos kattilan NO taso on luokkaa 200 mg/Nm³, savukaasuja syntyy 3,5 Nm³/kg ka ja lipeäkuiva-ainemäärä on 1600 kgka/Adt, niin kattilan typpioksidipäästöjen lisäys saattaa olla silloin:

$$NO_x = \frac{(200 * 3,5 * 1600 / 1000000 + 0,3 * 0,2)}{200 * 3,5 * 1600 / 1000000} - 1 \approx 5\%$$

3.3 Vaikutukset soodakattilan TRS-päästöihin

Moderneissa kattiloissa, joissa on tehokas polttoaineen ja ilman sekoitus ja hajukaasujärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla, ei kattilan TRS päästö merkittävästi lisäännä, mikäli hajukaasut syötetään vyöhykkeelle, jossa lämpötila on vähintään 900 °C.

Jos kattilan ylimmälle ilmatasolle syötetään laimeita hajukaasuja, on mahdollista että jonkin verran hajukaasuista kulkeutuu reagoimatta kylmiä seinänvieriä pitkin.

Mitattava vaikutus kokonaisvirrassa on käytännössä ollut joitakin ppm:n kymmenesosia.

3.4 Vaikutukset soodakattilan tukkeentumiseen

Katso kappale 3.1. Vaikutukset soodakattilan rikkipäästöihin

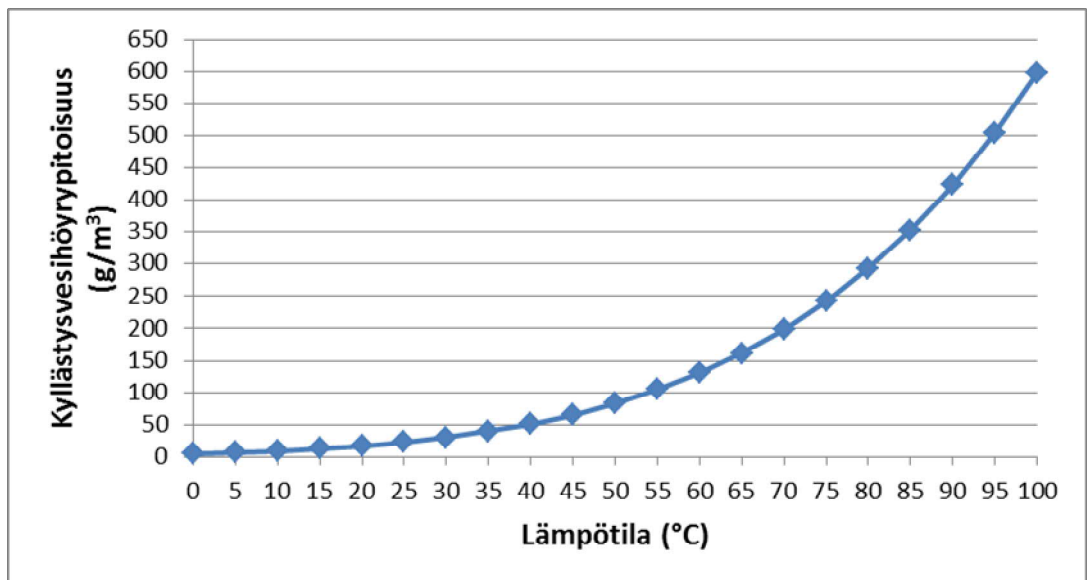
Jos hajukaasujen poltto-olosuhteet soodakattilassa eivät ole optimaaliset, ja syntyy SO₂-päästöjä, niin kattilan ja sähkösuodattimen tukkeentumis- ja korroosioalttius erityisesti ekonomaiserialueella happamien tuhkasuolojen takia (alhainen pH) lisääntyy.

3.5 Vaikutukset soodakattilan muuhun toimintaan

Moderneissa kattiloissa, joissa on tehokas polttoaineen ja ilman sekoitus ja riittävä pohjakuorma, sekä kun hajukaasujärjestelmä toimii suunnitellulla tavalla, ei vaikutuksia soodakattilan toimintaan ole havaittu. Esimerkiksi muutoksista reduktioon ei ole raportoitu.

Hajukaasujen polton aloittaminen pienentää yleensä tehtaan kokonaisrikkipäästöjä. Tämä vaikuttaa kuitenkin tehtaan kemikaalitaseisiin ja pyrkii nostamaan sulfiditeettia. Rikkitase tehtaalla pitääkin aina tarkastella tapauskohtaisesti.

Liuotinhöngän ja laimeiden hajukaasujen mukana kattilaan tulee vesihöyryä, mikä saattaa hiukan vesihöyrypitoisuudesta riippuen rajoittaa kattilan kapasiteettia. Kuvasssa 3-1 on esitetty tietyn lämpöisen ilman sisältämän vesihöyryn maksimimäärä kuivassa ilmassa. Väkevien hajukaasujen, metanolin, tärpätin poltto lisää kattilan höyrystystä. Tällöin vesi- ja höyrypuolen suunnittelu on tarkastettava ennen polton aloittamista varsinkin olemassa olevissa soodakattiloissa.



Kuva 3-1. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus lämpötilan funktiona.



4 HAJUKAASUJÄRJESTELMIEN RISKIT JA KORROOSIO

Tyypillisiä riskejä hajukaasujärjestelmissä ovat räjähdysvaara (kaasujen konsentroituminen ja syttyminen kipinästä, esimerkiksi ylipaineesta tulipesässä), myrkytysvaara, lauhteenpoisto-ongelmat (vesi tulipesään) ja korroosio/eroosio.

Soodakattilayhdistys suosittelee että ennen uusien keräilylähteiden liittämistä tai muutosten (mitoitus / ajotapa yms.) tekemistä suoritetaan hajukaasujärjestelmään riskienarviointitarkastus (esimerkiksi HAZOP).

Lisäksi hajukaasujen poltto voi aiheuttaa prosessiongelmia kuten rikkipäästöjä kattilasta, ekojen ja keittopintojen tukkeutumista ja polttohäiriöitä.

4.1 Hajukaasujen karkaaminen työskentelytilaan

Hajukaasuja voi vuotaa liitoksista, venttiileistä, vesityksistä tai vauriokohdista laitteiston ulkopuolelle. Hajukaasuissa on pelkistyneiden rikkiyhdisteiden ja metanolin pitoisuus korkea, jolloin myrkytysvaara on olemassa. Vuodon tapahtuessa kattilahuoneeseen tai muuhun tilaan, pitää koko huone tai muu tila evakuoida ja tuulettaa hyvin ja mittauksin varmistaa tilan sopivuus työskentelyyn.

Hajukaasuja vapautuu työskentelytilaan tavallisimmin lauhteista kunnossapitotöiden yhteydessä. Mahdollisia vuotokohteita kunnossapitotöiden yhteydessä ovat hajukaasujärjestelmän vesilukot sekä varolaitteet. Erityistä huolellisuutta vaaditaan metanoli- ja tärpätipolttimien käsittelyssä. Pienetkin vuotavat määrät aiheuttavat merkittävän hajuhaitan.

Koska väkevien hajukaasujen linjat ovat ylipaineisia ejektorin jälkeen soodakattilarakennuksessa, voi soodakattilarakennukseen muodostua kaasumyrkytysvaara hajukaasulinjan vuotaessa ja jollakin huonosti tuuletetulla alueella voi olla kaasuräjähdysvaara.

Sallittu rikkivety-pitoisuus sisätiloissa on 5 ppm (7 mg/m^3) / 8 h ja 10 ppm (14 mg/m^3) / 15 min Sosiaali- ja Terveysministeriön ohjeen ”[Työpaikan ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuudet](#)” mukaisesti. Nämä ns. HTP-arvot (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) ovat pienimpiä pitoisuuksia, joiden uskotaan voivan vahingoittaa työntekijää.



Tehtailla on sekä kiinteitä että kannettavia rikkivety-mittareita, joista kiinteät mittarit käynnistävät vilkkuvat hälytysvalot ja summerit, jos rikkivetypitoisuus ilmassa on liian korkea. Mittareiden sijoituksessa on hyvä huomioida mm. ilmavirtaukset ja työskentelykorkeus. Niin kannettaville mittareille kuin kiinteästi asennetuille tulee tehdä säännöllisesti toimintatestit ja ne tulee ohjeistaa laatu järjestelmissä ja tehdyt testit tulee dokumentoida.

Kun hajukaasulinjoilla tai -laitteilla tehdään korjaus- tai huoltotöitä, täytyy ko. työkohteilla saada erityislupa työn suorittamiseksi.

4.1.1 Haju

Rikkiyhdisteet turruttavat hajuaistin, joten nenään ei saa luottaa. Tilanne voi muodostua hengenvaaralliseksi, jollei asianmukaisia suojatoimia käytetä. Kaikkien hajukaasuja sisältävien laitteiden parissa työskentelevien on tutustuttava laimeitten – ja väkevien hajukaasujen käyttöturvallisuustiedotteisiin.

4.1.2 Suojautuminen

Hajukaasuilta suojautumiseen käytetään ainoastaan paineilmalaitteita. Kaasunamari ja hengitysilmasuojain on tarkoitettu vain vaara-alueelta poistumista varten.

4.2 Lauhteen poisto-ongelmat

Jos hajukaasulinjastossa oleva vesihöyry pääsee lauhtumaan, on olemassa sula-vesiräjähdysvaara, mikäli tämä vesi pääsee soodakattilaan.

Vesityksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja ne pitää järjestää linjoihin kattavasti.

4.2.1 Vesitaskun täyttyminen

Yleinen ongelma hajukaasujärjestelmissä on ajoittainen runsas lauhdemäärä. Vesitaskut lähimpänä soodakattilaa, on varustettava yläpinnan hälytyksellä sekä tarvittaessa lukituksella jolloin hajukaasut kääntyvät pois poltosta.



4.2.2 Vesilukon kuivuminen

Vesilukon kuivumista edistää hajukaasujen lämmitys lauhtumislämpötilaa korkeammalle. Vesilukkoihin on kuivumisen estämiseksi aina johdettava riittävä tuorevesivirta ja ne on varustettava vähintään virtausvahdeilla.

Vesilukkojen kuivuminen on estettävä myös seisokkien aikana.

4.2.3 Vesilukon tukkeutuminen

Hajukaasujen mukana kulkeutuu pieniä määriä lipeävaahtoa/suopaa, joka saattaa kerääntyä linjan alimpiin kohtiin kuten vesityksiin. Jos vesitysputkien halkaisija ei ole riittävän suuri, voi putkisto tukkeutua kokonaan.

4.3 Räjähdysvaarat hajukaasulinjoissa

Väkevän hajukaasun siirto ja poltto toteutetaan siten, että kaasu ei ole missään tilanteessa räjähtävää. Räjähdysvaara syntyy, jos väkevän hajukaasun joukkoon vuotaa ilmaa, esimerkiksi vesilukkojen tai säiliöitten varoventtiilien kautta. Väkevien hajukaasujen konsentraatio pidetään ylemmän räjähdysrajan yläpuolella huolehtimalla systeemin tiiveydestä.

Laimean hajukaasun siirto ja poltto toteutetaan niin, että kaasun konsentraatio on alle alemman räjähdysrajan. Laimeiden konsentraatio pidetään alle räjähdysrajan esimerkiksi huolehtimalla ilmalaimennuksesta. Joissain tapauksissa räjähdysvaara voi syntyä kun hajukaasuissa olevaa vesihöyryä lauhdutetaan pois jolloin kaasun konsentraatio nousee lähemmäksi alempaa räjähdysrajaa.

Syttyminen vaatii syttymisenergiaa. Maadoituksin, rakentein ja laitevalinnoin yritetään kipinän syntyä mahdollisuuksien mukaan estää.

4.3.1 Alas- ja ylösajotilanteet

Erityistä huomiota laimeiden hajukaasujen konsentraatioihin on kiinnitettävä alas- ja ylösajotilanteiden aikana. Usein soodakattiloiden hajukaasuräjähdykset ovat tapahtuneet juuri laimeiden hajukaasujen järjestelmille, joissa seisokki- tai häiriötilanteessa on konsentraatio päässyt nousemaan liian suureksi. Eräs tyypillinen ongelma on ollut räjähtävien kaasujen kerääntyminen putkistoon seisokin aikana ja niiden höyrystyminen käynnistyksen yhteydessä.



4.3.2 Tulenkäsittely- ja tupakointikielto

Hajukaasujen käsittelyalueella on tupakointi ja muu avotulenteko kielletty. Tästä syystä on hajukaasulinjat ja tulityöluvan mukaiset vakinaiset tulenkäsittely- sekä tupakointipaikat sijoitettava erilleen toisistaan. Kriittiset alueet tulee varustaa asianmukaisin varoituskilvin.

4.4 Kaasuräjähdyks kattilassa

Hajukaasut ovat palavien komponenttien, hapen ja inertin kaasun (typpi, vesihöyry) seos. Kuten aina palavia kaasuja käsiteltäessä on vaara, että tulipesässä tapahtuu kaasuräjähdyks. Kaasuräjähdyks saadaan aikaan, jos polttoainetta johdetaan tulipesään ilman että se välittömästi palaa, ja sen jälkeen seos saa niin paljon energiaa että se syttyy.

4.5 Sulavesiräjähdyks kattilassa

Hajukaasujen linjaan lauhtuneen veden joutuminen tulipesään voi aiheuttaa sulavesiräjähdysten. Veden tulon estämiseksi laimeat hajukaasut lämmitetään riittävästi jotta suurin osa vedestä olisi höyrynä ja hajukaasulinjat rakennetaan niin, että niissä on riittävät lauhteenpoistot ja kallistukset. Vesityksiä suunniteltaessa tulisi kiinnittää huomiota mm. kokoon, määrään ja sijaintiin.

Sulavesiräjähdyksellä tarkoitetaan kuumen kemikaalikeon kanssa kosketuksiin joutuvan veden erittäin nopeaa höyrystymistä. Höyrystymisen aiheuttama paineaalto saattaa rikkoa tulipesää ja siten aiheuttaa savukaasu/vesi/höyryvuodon kattilahuoneeseen.

4.6 Korroosio-ongelmat

Hajukaasujen polttaminen soodakattilassa ei ole todettu lisänneen soodakattilan korroosiota.

4.7 Kipinäinti/staattinen sähkö

Räjähdyks vaatii alkuenergian esimerkiksi kipinästä. Turvallisuuden takaamiseksi hajukaasulinjoille tehdään potentiaalintasaus keräilypisteestä lähtien. Potentiaalintasauksen tarkoituksena on ehkäistä vaarallisten jännite-erojen esiintyminen samanaikaisesti kosketeltavien johtavien osien välillä. Esimerkiksi laipoissa, luukuissa

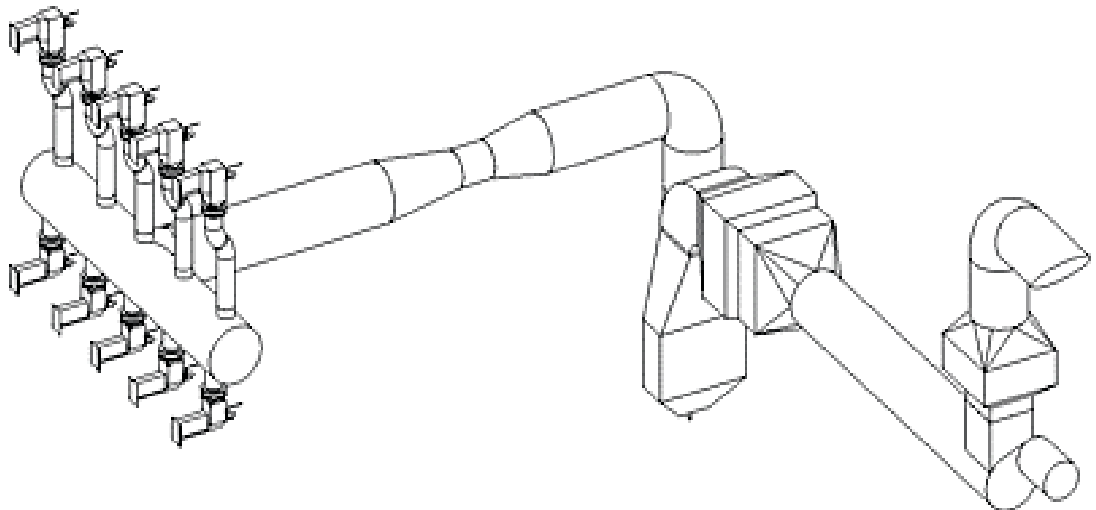


sa ja yhteissä, joissa esim. tiivistemateriaalin takia voi muodostua galvaaninen ero-
tus, on suoritettava potentiaalintasaus. Potentiaalintasaus tehdään määräysten mu-
kaan ja varmistetaan mittauspöytäkirjalla.

5 LAIMEIDEN HAJUKAASUJEN JÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA

Laimeat hajukaasut eivät ole polttoainetta. Ne koostuvat pääasiassa ilmasta ja vesihöyrystä. Laimeat hajukaasut luokitellaan kemikaalilain mukaisesti yleensä haitalliseksi, joten niiden laitteiden hankinta, suunnittelu, asennus ja käyttö tulee hoitaa tämän mukaisesti.

Soodakattilan käyttöturvallisuuden takia pitää veden joutuminen kattilaan estää laimeiden hajukaasujen polton yhteydessä. Laimeat hajukaasut jäähdytetään (osa kaasun sisältämästä vedestä lauhtuu), siirretään puhaltimella ja kuumennetaan, jotta mahdolliset pisarat höyrystyisivät ennen polttoa. Hajukaasulinjat varustetaan lauhteenpoistolla, jottei vettä kerääntyisi hajukaasulinjaan ja joutuisi siitä kattilaan.



Kuva 5-1. Esimerkki laimeiden hajukaasujen kanavistosta

5.1 Koostumus ja määrä

Laimeat hajukaasut koostuvat mm. sellutehtaan kuitulinjan säiliö- ja laitehöngistä, haihduttamon säiliöalueen höngistä, kaustistamon höngistä yms. Laimeiden hajukaasujen määrä on noin $300 - 400 \text{ m}^3 \text{ n/ADt}$ ja niiden rikkipitoisuus on noin $0.1 - 0.5 \text{ kgS/ADt}$. Laimeat hajukaasut pääsääntöisesti käsitellään pesurityyppisellä hönkäjäjäähdyttimellä, jolloin käsiteltävä hajukaasumäärä pienenee. Sellutehtaan laimeiden hajukaasujen keräilykohteiden tyypillisiä osastomääriä on esitetty taulukossa 5-1.

**TAULUKKO 5-1. Laimeiden hajukaasujen keräilymäärät eri osastoilta lämpötilassa 40 °C.**

Osasto	kg S / ADt	m ³ n / ADt
Jatkuvatoimisen keiton höngät	0.1 – 0.5	100 – 400
Superbatch keiton höngät (evakuointi-ilma, paineet- tomien säiliöiden hönkä)	0.1 – 0.5	150 – 300
Pesemön höngät	0.05 – 0.1	100 – 200
Mäntyöljykeittämön höngät	0.05 – 0.2	2 – 3
Säiliöhöngät, haihduttamo (ilmanpaineiset säiliöt)	0.1 – 0.4	20 – 30
Kaustistamo- ja meesauunialue	0.01 – 0.1	5 – 10
Yhteensä	0.1 – 0.5	300 – 400

Laimeiden hajukaasujen konsentraatio pidetään koko ajan alle räjähdysrajan ja konsentraation nousu tulee estää. Kun konsentraatio ja kosteus pidetään alhaisena, niin laimeita hajukaasuja voidaan käsitellä kattilalaitoksella kuten muuta palamisilmaa. Esimerkkejä laimeiden hajukaasujen analyyseistä on esitetty taulukossa 5-2. Hajukaasun komponenttien pitoisuudet vaihtelevat paljon riippuen tehtaasta ja mittauspisteestä.

Taulukko 5-2. Esimerkkejä laimeiden hajukaasujen analyyseistä syntypisteessä.

	Tehdas A	Tehdas B	Tehdas C	Tehdas D	Tehdas E	Tehdas F	Tehdas G
Komponentti	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
H ₂ S	*	*	1	0	725	1	5
MM, CH ₃ SH	200	40	70	2	14	2	2706
DMS, (CH ₃) ₂ S	1 000	60	160	643	1 530	784	24 040
DMDS, (CH ₃) ₂ S ₂	90	*	270	1	10	365	267
Tärpähti, C ₁₀ H ₁₆	1 500	15	*	69	470	12 400	2
MeOH, CH ₃ OH	900	150	*	834	6 943	2 046	2 845
Etanoli, C ₂ H ₅ OH	80	*	*	*	*	*	*
Happi, O ₂	*	*	*	*	*	*	*
Ammoniakki, NH ₃	200	*	*	*	*	*	*
Vesi, H ₂ O	70 000	50 000	*	*	*	*	*
Hiilidioksidi, CO ₂	*	300	*	*	*	*	*

*) ei analysoitu tai havainnointirajan alapuolella

Kun laimeiden hajukaasujen poltto otetaan tehtaalla ensimmäistä kertaa käyttöön tai prosessiin tehdään muutoksia, tulee konsentraatiot linjoissa ja eri keräyspisteistä mitata jotta todetaan laimeiden hajukaasujen pitoisuudet eri keräyslähdeistä. Erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että hakesiilon höngissä häiriötilanteissa hajukaasujen konsentraatio ei nouse liian korkeaksi. Hakesiilon häiriötilanteessa ei sen hönkäkaasuja saa johtaa laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään.



Taulukko 5-3. Laimeiden hajukaasujen komponenttien suositeltavia enimmäispitoisuuksia ennen polttoa.

Ominaisuus	Raja	Huom.
Ilmapitoisuus, til-%	> 90	
Vesipitoisuus, til-%	< 7	40 °C
Vesipitoisuus til-%	< 12	50 °C
Rikkipitoisuus TRS, ppm	< 200	
Tärpättipitoisuus, ppm	< 1000	
Metanolipitoisuus, ppm	< 1000	

Taulukko 5-3 esittää suosituksen laimeiden hajukaasujen komponenttien enimmäispitoisuuksille ennen polttoa. Laimeat hajukaasut ovat tyypillisesti alle 10 % LEL rajasta.

Lisäksi on selvitettävä, mihin tärpättipitoiset lauhdeet johdetaan turvallisesti keittämöhäiriössä. Tiedetään tapauksia, joissa harkitsemattoman kytkennän vuoksi tärpättipitoisuus lauhdeessa on noussut keittämöhäiriön seurauksena merkittävästi.

Laimeat hajukaasut syötetään soodakattilaan tyypillisesti osana kattilan polttoilmaa. Lauhderyöpyn aiheuttaman sulavesiräjähdyksen vaaran vuoksi hajukaasujen syöttämistä primääri-ilman joukkoon ei suositella.

5.2 Jäähdytys/lämmitys

Laimeiden hajukaasujen lauhdetta ei saa päästä soodakattilan tulipesään. Laimeiden hajukaasujen mukana kulkevan vesihöyryn määrä tulipesään on oltava mahdollisimman pieni. Suositellaan, että laimeiden hajukaasujen lämpötila lauhduttimen jälkeen on 40–50 °C.

Laimeat hajukaasut suositellaan lämmitettävän 30 °C yli lauhdutuslämpötilan, jotta minimoidaan vesipisaroiden pääsy tulipesään.

5.3 Laimeiden hajukaasujen polton logiikka

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan laimeiden kaasujen polton logiikalta. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.



Tämä suositus ei koske laimeiden hajukaasujen keräilyn aloituksen ja ajon lukituksia, vaikka ne usein on osittain toteutettu samassa järjestelmässä kuin polton lukitukset. Nämä lukitukset pitää määritellä tapauskohtaisesti erikseen.

Soodakattilayhdistys suosittelee, että hajukaasujärjestelmä on ollut käytössä riittävän pitkään (esim. yli 1 tunti) ennen syötön aloittamista, jotta kanaviin lauhtuneet palavat hajukaasukomponentit höyrystetään ja tuuletetaan ulos. Jos mahdollista, laimeiden hajukaasujen keräily tulisi olla päällä seisokin aikana. Tavoite on että laimeiden hajukaasujen järjestelmässä ei tapahdu konsentroitumista väkeviksi.

Laimeiden hajukaasujen polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja polton aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu.

5.3.1 Laimeiden hajukaasujen syötön edellytykset

Laimeita hajukaasuja voidaan syöttää kattilan tulipesään, kun mm. seuraavat ehdot ovat voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönotto-vuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 5-4. Laimeiden hajukaasujen syötön edellytykset

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan höyrykuorma / syöttövesivirtaus on yli 15% kattilan nimelliskuormasta. Tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet hajukaasujen hapettumiseksi (lämpötila, viive-aika).
2.	Laimean hajukaasun puhallin päällä	Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
3.	Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä	Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
4.	Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä riittävä	Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
5.	Lämpötila jäähdytyksen jälkeen (ennen lämmityspatteria) alle lämpötilarajan	Alentaa kaasun tilavuutta ja vesihöyryn määrää
6.	Lämpötila ennen syöttöä kattilaan / lämmityspatterin jälkeen yli lämpötilarajan	Estää vesipisaroiden pääsyn kattilaan
7.	Tuuletus katolle (ohitus) on ollut käynnissä riittävän ajanjakson	Estää hajukaasujen konsentroituminen kanavistoon
8.	Hajukaasujärjestelmässä mahdollisesti oleva vesitaskun pinta alle ylärajan	Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka estää lauhteiden poiston



5.3.2 Laimeiden hajukaasujen syötön keskeytys

Laimeitten hajukaasujen syöttö kattilan tulipesään on keskeytettävä kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 5-5. Laimeiden hajukaasujen syötön keskeytys

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan höyrykuorma / syöttövesivirtaus on alle 15% kattilan nimelliskuormasta. Kuitenkin tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet hajukaasujen hapettumiseksi (lämpötila, viive-aika).
2.	Pikapysäytys laukeaa	Estää hajukaasujen syöttö kun kattila ei ole käytössä
3.	Laimean hajukaasun puhallin pysähtyy	Estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
4.	Lämpötila jäähtymisen jälkeen (ennen lämmityspatteria) nousee yli lämpötilarajan	Liian korkea kaasujen kosteuspitoisuus
5.	Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen laskee alle lämpötilarajan	Vesipisaroiden määrä nousee liian suureksi
6.	Paine hajukaasukanavassa laskee alle alarajan	Estää liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
7.	Hajukaasujärjestelmässä olevan vesitaskun pinta yli ylärajan	Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka estää lauhteiden poiston

5.4 Puhallin

Puhaltimen rakenne tulee olla riittävän tiivis ja siinä on oltava lauhteenpoisto.

5.5 Varasilmayhde

Laimeiden hajukaasujen järjestelmän osana voidaan käyttää varasilmayhdettä (lisäilmayhdettä, laimennusilmayhdettä), jossa hajukaasujen joukkoon lisätään ilmaa. Jos laimeiden hajukaasujen turvallisuus riippuu varasilmayhteen toiminnasta, on erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, ettei laimennusilma tulo voi estyä mistään syystä.

Edellä olevasta syystä on laimennusta valvottava ja mitattava riittävästi, esimerkiksi virtausmäärä mittauksilla ja riittämättömästä laimennuksesta suoritettava tarpeelliset lukitukset.



Jos varasilmayhde sijoitetaan puhaltimen imuaukon yhteyteen, on aukon suuntauksessa varauduttava mahdollisiin painepurkauksiin yhteestä. Puhaltimen käynnistymistä suojaavan varasilmayhteen on avauduttava lukitustoimintana puhaltimen pysähtyessä välittömästi ja sulkeuduttava hitaasti puhaltimen käynnistyessä puhallinta suojaavan laimennuksen varmistamiseksi.

5.6 Kanavat

Laimeiden hajukaasujen vuotaminen kattilahuoneeseen pitää estää ja kanavan pituus kattilahuoneessa minimoida.

5.6.1 Virtaus

Poltoon menevien laimeiden hajukaasujen virtausmäärää suositellaan mitattavaksi. Virtausmäärän mittauksen tulee sijaita mahdollisimman lähellä laimeiden hajukaasujen syöttökohtaa kattilaan.

5.6.2 Potentiaalitasaus

Laimeilla hajukaasuilla ei vaadita potentiaalitasasta.

5.7 Lauhteenpoisto

Laimeiden hajukaasujen linjat on varustettava lauhteenpoistoyhteillä. Lauhteet tulee ensisijaisesti johtaa likaislauhteiden käsittelyyn omana järjestelmänä.

5.7.1 Lauhteenpoistolinjojen koko

Lauhteenpoistoyhteitten ja niistä alkavien linjojen suositeltava putkihalkaisija on vähintään 50 mm tukkeutumisvaaran vuoksi.

5.7.2 Kanavien kallistus ja lauhteenpoistoyhteitten sijoitus

Kanavien ja putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Lauhteen poisto muuhun kun virtaussuuntaan on vaikeaa. Suositeltava kanavien kallistus, muualla kuin soodakattilalaitoksella, kaasun virtaussuunnassa on 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:25.

Veden tulipesään joutumisvaaran vuoksi soodakattilalaitoksessa on pyrittävä kanavien kallistukseen kaasun virtaussuunnassa 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempään. Ennen jyrkkää nousua on aina tehtävä lauhteenpoisto. Jollei



suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla kanavaa, on lauhteen poisto tällaisesta kanavan osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

Lauhteidenpoistoa suunniteltaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota mm. yhteiden kokoon, määrään ja sijaintiin. Viimeinen poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin, että kanavan pituus tästä poistosta pesään on mahdollisimman lyhyt.

5.7.3 Vesilukot

Lauhteidenpoistolinjat on varustettava vesilukoilla tai yhteisellä vesilukkosäiliöllä (lauhteiden keräysastia). Näin estetään hajukaasujen vuoto lauhteenpoistoyhteiden kautta.

Jotta vesilukkojen kuivuminen voidaan estää, on vesilukot varustettava pinnankorkeuden mittauksin tai virtausmittauksin varmistetulla jatkuvalla vesivirralla.

Jotta laimeiden hajukaasujen kanavassa vallitseva paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on lukon vesipintojen korkeuden eron voitava vaihdella ainakin 10 kPa tai kanavan rakennepainetta vastaava määrä. 10 kPa vastaa vesilukon pinnankorkeuden eron vaihtelua 1 m.

Jos lauhteet kerätään pumppausastiaan, niin astian pinnankorkeuksien eron tulee voida vaihdella ainakin 10 kPa tai kanavan rakennepainetta vastaavan määrä.

5.8 Pesurit / lauhduttimet

Laimeiden hajukaasujen järjestelmässä tulee olla tarpeellinen määrä pesureita tai lauhduttimia, joilla poistetaan kaasujen sisältämää vesihöyryä sekä VOC:ja (mm. tärpätti) ja siten pienennetään kerättävää kaasumäärää.

5.9 Venttiilit/pellit

Laimeiden hajukaasujen polton venttiilit/pellit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyyteen. Normaalisti käytetään tiiviitä läpäventtiilejä/peltejä isoille putkikooille.

Laimean hajukaasulinjan automaattisen sulkuventtiilin on sulkeuduttava apuenergi-
an loppuessa. Sulkuventtiileissä on oltava sulkeutumisen ilmaiseva rajatieto auto-
maatiojärjestelmään.

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4301 (SS2333) tai vastaava.



Kuva 5-2. Erään tehtaan laimeiden hajukaasujen polttojärjestelmä asennusvaiheessa.

5.10 Ohitus

Laimeiden hajukaasujen ohituskanava on johdettava mahdollisimman korkealle
paikalle. Normaalisti ohituskanava johdetaan soodakattilalaitoksen katolle tai savu-
piippuun.

Ohituksen automaattisen sulkuventtiilin on avauduttava apuenergian loppuessa.

5.11 Pisaranerotin

On suositeltavaa käyttää laimeiden hajukaasujen kanavan polttopäässä pisaranero-
tinta ennen kaasujen lämmitystä ja aina sen jälkeen kun laimeita hajukaasuja jääh-
dytetään tai käsitellään pesurilla. Pisaranerottimessa poistetaan mahdolliset lauhteet
kaasusta.



5.12 Liekinestin

Laimeiden hajukaasujen kanavissa ei tarvitse käyttää liekinestintä.

5.13 Alipainesuoja

Laimeille hajukaasuille voidaan käyttää alipainesuojaa jos putkiston rakennepaine ja puhaltimen imu sitä vaativat.

5.14 Ylipainesuoja

Laimeille hajukaasuille ei tarvitse käyttää ylipainesuojaa.

5.14.1 Räjähdyslevyt / murtokalvot

Laimeiden hajukaasujen kanavissa ei tarvitse käyttää räjähdyslevyä. Mikäli järjestelmissä käytetään painesuojaukseen murtokalvoja, on näiden kuntoa valvottava automaatiojärjestelmässä aiheuttamalla hälytys. Tällaisen murtokalvon poistoaukon suuntaus on tehtävä turvalliseen suuntaan.

5.15 Pitoisuusmittaus

Laimeille hajukaasuille ei tarvitse käyttää jatkuvatoimista pitoisuusmittausta.

Soodakattilayhdistys suosittelee, että laimeiden hajukaasujen pitoisuudet lähtöpis-
teessä mitataan, jos tässä syntykohteessa tehdään laitemuutoksia.

Lisäksi Soodakattilayhdistys suosittelee, että laimeiden hajukaasujen rikki- ja hap-
pipitoisuus polttoon mitataan ainakin kerran vuodessa.



6 LIUOTTIMEN HÖNGÄN KÄSITTELYJÄRJESTELMÄT SOODAKATTILALLA

Liuottimen höngät vastaavat ominaisuuksiltaan laimeita hajukaasuja. Ne koostuvat pääasiassa ilmasta ja vesihöyrystä. Liuottimen hönkien sisältämän hajurikin talteen saamiseksi sekä pölypäästöjen pienentämiseksi niitä on alettu polttaa soodakattiloilla. Soodakattilayhdistys suosittelee liuotinhönkien polttamista soodakattilalaitoksella.

Liuottajan hönkajärjestelmään voidaan johtaa mm. sekotussäiliön hönkiä, tuhkan käsittelyprosessin hönkiä sekä tehtaan laimeita hajukaasuja,

Soodakattilan käyttöturvallisuuden takia pitää veden joutuminen kattilaan estää liuottimen hönkien polton yhteydessä.

Liuottimen höngät pestään, jäähdytetään, siirretään puhaltimella ja kuumennetaan, jotta mahdolliset pisarat höyrystyisivät ennen polttoa. Hönkälinjat varustetaan lauhteenpoistolla, jottei vettä kerääntyisi hönkälinjaan ja joutuisi siitä kattilaan.

6.1 Koostumus ja määrä

Liuottimen höngät ovat peräisin pääasiassa vuotoilmasta, sulan lämmön aikaansaamasta liuottimen kiehumisesta ja sulan hajotushöyrystä. Ongelmallisinta käsittelyn kannalta on liuottimen hönkien sisältämät pienet viherlipeäpisarat, jotka kuivussa pyrkivät likaamaan hönkajärjestelmän.

Sellutehtaan liuottimen hönkien määriä ja koostumuksia on esitetty taulukossa 6-1.

TAULUKKO 6-1. Liuottimen hönkien määrät ja koostumus, Rantanen 1987

Hönkämäärä liuotinsäiliöstä	$\text{m}^3\text{n} / \text{kgka}$	0.4 – 0.8
Hönkien lämpötila liuotinsäiliöstä	$^{\circ}\text{C}$	85 - 95
Hönkien kosteuspitoisuus liuotinsäiliöstä	til-%	40 - 80
Hönkien kokonaispöly liuotinsäiliöstä	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	1000 – 5000
Hönkien TRS liuotinsäiliöstä	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	150 - 700
Hönkien kokonaisrikki pesurin jälkeen	$\text{kg S} / \text{ADt}$	0.01 - 0.1
Hönkien kokonaispöly pesurin jälkeen	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	100 - 200
Hönkien TRS pesurin jälkeen	$\text{mg} / \text{m}^3\text{n}(\text{kuiva})$	1 - 10

Liuottimen hönkiä syötetään soodakattilaan esimerkiksi sekoitettuna ilmaan tai muihin kattilaan johdettaviin laimeisiin hajukaasuihin. Toinen mahdollisuus on syöttää liuottimen höngät omien erillisten suutinten kautta.



6.2 Sekoitussäiliön höngät

Sekoitussäiliön hönkiä johdettaessa liuottimen hönkäjärjestelmään on otettava huomioon niiden likaava vaikutus, jolloin sekoitussäiliön hönkäjärjestelmään voidaan lisätä oma pesuri.

Sekoitussäiliön hönkiä johdettaessa tulipesään omana järjestelmänään on huomioitava liuotinhöngkien polton erityispiirteet.

6.3 Jäähdytys/Lämmitys

Liuottimen höngkien lauhdetta ei saa päästä soodakattilan tulipesään. Liuottimen höngkien järjestelmässä tulee olla jäähdytin, joka on voitu kytkeä pesuriin tai voi olla erillinen. Jäähdyttimellä poistetaan vesihöyryä ja siten pienennetään kattilaan menevää kaasumäärää. Jäähdyttimen pesumahdollisuus käynnin aikana on huomioitava.

Suositellaan, että liuottimen höngkien lämpötila lauhduttimen jälkeen on 40–50 °C.

Liuottimen höngät suositellaan lämmitettävän 30 °C yli lauhdutuslämpötilan, jotta minimoidaan vesipisaroiden pääsy tulipesään.

6.4 Liuottimen höngkien polton logiikka

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan liuottimen höngkien polton logiikalta. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Liuottimen höngkien polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja polton aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu.



6.4.1 Liuottimen hönkien syötön edellytykset

Liuottimen hönkiä voidaan syöttää kattilan tulipesään, kun seuraavat ehdot ovat voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 6-2. Liuottimen hönkien syötön edellytykset

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan höyrykuorma/syöttövesivirtaus on yli 5% kattilan nimelliskuormasta. Tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet hajukaasujen hapettumiseksi (lämpötila, viive-aika)
2.	Liuottimen hönkäpuhallin on päällä	Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
3.	Paine kanavistossa ennen sulkuventtiiliä on riittävä	Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
4.	Lämpötila jäähdytyksen jälkeen (ennen lämmityspatteria) on alle lämpötilarajan	Alentaa kaasun tilavuutta ja vesihöyryn määrää
5.	Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen on yli lämpötilarajan	Estää vesipisaroiden pääsy kattilaan
6.	Hajukaasujärjestelmässä mahdollisesti oleva vesitaskun pinta alle ylärajan	Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka estää lauhteiden poiston
7.	Virtaus kanavistossa ennen sulkuventtiiliä on riittävä (jos erilliset suuttimet)	Varmistaa riittävä virtaus kanavassa, jolla estetään liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)

6.4.2 Liuottimen hönkien syötön keskeytys

Liuottimen hönkien syöttö kattilan tulipesään on keskeytettävä, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 6-3. Liuottimen hönkien syötön keskeytys

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan höyrykuorma / syöttövesivirtaus on alle 5% kattilan nimelliskuormasta. Tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet hajukaasujen hapettumiseksi (lämpötila, viive-aika)
2.	Pikapysäytys laukeaa	Estää hajukaasujen syöttö kun kattila ei ole käytössä
3.	Liuottimen hönkien puhallin pysähtyy	Estää liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)
4.	Lämpötila jäähdytyksen jälkeen (ennen lämmityspatteria) nousee yli lämpötilarajan	Alentaa kaasun tilavuutta ja vesipisaroiden määrää



5.	Lämpötila ennen syöttöä kattilaan/lämmityspatterin jälkeen laskee alle lämpötilarajan	Estää vesipisaroiden pääsy kattilaan
6.	Vesitaskun pinta yli ylärajan	Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka estää lauhteiden poiston

6.5 Puhallin

Puhaltimen rakenne tulee olla riittävän tiivis ja siinä on oltava lauhteenpoisto.

6.6 Kanavat

Liuottimen hönkien vuotaminen kattilahuoneeseen pitää estää ja kanavan pituus kattilahuoneessa minimoida.

Korroosiovaaran vuoksi on liuottimen hönkien polton kanavat ja suuttimet tehtävä ruostumattomasta teräksestä EN 1.4301 (SS2333) tai paremmasta.

6.6.1 Virtaus

Liuottimen hönkien virtausmäärä voidaan mitata. Virtausmäärän mittauksen tulee sijata lähellä liuottimen hönkien syöttöä kattilaan.

6.6.2 Potentiaalintasaus

Liuottimen hönkien kanavistolle ei tarvitse tehdä potentiaalintasausta.

6.7 Lauhteenpoisto

Liuottimen hönkien linjat on varustettava lauhteen poistoyhteillä. Lauhteet tulee ensisijaisesti johtaa liuottimeen tai likaisten lauhteiden käsittelyyn.

6.7.1 Lauhteenpoistolinjojen koko

Lauhteenpoistoyhteitten ja niistä alkavien linjojen suositeltava putkihalkaisija on vähintään 50 mm tukkeutumisvaaran vuoksi.

6.7.2 Kanavien kallistus ja lauhteenpoistoyhteitten sijoitus

Kanavien ja putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Lauhteen poisto muuhun kun virtaussuuntaan on vaikeaa. Suositeltava kanavien kallistus, muualla kuin soodakattilalaitoksella, kaasun virtaussuunnassa on 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:25.



Veden tulipesään joutumisvaaran vuoksi soodakattilalaitoksessa on pyrittävä kanavien kallistukseen kaasun virtaussuunnassa 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempi. Ennen jyrkkää nousua on aina tehtävä lauhteenpoisto. Jollei suositeltaviin kallistuksiin päästä jollain osalla kanavaa, on lauhteen poisto tällaisesta kanavan osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

Lauhteidenpoistoa suunniteltaessa tulee kiinnittää erityistä huomiota mm. yhteiden kokoon, määrään ja sijaintiin. Viimeinen poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin, että kanavan pituus tästä poistosta pesään on mahdollisimman lyhyt.

6.7.3 Vesilukot

Lauhteidenpoistolinjat on varustettava vesilukoilla tai yhteisellä vesilukkosäiliöllä. Näin estetään haisevien kaasujen vuoto lauhteenpoistoyhteiden kautta.

Jotta vesilukkojen kuivuminen voidaan estää, on vesilukot varustettava pinnankorkeuden mittauksin tai virtausmittauksin varmistetulla jatkuvalla vesivirralla.

Jotta liuottimen hönkien kanavassa vallitseva paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on lukon vesipintojen korkeuden eron voitava vaihdella ainakin 10 kPa tai kanavan rakennepainetta vastaava määrä. 10 kPa vastaa vesilukon pinnankorkeuden eron vaihtelua 1 m.

Jos lauhteet kerätään pumppausastiaan, niin astian pinnankorkeuksien eron tulee voida vaihdella ainakin 10 kPa tai kanavan rakennepainetta vastaavan määrän.

6.8 Pesuri

Liuottimen hönkien järjestelmässä tulee olla pesuri, jolla poistetaan pölyä ja vesihöyryä. Pesurin ja päälaitteiden pesumahdollisuus käynnin aikana on huomioitava.

6.9 Venttiilit/pellit

Liuottimen hönkien polton venttiilit/pellit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyyteen. Normaalisti käytetään tiiviitä läppäventtiilejä/peltejä.



Liuottimen hönkälínjan automaattisen sulkuventtiilin/pellin on mentävä itsestään kiinni apuenergian loppuessa.

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4301 (SS2333) tai vastaava.

6.10 Ohitus

Liuottimen hönkien ohituskanava on johdettava mahdollisimman korkealle paikalle. Normaalisti ohituskanava johdetaan soodakattilalaitoksen katolle tai savupiippuun.

Ohituksen automaattisen sulkuventtiilin on avauduttava apuenergian loppuessa.

6.11 Pisaranerotin

Liuottimen hönkien järjestelmässä suositellaan pisaranerotinta kaasun jäähtymisen jälkeen. Pisaranerottimessa poistetaan mahdolliset lauhteet kaasusta.

6.12 Liekinestin

Liuottimen hönkien kanavissa ei tarvitse käyttää liekinestintä.

6.13 Ylipainesuoja

Liuottimen hönkäjärjestelmän on kestättävä puhaltimen aiheuttama ylipaine. Lisäksi liuottimelta menee erillinen kanava soodakattilan katolle, joka aukeaa liuottimen ylipaineesta.

6.13.1 Räjähdyslevy

Liuottimen hönkien kanavissa ei tarvitse käyttää räjähdyslevyä.

6.14 Pitoisuusmittaus

Liuottimen höngille ei tarvitse käyttää jatkuvatoimista pitoisuusmittausta.

7 VÄKEVIEN KAASUJEN POLTTO SOODAKATTILALLA

Väkevät hajukaasut ovat luonteeltaan matalalämpöarvoinen polttoaine ja niiden polttojärjestelmän tulee noudattaa turvallisuusmääräyksiltään ja logiikaltaan räjähtävien kaasujen poltosta annettuja suosituksia ja määräyksiä.

Väkevien hajukaasujen lähteet ovat mm. haihduttamon tyhjökaivon lauhtumattomat kaasut, stripperin ja metanolitislauksen kaasut, likaislahdesäiliön hönkä, keittimen lauhduttimien kaasut, tärpättisysteemin kaasut sekä paineistetun lipeän väkevöinnin kaasut.

Väkevien hajukaasujenjärjestelmien suunnittelussa on huomioitava ATEX-säädökset.



Kuva 7-1. Soodakattilan tulipesän alaosa, jossa keskellä erillispoltin väkeville hajukaasuille.

7.1 Koostumus ja määrä

Väkevien hajukaasujen kokonaismäärä modernissa sellutehtaassa on 2 - 4 kgS/ADt. Määrä lisääntyy merkittävästi jos mustalipeää haihdutetaan korkeaan kuiva-aineeseen (yli 80 %). Prosessista johtuen väkevien hajukaasujen määrä voi vaihdel-



la suuresti eri ajankohtina. Sellutehtaan väkevien hajukaasujen keräilykohteiden tyypillisiä määriä on esitetty taulukossa 7-1.

TAULUKKO 7-1. Väkevien hajukaasujen tyypillisiä määriä eri osastoilta

Osasto	kg S / ADt	m ³ n / ADt
Eräkeiton pusku	0.4 – 0.8	5 – 15
Eräkeiton kaasaus	0.1 – 0.2	1.0 – 3.0
Jatkuva keitto	0.1 – 0.4	1.0 – 4.5
Stripperi	0.5 – 1.0	15 – 25
Haihduutamo	0.4 – 0.8	1 – 10
Metanolin käsittely	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0
Mustalipeän lämpökäsittely	2 – 3	1.5 – 3.0
Konsentraattori	2 – 5	1.5 – 6.0

Väkevät hajukaasut sisältävät merkittäviä määriä rikkiyhdisteitä sekä ammoniakia. Esimerkkejä väkevien hajukaasujen analyyseista on esitetty taulukossa 7-2. Väkevät hajukaasut luokitellaan sisältönsä mukaan joko erittäin myrkyllisiksi, myrkyllisiksi tai palaviksi.

TAULUKKO 7-2. Esimerkkejä väkevien hajukaasujen analyyseista.

	Tehdas A	Tehdas B	Tehdas C	Tehdas D
Komponentti	ppm	ppm	ppm	% vol
H ₂ S	*	50 000	81 300	1.5
CH ₃ SH	80 900	110 000	188 300	2.0
(CH ₃) ₂ S	22 000	50 000	116 000	2.0
(CH ₃) ₂ S ₂	800	30 000	3 000	1.5
C ₁₀ H ₁₆ (tärpätti)	1 900	*	*	0.1
CH ₃ OH	*	*	*	0.2
O ₂	*	*	*	9.0
NH ₃	*	*	*	*
H ₂ O	20 000	330 000	*	6.0
CO ₂	*	*	*	*

*) ei analysoitu tai havainnointirajan alapuolella

TAULUKKO 7-3. Väkevien hajukaasujen komponenttien lämpöarvoja, BLRBAC.

Komponentti	kJ/kg(kuiva)
H ₂ S	15 280
CH ₃ SH	26 100
(CH ₃) ₂ S	30 890
(CH ₃) ₂ S ₂	23 630
Tärpätti	41 560
Metanoli(kaasu)	22 720

Väkeviä hajukaasuja ei yleensä jäähdytetä eikä kuumenneta kuten laimeita hajukaasuja. Väkevien hajukaasujen siirtoon käytetään ejektoria tai nesterengaskompressoria. Näiden laitteiden jälkeen hajukaasujärjestelmässä on pisanerotin, liekinestin ja räjähdyslevy ennen polttoa.



Väkevien hajukaasujen poltto- ja keräilyjärjestelmältä vaaditaan että vuodot linjoista työskentelytiloihin on estetty, vettä ei pääse kaasujen mukana tulipesään ja tulipalon/räjähdyksen riski on minimoitu.

7.2 Väkevien kaasujen polton logiikka

Väkevien hajukaasujen polttoa soodakattilassa tulee voida valvoa ja sen aloittaminen ja lopettaminen tulee voida tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu.

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan väkevien kaasujen polttimen polttologiikalta. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Tämä suositus ei koske väkevien hajukaasujen keräilykohteiden lukituksia, vaikka ne usein on osittain toteutettu samassa järjestelmässä, kuin polton lukitukset.

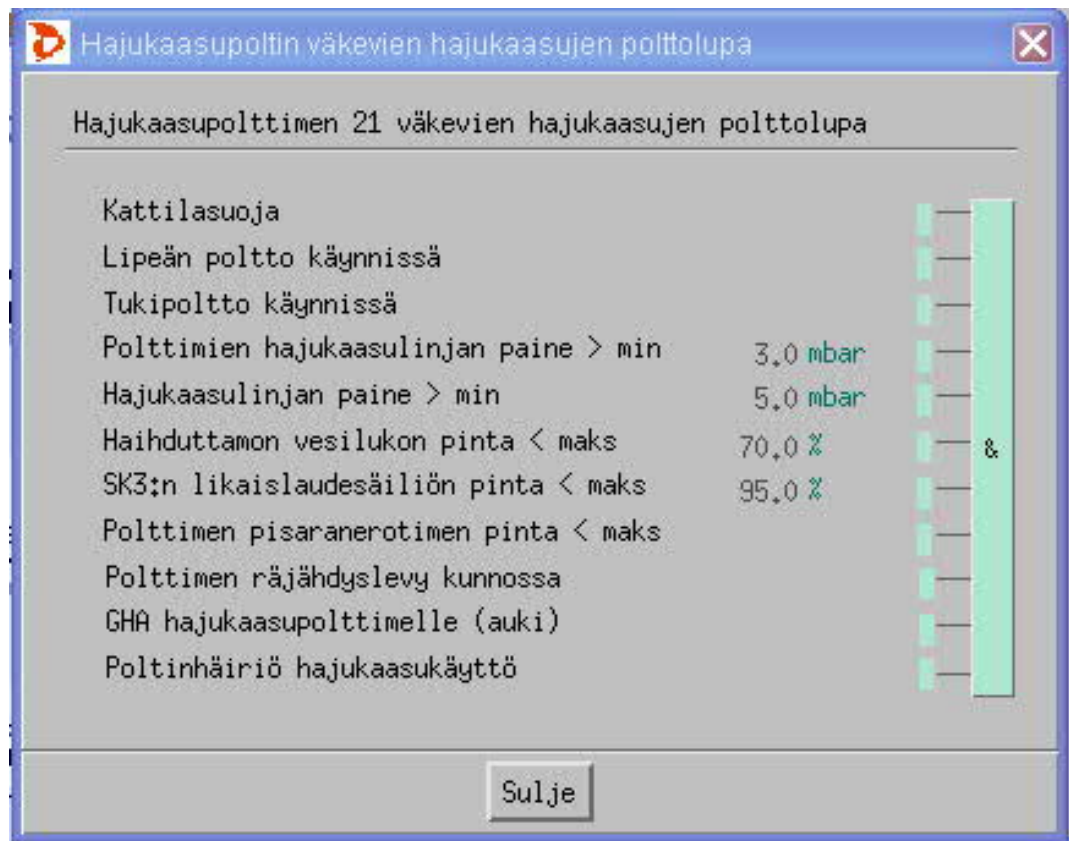
7.2.1 Väkevien kaasujen polttimen käynnistyksen edellytykset

Väkevien kaasujen poltto voidaan aloittaa kun mm. seuraavat ehdot ovat voimassa.

HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.

Taulukko 7-4. Väkevien kaasujen polttimen käynnistyksen edellytykset

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan tuliteho suurempi kuin 0,7 MW/m ² Tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet hajukaasujen hapettumiseksi (lämpötila, viive-aika)
2.	Polttimen tukiliekki on päällä	Varmistaa riittävät palamisolosuhteet polttimella
3.	Liekinvartija näyttää tukiliekin olevan päällä	Varmistaa tukiliekin palamisen
4.	Polttimen polttoilman tulopaine sekä virtaus on yli minimiarvon	Varmistaa riittävä ilmavirtaus polttimelle
5.	On tarkistettu, että poltinaukko ei ole tukossa	Varmistaa turvallinen hajukaasujen poltto



Kuva 7-2. Esimerkki erään tehtaan väkevien hajukaasujen polttoehdoista

7.2.2 Kapasiteettirajoitus

Väkevien hajukaasujen poltto vaatii, että tulipesässä on riittävä lämpötila ja viive-aika, jotta hajukaasut palaisivat hiilidioksidiksi, vesihöyryksi ja rikkidioksidiksi. Riittävä lämpötila saavutetaan, kun kattilan kuormaa nostetaan tarpeeksi. Minimikapasiteetin höyryvirtana määrittää laitetoimittaja. Koska nimelliskuorma on usein jonkin verran epämääräinen käsite, suositellaan, että tämä kapasiteetti vastaisi vähintään tulitehoa $0,7 \text{ MW/m}^2$ pohjaa. Esimerkki kapasiteettirajan laskemiseksi on esitetty Liite 1.



7.2.3 Väkevien kaasujen polton keskeyttäminen

Väkevien kaasujen poltto keskeytyy, kun esimerkiksi jokin seuraavista ehdoista on voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 7-5. Väkevien kaasujen polton keskeyttäminen

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan tuliteho alle 0,7 MW/m ² Tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet hajukaasujen hapettumiseksi (lämpötila, viive-aika)
2.	Pikapysäytys laukeaa	Estää hajukaasujen syöttö kun kattila ei ole käytössä
3.	Hajukaasun lauhteenpoistojärjestelmän pintakytkimet laukeaa	Indikoi vikaa lauhteenpoistojärjestelmässä, joka estää lauhteiden poiston Estää veden pääsy kattilaan
4.	Hajukaasun paine ennen poltinta laskee alle alarajan	Estää liekin eteneminen taaksepäin putkistoon (takatuli)

Väkevien kaasujen poltto **suositellaan keskeytettävän**, jos esimerkiksi jokin seuraavista hälytyksistä aktivoituu.

Taulukko 7-6. Väkevien hajukaasujen polton hälytyksiä

	Hälytys	Hälytyksen tarkoitus
1.	Kattilan CO päästö on huomattavan korkea (yli 1000 ppm yli 1 min)	Poltossa merkittävä häiriö
2.	Kattilahuoneen rikkipitoisuushälytys (H ₂ S) laukeaa.	Tarkistaa vuotaako hajukaasujärjestelmä
3.	Polttomustalipeän kuiva-aine laskee alle hälytyksen aiheuttavan alarajan	Palamisen varmistaminen
4.	Liekinestimen paine-ero yli ylärajan	Liekinestin tukossa/tukkeutumassa
5.	Hajukaasun virtaus polttimelle laskee alle alarajan (varsinainen virtaus varmistetaan paineen kautta)	Todetaan, että hajukaasuja tulee polttoon

7.2.4 Poltin ja tukiliekin käyttö

Väkevät hajukaasut voidaan polttaa ainoastaan asianmukaisella ja tarkoitukseen soveltuvalla erillispolttimella. Poltin tulee varustaa erillisellä ilmarekisterillä ja erillisellä lanssilla tuki/pilottipolttoaineelle, joka voi olla esimerkiksi öljy, kaasu, metanoli, tärpätti, pikiöljy. Väkevien hajukaasujen polttimen ilmaksi ei suositella laimeita hajukaasuja kaasujen kosteuden ja epäpuhtauksien takia.

Väkevien hajukaasujen polttimen sähköistyksen ja automatiikan täytyy täyttää kaasupolton sähköistyksen ja automatiikan vaatimukset. Jos tukipolttoaineena käytetään öljyä, on nämä määräykset tältä osin täytettävä.

Väkevien hajukaasujen palaminen vaatii riittävää polttovyöhykkeen lämpötilaa. Yleisesti vaatimuksena pidetään 900 °C. Lämpötilavaatimus täyttyy, jos hajukaasu- ja johdetaan, kattilan toimiessa stabiilisti ja riittävällä kuormalla, lipeäruiskujen alapuolelle. Jos väkeviä hajukaasuja johdetaan lipeäruiskujen yläpuolelle, pitää varmistaa, että ne johdetaan kattilan sellaiseen osaan, jossa tämä lämpötila ylitetään. Toinen mahdollisuus on käyttää riittävän kapasiteetin omaavaa tukiliekkiä.

Pienillä kuormilla tukiliekkin tarkoitus on varmistaa hajukaasujen syttyminen ja palaminen eikä liekin irtoamista tai sammumista polttimella tapahdu. Tukiliekkin polttoaineteho tulee olla vähintään 10 % polttimen maksimaalisesta polttoainetehosta. Tukiliekkiä on valvottava liekinvalvojilla.

Kuvassa 7-3 on esimerkki väkevien hajukaasujen polttimesta kuvattuna ulkoa että sisältä, jossa näkyy mm. hajukaasujen poltin, metanolilanssi, liekinvalvojat, liekinestin ja tukipoltin.



Kuva 7-3. Eräs väkevien hajukaasupoltin kuvattuna kattilan sisältä ja ulkoa.



Väkevien hajukaasujen tukipoltin täytyy varustaa paikallisojhauskoteloilla, josta tukipoltto käynnistetään. Hajukaasujen poltto voidaan tämän jälkeen käynnistää valvomosta. Kumpikin edellä mainittu voidaan pysäyttää valvomosta.

Kattilan toimiessa tulitehoalueella suurempi kuin $0,7 \text{ MW/m}^2$, tukiliekkin voi yrittää sytyttää valvomosta max. 2 kertaa. **HUOM: tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti.** Ensimmäinen sytytys tulee aina tehdä polttimen vierestä.

Tukiliekkin sammussa väkeviä hajukaasuja voidaan johtaa soodakattilaan jonkin aikaa (esim. 3 minuuttia) ennen pikasulkuventtiilien sulkeutumista. Tänä aikana voi vaihtoehtoisen polttopaikan käynnistyssekvenssi käynnistyä.

Tukiliekkiä ei tarvita kun seuraavat ehto on voimassa. **HUOM. Ehto saattaa vaihdella käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia.**

Taulukko 7-7. Edellytykset hajukaasujen polttoon ilman tukiliekkiä

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Kattilan tuliteho suurempi kuin $1,5 \text{ MW/m}^2$. Tämä raja tulee määrittää tapauskohtaisesti	Varmistaa tulipesässä riittävän vakaat olosuhteet (lämpötila, viive-aika)

7.3 Putkisto

Väkevien hajukaasujen linjojen pituus soodakattilahuoneessa on pyrittävä pitämään mahdollisimman lyhyenä. Putkisto on sijoitettava välttämällä mahdollisia ongelmapaikkoja kuten liuotussäiliö ja sen ympäristö, heikko nurkka, hätäpoistumistiet ja porraskäytävät.

Putkiston rakentamisessa on noudatettava paineastia- ja kemikaalilakia.

Putkiston rakennemateriaaliksi suositellaan haponkestävää terästä EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa. Hajukaasun eräät yhdisteet, kuten tärpätti ja metanoli, ovat voimakkaita liuottimia, minkä johdosta lasikuitu- ja muoviosien käyttöä ei sallita.

7.3.1 Putkiston höyrytys

Polton pysähtyttyä suositellaan väkevien kaasujen linjojen tuuletusta sulkuventtiileiltä kattilaan puhaltamalla ne puhtaaksi inertillä väliaineella. Inerttejä väliaineita



ovat mm. höyry ja typpi. Linjojen puhallusta ilmalla ei suositella, koska puhallusilman ja puhallettavan väkevän hajukaasun rajavyöhykkeelle muodostuu räjähtävä seos. Käytännössä linjat aina höyrytetään.

Höyrytettäessä on olemassa riski, että linjaan lauhtunut vesi pääsee tulipesään ja aiheuttaa vaaratilanteen. Putkistosuunnittelussa on otettava huomioon että putkistoon mahdollisesti lauhtuvat vedet johdetaan lauhteenkeräilyyn.

7.3.2 Putkiston painemittaukset

Väkevien hajukaasujen putkisto pitää varustaa painemittauksin ejektorin jälkeen ja välittömästi ennen väkevien hajukaasujen poltinta. Putkiston paineesta on ylipaine- sekä minimipainehälytys.

Putkiston tukkeentumista voidaan valvoa sekä virtausmäärän että painemittausten perusteella.

7.3.3 Potentiaalitasaus

Väkevien hajukaasujen linjoille tehdään potentiaalintasaus. Esimerkiksi laipoissa, luukuissa ja yhteissä, joissa esim. tiivistemateriaalin takia voi muodostua galvaaninen erotus, on suoritettava potentiaalintasaus. Potentiaalintasaus tehdään määräysten mukaan ja varmistetaan mittauspöytäkirjalla.

7.4 Lauhteenpoisto

Väkevien hajukaasujen linjat on varustettava lauhteenpoistoyhteillä. Lauhteet sisältävät runsaasti hajuyhdisteitä. Lauhteet tulee kerätä pumppaussäiliöön ja pumpata säiliön kautta haihduttamolle likaislauhteiden strippaukseen.

7.4.1 Lauhteenpoistolinjojen koko

Lauhteenpoistoyhteitten ja niistä alkavien linjojen suositeltava putkihalkaisija on vähintään 50 mm syntyvän lauhde- sekä tukkeutumisvaaran vuoksi. Ulkona olevat yhteet ja lauhdeputket varustetaan sähkösaatolla jäätymisvaaran takia.

7.4.2 Putkien kallistukset ja lauhteenpoistoyhteiden sijoitus

Putkien on kallistuttava lauhteenpoistoihin päin. Suositeltava putkien kallistus, muualla kuin soodakattilalaitoksella, lauhteen kulkiessa kaasun virtaussuunnassa



on 1:100 ja lauhteen kulkiessa kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:25. Putket tulee mitoittaa niin suureksi, ettei lauhde ala tulvia putkistossa.

Veden tulipesään joutumisvaaran vuoksi soodakattilalaitoksessa on pyrittävä putkiston kallistukseen kaasun virtaussuunnassa 1:100 ja kaasun virtaussuuntaa vastaan 1:1 tai jyrkempi. Jollei suositeltuihin kallistuksiin päästä jollain osalla putkistoa, on lauhteen poisto tällaisesta putkiston osasta suunniteltava erityisen huolellisesti.

Lauhteidenpoistoa suunniteltaessa tulisi kiinnittää huomiota mm. yhteiden kokoon, määrään ja sijaintiin. Viimeinen poisto tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle soodakattilaa niin, että putkiston pituus tästä poistosta pesään on mahdollisimman lyhyt. Erityistä huomiota tulee kiinnittää väkevien hajukaasupolttimen paineenpito-höyrylinjojen lauhteenpoistoon.

7.4.3 Vesilukot

Jotta lauhteenpoistoyhteiden kautta estettäisiin hajukaasujen vuoto, on lauhteidenpoistolinjat varustettava vesilukoilla ja pumppaussäiliöllä tai yhteisellä vesilukkosäiliöllä.

Jotta väkevien hajukaasujen putkistossa ejektorin kehittämä paine ei riittäisi tyhjentämään vesilukkoa, on vesilukon mitoituksessa otettava huomioon ejektorin mitoitussarvot (yli- ja alipaine) sekä prosessin tuomat vaateet (esimerkiksi systeemin pulloitus).

Vesilukkosäiliö on mitoitettava riittävän suureksi jotta ejektorin imu ei ota pisaroita mukaansa. Vesilukkojen pinta tulee varmistaa. Yhtenä keinona on johtaa vesilukkaan jatkuva vesivirtaus, joka varmistetaan virtausmittauksella.

7.5 Venttiilit

Väkevien hajukaasujen polton venttiilit on valittava huolellisesti. Erityistä huomiota on kiinnitettävä venttiilien tiiviyyteen.

Väkevien hajukaasujen tulolinjassa polttimelle pitää olla kaksi pikasulkuventtiiliä ja välissä tuuletusputkilinja venttiileineen. Venttiilivalinnassa on huomioitava palalle kaasulle esitetyt vaatimukset mm. palonkesto.



Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan haponkestävää terästä EN 1.4436 (SS2343) tai vastaava materiaalia.

7.5.1 Sulkuventtiilit

Väkevien hajukaasujen linjat on varustettava tiiviillä sulkuventtiileillä. Sulkuventtiilit on varustettava rajatiedolla.

Kattilahuoneeseen menevät väkevien hajukaasujen linjat on kyettävä sulkemaan myös kattilahuoneen ulkopuolelta ns. palosulkuventtiileillä. Vaatimus ulkopuolelta sulkemisesta aiheutuu siitä, että vaaratilanteessa ei voida edellyttää hajukaasulinjojen sulkemista kattilahuoneesta. Lisäksi halutaan estää hajukaasujen virtaus kattilahuoneeseen tilanteessa jossa esim. kattilahuoneessa oleva venttiili vuotaa.

Sulkuventtiilien on sulkeuduttava ilman ulkopuolista käyttöenergiaa. Samalla on sulkuventtiilien välissä olevan tuuletuslinjan venttiilin avauduttava.

7.6 Väkevien kaasujen siirto

Väkevien kaasujen siirtoon ei saa käyttää puhallinta. Väkevien kaasujen siirtoon suositellaan ejektoria tai nesterengaskompressorina. Höyryejektorin höyryn lämpötila saa olla maksimissaan 200 °C, (vastaa höyryn painetta noin 12 bar(yp)) kaasukomponenttien itsesyttymislämpötilan takia

Väkevien kaasujen ejektori/nesterengaskompressorina voidaan tarvittaessa sijoittaa soodakattilalaitokseen.

7.6.1 Paineenpitohöyry

Paineenpitohöyrynä käytetään matalapainehöyryä. On varmistettava että höyrylinjojen vesitykset toimivat kaikissa tilanteissa, tällä estetään veden pääsy kattilaan.

7.6.2 Jäähdytys/lämmitys

Väkevien hajukaasuja ei yleensä polton yhteydessä lämmitetä eikä jäähdytetä.



7.6.3 Pisanerotin

Höyryjektorin/nesterengaskompressorin jälkeen polttoon menevässä hajukaasulinjassa tulee olla pisanerotin. Pisanerottimessa poistetaan mahdolliset lauhteet kaasusta.

7.6.4 Liekinestin

Väkeville hajukaasuille on käytettävä liekinestintä. Liekinestimen tarkoitus on sammuttaa putkistoa pitkin pesästä kohti hajukaasujen tuloa etenevä palorintama. Liekinestimen sijoituspaikan on oltava mahdollisimman lähellä väkevien hajukaasujen poltinta.

Jos liekinestimelle on järjestetty pesumahdollisuus, ei pesulinjoja saa kytkeä pysyvästi. Liekinestimen paine-ero on mitattava ja siitä on oltava hälytys.

7.6.5 Alipainesuoja

Väkeville hajukaasuille ei saa käyttää ilmaa korvauskaasuna ottavaa alipainesuojaa. Suositellaan että putkisto ja laitteet mitoitetaan kestäämään niin että alipainesuojia ei tarvita.

7.6.6 Ylipainesuoja

Väkeville hajukaasuille ei kattilarakennuksessa saa käyttää suoraan kattilahuoneeseen aukeavaa ylipainesuojaa. Ylipainesuojan laukeamisen aiheuttama väkevien hajukaasujen virtaus on johdettava paikkaan, josta siitä ei aiheudu vaaraa ja joka on mahdollisimman haitaton. Ulkoilmaan menevissä ylipainesuojien putkissa on huomioitava vesitys jäätyksen estämiseksi. Ylipainesuojan laukeamisesta on tultava hälytys.

Tyypillisin ylipainesuoja on räjähdyslevy, josta tulee hälytys.

7.6.7 Räjähdyslevyt / murtokalvot

Jos putkiin voi syntyä niitä käytettäessä kahden sulkuventtiilin väliin putkien rakennepaineen ylittävä paine, on tämä putkiosa varustettava räjähdyslevyillä. Tällainen paine on esimerkiksi korkeapaineisen höyrypuhalluksen aiheuttama paine.

Suosittelava räjähdyslevyn materiaali on haponkestävä teräs tai grafiitti.



Räjähdyslevyt on varustettava indikaattorilla, josta seuraa hälytys räjähdyslevyn toimiessa. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lämpötilamittausta toimintaindikaattorina.

Räjähdyslevyt on sijoitettava siten, että niiden toimiessa ei normaaleilla työskentelytasoilla oleskeleville henkilöille aiheudu vaaraa

7.7 Pitoisuusmittaus

Väkeville hajukaasuille ei tarvitse käyttää jatkuvatoimista pitoisuusmittausta.

Soodakattilayhdistys suosittelee, että väkevien hajukaasujen pitoisuudet lähtöpisteessä mitataan, jos tässä syntykohteessa tehdään laitemuutoksia.

Lisäksi Soodakattilayhdistys suosittelee, että väkevien hajukaasujen rikki- sekä mahdollisesti happipitoisuus polttoon mitataan ainakin kerran vuodessa.

7.8 Vaihtoehtoinen paikka

Väkevien hajukaasujen polton edellytys soodakattilassa on, että järjestelmässä on olemassa vaihtoehtoinen paikka, minne kaasut voidaan automaattisesti ohjata tilanteessa jossa hajukaasujen poltto soodakattilassa keskeytyy. Kääntö vaihtoehtoiseen polttopaikkaan pyritään toteuttamaan niin että väkeviä hajukaasuja ei pääse ympäristöön.

7.8.1 Venttiilit

Soodakattilalaitoksessa sijaitsevien väkevien hajukaasujen venttiilien, joilla hajukaasut ohjataan vaihtoehtoiseen paikkaan, tulee avautua automaattisesti ulkopuolisen käyttöenergian loppuessa.

7.8.2 Höyrytys

Väkevien hajukaasujen varapolton putkilinja on kyettävä höyryttämään.

7.8.3 Soihdun sijoitus

Jos väkevien hajukaasujen vaihtoehtoisena polttopaikkana käytetään soihtua, on sen suositeltava sijoituspaikka soodakattilalaitoksen katto.



8 METANOLIN / TÄRPÄTIN POLTTO SOODAKATTILALLA

Nestemäistä metanolia/tärpättiä poltetaan sellutehtailla soodakattilan lisäksi meesaunissa, erillisessä hajukaasukattilassa, voimakattilassa ja soihdussa. Jollei varapolttopaikka ole käytettävissä, on metanolia/tärpättiä kyettävä varastoimaan esimerkiksi 24 h tuotantoa vastaava määrä. Metanoli ja tärpätti seoksen poltossa tärpätti johdetaan metanolipumpun imupuolelle halutussa suhteessa polttoon menevän metanolin määrään. Seospoltossa on huomioitava tärpätin suurempi lämpöarvo. Tärpätin lämpöarvo ~40 MJ/kg ja metanolin ~20 MJ/kg.

Metanoli sekä tärpättisäiliön sijoituksessa on huomioitava kemikaalilainsäädännön ja palavien nesteiden varastoinnin määräykset. Niitä ei saa sijoittaa kattilahuoneeseen.

8.1 Metanolin/Tärpätin polton logiikka

Tämä teksti pyrkii esittämään ne prosessivaateet, joita vaaditaan metanolin ja/tai tärpätin polttimen polttologiikalta normaalin kaasu/öljypolttimen lisäksi. On pyritty esittämään joukko välttämättömiä ehtoja, joita turvallisen automaation pitää täyttää. Jokaisessa soodakattilassa on varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä suureita mukana logiikassa.

Metanolia/tärpättiä voidaan käyttää väkevien hajukaasujen polttimessa tukipolttoaineena sekä starttipolttimen polttoaineena. Metanolia/tärpättiä käytettäessä starttipolttimen polttoaineena tulee huomioida tulipesän riittävä lämpötila. Metanolin/tärpätin poltto voidaan aloittaa aikaisemmin kuin hajukaasujen poltto. Tällöin ~~metanolin~~ polton lukitusehdot on määritettävä tapauskohtaisesti.

Liekin irtoamisen tai sammumisen takia polttoon menevän metanolin/tärpätin laatu (mm. vesipitoisuus) tulee varmistaa esimerkiksi tiheysmittauksella. Tärpätin normaali tiheys on noin 0.85 g/cm³ ja metanolin noin 0.80 g/cm³.

Metanolin ja tärpätin poltto soodakattilassa tulee voida valvoa ja sen aloittaminen ja lopettaminen tulee tehdä samasta valvomosta kuin muukin soodakattilan toiminnan valvonta tapahtuu.



8.1.1 Metanoli- ja tärpättipolttimen käynnistyksen edellytykset

Metanolin/tärpätin poltto voidaan aloittaa soodakattilassa kun seuraavat ehdot ovat voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 8-1. Metanoli- ja tärpättipolttimen käynnistyksen edellytykset

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Tulitieto kattilassa	Ei tule hajuhaittoja
2.	Metanoli/tärpättilanssi on paikallaan ja kytkettynä	Varmistaa metanolin/tärpätin lanssin oikea sijoitus
3.	Metanolin/tärpätin paine on yli minimipaineen (viive)	Varmistaa riittävä metanolin/tärpätin saanti polttimelle
4.	Polttimen ilman paine on yli paineen alarajan	Varmistaa riittävä polttoilman saanti polttimelle sekä riittävä hajotus
5.	Hajotusilman paine riittävän korkea	Varmistaa metanolin riittävä hajotus sekä estetään metanolin pääsy paineilma- ja höyryverkkoon
6..	Polttimen ilmapelti on sytytysasennossa	Varmistaa riittävä polttoilman määrä sytytystä varten
7.	Liekinvartija näyttää liekkiä (syttymisviive)	Varmistaa liekin palaminen
8.	On tarkistettu, että poltinaukko ei ole tukossa.	Varmistaa turvallinen metanolin/tärpätin poltto
9.	Metanolin/tärpätin tiheys alle ylärajan	Varmistetaan ettei polttoaineen lämpöarvo laske liian alas

8.1.2 Metanolin ja tärpätin polton keskeyttävät tapahtumat

Metanolin/tärpätin poltto keskeytyy, kun jokin seuraavista ehdoista on voimassa. **HUOM. Jokaisessa soodakattilassa saattaa olla käyttöönottovuoden, varustelun, prosessikytkentöjen ja toteutuksen takia myös muita kuin tässä esitettyjä ehtoja mukana logiikassa.**

Taulukko 8-2. Metanolin ja tärpätin polton keskeyttävät tapahtumat

	Ehto	Ehdon tarkoitus
1.	Tulitieto menetetään	Ei tule hajuhaittoja
2.	Metanoli/tärpättilanssi pois paikaltaan	Varmistaa metanolin/tärpätin lanssin oikea sijoitus
3.	Metanolin/tärpätin paine on alle minimipaineen (viive)	Varmistaa riittävä metanolin/tärpätin saanti polttimelle
4.	Polttimen ilman paine laskee alle paineen alarajan	Varmistaa riittävä polttoilman saanti polttimelle sekä riittävä hajotus
5.	Hajotusilman paine liian matala	Varmistaa metanolin riittävä hajotus sekä estetään metanolin pääsy paineilma- ja höyryverkkoon
6	Metanolin/tärpätin tiheys nousee yli ylärajan	Varmistetaan ettei polttoaineen lämpöarvo laske liian alas
7.	Liekinvalvonta ilmoittaa liekin sammuneen	Varmistaa liekin palaminen



8.2 Polttimen sähköistys ja automatiikka

Metanolin/tärpätin polttimen sähköistuksen ja automatiikan täytyy täyttää öljy/kaasupolton sähköistuksen ja automatiikan vaatimukset.

Metanoli/tärpättilanssi puhalletaan höyryllä tai ilmalla. Tällöin pitää olla tuli kattilassa -tieto voimassa (starttipolttimia päällä).

8.3 Venttiilit

Metanolin ja tärpätin polton venttiilit on valittava huolellisesti. Venttiilivalinnassa on huomioitava palavalle nesteelle esitetyt vaatimukset mm. palonkesto.

Venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan haponkestävää terästä EN 1.4336 (SS2343) tai vastaava. Venttiilien tiivistemateriaalin on oltava sellaista, että se ei liukenisi (metanoli ja tärpähti ovat liuottimia). Tiivistemateriaalivalintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota.

8.3.1 Pikasulkuventtiilit

Linjat on kyettävä sulkemaan myös kattilahuoneen ulkopuolelta. Vaatimus ulkopuolelta sulkemisesta aiheutuu siitä, että vaaratilanteessa ei voida edellyttää metanoli/tärpättilinjojen sulkemista kattilahuoneesta. Lisäksi halutaan estää metanolin/tärpätin virtaus kattilahuoneeseen tilanteessa, jossa esim. kattilahuoneessa oleva venttiili vuotaa.

Metanolin/tärpätin polton pikasulkuventtiilit sulkeutuvat ilman ulkopuolista käyttöenergiaa.



9 TOIMINTA ERIKOISTILANTEISSA

Tämä luku käsittelee niitä toimenpiteitä, joita on tarkoitus suorittaa niissä tilanteissa kun soodakattilaa ei ajeta vakiokuormalla.

9.1 Toiminta häiriön yhteydessä

Soodakattilayhdistys suosittelee, että kaikkien soodakattilan häiriötilanteiden yhteydessä sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen poltto soodakattilassa keskeytetään ja kaasut ohjataan varapolttopaikkaan.

9.2 Toiminta alasajon yhteydessä

Alasajon yhteydessä hajukaasujen poltto soodakattilassa suositellaan lopetettavaksi lähestyttäessä lukitusrajoja, katso taulukot 5.5, 6.3 ja 7.5. ja kaasut ohjataan varapolttopaikkaan tai ohitukseen. Väkevien hajukaasujen polton loppuessa on putkisto sulkuventtiileiltä kattilaan huuhdeltava höyryllä ja laimeiden hajukaasujen polton loppuessa on kanavisto huuhdeltava ilmalla. Jos mahdollista, laimeiden hajukaasujen keräily tulisi olla päällä seisokin aikana, koska kaasut konsentroituvat helposti säiliöihin ja putkistoihin.

9.3 Toiminta ylösajon yhteydessä

Hajukaasujen käsittelyyn liittyvä laitteisto suositellaan pidettäväksi käytössä myös seisokin aikana. Jos hajukaasujen poltto soodakattilalla on kuitenkin ollut keskeytyksissä, on ennen hajukaasujärjestelmän käyttöönottoa soodakattilalla varmistettava että:

- seisokin aikaiset kunnossapito- ja korjaustyöt ovat loppuun suoritettut eikä hajukaasulaitteilla ole enää menossa seisokkitöitä
- kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kohteena olleet laitteet ja putkistot on asianmukaisesti asennettu, tarkastettu ja puhdistettu asennusjätteistä
- kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kohteena olleisiin laitteisiin liittyvät venttiilit ovat käynnistyksen edellyttämässä kunnossa ja asennossa
- kunnossapito- ja korjaustoimenpiteiden kohteena olleet laitteet ja putkistot ovat käyttövalmiita ja tiiviitä. Tiiviys pitää kokeilla koepööritysten ja kierrätysten avulla.



Ennen ylösajoa on kaikki seisokissa käyttämättä olleet laimeiden hajukaasujen linjat tuuletettava ja väkevien hajukaasujen linjat höyrytettävä sekä tarvittaessa typetettävä. Lisäksi soodakattilayhdistys suosittelee, että hajukaasujärjestelmä on ollut käytössä riittävän pitkään (esim. yli 1 tunti) ennen syötön aloittamista, jotta seisokin aikana kanaviin ja muihin laitteisiin vuotaneet ja sinne lauhtuneet palavat hajukaasukomponentit eivät aiheuta haittaa tai vaaratilannetta.

Ennen ylösajoa on kaikki lauhdesäiliöt tarkastettava ylivuotojen ja kuivumisten havaitsemiseksi.

Ennen ylösajoa on kaikki vesilukkojen lisävedet tarkastettava ja laitettava toimimaan.

9.4 Toiminta seisokin aikana

Seisokin aikana on hajukaasujen vuoto kattilarakennukseen estettävä. Hajukaasulinjojen erottamisen tarkoitus on estää seisokin aikainen hajukaasujen vuoto ja kertyminen kattilarakennuksen sisäisiin kanaviin ja putkiin.

9.4.1 Ohjeita hajukaasujärjestelmän valmistelemiseksi seisokki- tai huoltotöitä varten

Hajukaasulinjat, kuten muutkin lipeäosaston linjat, on saatettava turvalliseen tilaan ennen kuin niiden kanssa voidaan työskennellä. Hajukaasujärjestelmän pysäyttämisen ja tarvittavien laitteiston osien erottamisen jälkeen tehtävä tehostettua tuuletusta kaikille erotetuille laitteistoille heti seisokin alussa. Laimen hajukaasujen linjat on huolellisesti tuuletettava. Väkevien hajukaasujen linjat vaativat höyrytyksen sekä tarvittaessa typetyksen. Tuuletus on aina tehtävä virtaussuuntaan ja johdettava ulkoilmaan. Laimet ja väkevät hajukaasulinjat vaativat myös LEL ja rikkipitoisten kaasujen mittauksen ennen töiden aloittamista.

Väkevien putkiston huuhtelua suositellaan tehtäväksi 24 tuntia ennen pitoisuusmittausta ja huolto/kunnossapitotöiden aloittamista väkevien hajukaasujen putkilla.

Laimen hajukaasujen polton loppuessa on kanavisto huuhdeltava ilmalla. Laimen kanaviston huuhtelua suositellaan tehtäväksi 8 tuntia ennen pitoisuusmittauksia ja huolto/kunnossapitotöiden aloittamista laimeiden hajukaasujen kanavilla.



Ennen töiden aloittamista on tehtävä riskienarviointi, jossa erityisesti kartoitetaan kaikki työalueelle tulevat putkilinjat. Kirjallinen työlupakäytäntö on suositeltavaa ennen töiden aloittamista, esim. hajukaasujärjestelmän laitteiden sisällä työskenteelyyn vaaditaan aina kirjallinen säiliötyölupa.

9.4.2 Ohjeita seisokin aikaisiin kunnossapidon töihin

Hitsaus on hajukaasusysteemiin kipinän tuottava toimenpide ja synnyttää räjähdysvaaran. Kunnossapitotyöt hajukaasujärjestelmissä ja putkistoissa edellyttävät aina erikoislupaa. Seisokin yhteydessä on seisokkitöihin osallistuville selvitettävä mitkä linjat ovat hajukaasulinjoja ja kuinka niiden korjaus- ja huoltotöissä tulee menetellä.

9.5 Toiminta häiriöiden yhteydessä

Jos kattilasuoja laukeaa, on metanolin, tärpätin, liuottimen ja sekoitussäiliön hönkien sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen poltto soodakattilassa lopetettava ja linjat tuuletettava / höyrytettävä.

Jos hätäpysäytys on käynnistetty, metanolin, tärpätin, liuottimen ja sekoitussäiliön hönkien sekä väkevien että laimeiden hajukaasujen poltto soodakattilassa ja tuonti soodakattilarakennukseen on lopetettava. Tällöin ei myöskään esimerkiksi soodakattilalaitoksen katolla olevaa varapolttinta voi käyttää.



10 ERIKOISOHJEET HAJUKAASULINJOJEN SUUNNITTELUSSA

Nämä ohjeet on laadittu hajukaasulinjoja suunnittelevien avuksi. Hajukaasulinjoissa on noudatettava suunnittelutavan ja materiaalien valinnassa tavallisten putkien/kanavien suunnitteluohjeiden lisäksi erityisohjeita, koska hajukaasulinjat sisältävät räjähdysherkkiä, liuottavia ja korrodoivia yhdisteitä.

Hajukaasulinjojen tulee kestää mekaaniset, kemialliset ja termiset vaikutukset, jotka aiheutuvat sisällöstä ja ympäristöstä (lumi, jää, kuumat ja kylmät pinnat, värinä). Putkiston liitostavan on oltava valitulle materiaalille sopivaa.

10.1 Luokittelu

Hajukaasulinjat kuuluvat kemikaalilain alaisiin putkilinjoihin. Nämä linjat luokitellaan niiden myrkyllisyyden mukaan eri luokkiin.

Hajukaasujen jako laimeisiin ja väkeviin hajukaasuihin ei riitä karakterisoimaan sisällön vaarallisuutta. Kaasuseokset pitää luokitella [Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä 26.9.2001/807](#) mukaisesti. Täten kukin hajukaasulinjasto pitää luokitella sen nimomaisen kaasun sisällön mukaan.

Jos ei muuta esitetä, niin väkevien hajukaasujen, metanolin ja tärpätin linjoja voidaan esisuunnitella luokituksen myrkyllinen ja syttyvä mukaan.

Jos ei muuta esitetä, niin laimeiden hajukaasujen linjaa voidaan esisuunnitella luokituksen haitallinen mukaan.

Luokitus pitää kuitenkin tarkistaa.

10.2 Kyltit

Hajukaasujen polttolaitteet ja putkistot/kanavat on varustettava asianmukaisin merkinnöin. Merkinnöissä on luettava ainakin tekstit ”Väkeviä hajukaasuja”, ”Tärpättiä”, ”Metanolia” ja ”Laimeita hajukaasuja” sekä tarvittaessa ”Palavaa”, ”Myrkyllistä” ja ”Ei saa hitsata tai leikata ilman valvontaa” sekä ”Laitteita ei saa avata ilman kirjallista työlupaa”. Lisäksi putket/kanavat on varustettava virtaussuuntaa kuvaavilla merkeillä.



Hajukaasujen käsittelyalueella on tupakointi ja muu avotulenteko kielletty. Alueelle on asennettava asianmukaiset kyltit.

10.3 Lauhteenpoisto

Lauhteenpoistoa suunniteltaessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota mm. yhteiden kokoon, määrään ja sijaintiin. Katso kohdat 5.7, 6.7 ja 7.4.

10.4 Kanava/putkistomateriaali

Laimeiden hajukaasujen kanaviston rakennemateriaaliksi suositellaan ruostumatonta terästä EN 1.4301 (SS2333) tai vastaavaa

Väkevillä hajukaasuilla pitää käyttää putkia $PN \geq 10$. Putkiston rakennemateriaaliksi suositellaan haponkestävää terästä EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa.

Metanolin/tärpätin polton putkiston rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa.

Hajukaasun eräät yhdisteet, kuten tärpähti ja metanoli, ovat voimakkaita liuottimia, minkä johdosta lasikuitu- ja muoviosien käyttöä ei sallita.

10.5 Kanavien eristykset

Hajukaasut sisältävät runsaasti vettä ja muita lauhtuvia aineita. Lauhteiden muodostuminen ja käsittely on pyrittävä minimoimaan. Hajukaasulinjat on eristettävä missä niiden pintalämpötila on korkea.

Vesitykset on eristettävä ja ulkona olevat vesitykset on tarvittaessa lämpösaattettava.

10.6 Putkien/kanavien kallistukset

Hajukaasut sisältävät lähes poikkeuksetta merkittäviä määriä vesihöyryä. Vaikka kanavat ovat huolellisesti eristettyjä ja/tai sähkösaattettuja, on lauhtumiseen aina varauduttava. Putkien/kanavien kallistusohjeet ja lauhteenpoistoyhteiden sijoituskohdat on selitetty tarkemmin kappaleissa: 5.7 laimeiden hajukaasujen lauhteenpoisto, 6.7 liuottajan höngän lauhteenpoisto ja 7.4. väkevien hajukaasujen lauhteenpoisto.



10.7 Venttiilit/pellit

Hajukaasujen poltossa on käytettävä käsiteltävän hajukaasun ominaisuuksien mukaan valittuja venttiilejä/peltejä.

Laimeiden hajukaasujen venttiilien/peltien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4301 (SS2333) tai vastaava.

Väkevien hajukaasujen venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa valumateriaalia.

Metanolin/tärpätin polton venttiilien rakennemateriaaliksi suositellaan EN 1.4436 (SS2343) tai vastaavaa. Venttiilien tiivistemateriaalin on oltava sellaista, että se ei liukenisi (metanoli ja tärpähti ovat liuottimia).

10.8 Laipat, yhteet

Laippojen ja yhteitten tiiviyteen kaikissa olosuhteissa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tiivisteitä valittaessa on oikeantyyppisen tiivistemateriaalin käyttöön kiinnitettävä erityistä huomiota. Hajukaasut sisältävät liuottavia ja korrodoivia yhdisteitä.

Liitosten on pysyttävä tiiviinä myös käytössä (hapettuminen, reagointi hajukaasujen sisältämien rikkiyhdisteiden kanssa, jäätyminen, vääntymät jne.)

10.9 Puhaltimet

Laimeiden hajukaasujen siirtoon suositellaan käytettäväksi puhaltimia.

10.10 Ejektorit / nesterengaskompressori

Väkevien hajukaasujen siirtoon ei saa käyttää puhallinta. Niiden siirtoon käytetään höyryejektoria tai nesterengaskompressoria. Höyryejektorin höyryn lämpötila saa olla maksimissaan 200 °C. (vastaa höyryn painetta noin 12 bar(yp)) kaasukomponenttien itsesyttymislämpötilan takia. Häiriön tai käynnistystilanteen yhteydessä väkevissä hajukaasuissa saattaa olla happea niin paljon, että kaasuseos on syttyvää.



10.11 Kanavamitoitus

Hajukaasuja poltettaessa kanavanopeudet on pidettävä kaikissa käyttöolosuhteissa yli liekin etenemisnopeuden.

Väkevien hajukaasujen linjojen käytönaikainen paine on $-10 \dots +10$ kPa. Laimeiden hajukaasujen linjojen käytönaikainen paine on $-5 \dots +10$ kPa.

Laimeiden hajukaasujen linjojen on kestättävä alipainetta 10 kPa. Väkevien hajukaasujen linjojen on kestättävä täyttä alipainetta (100 kPa).

Väkevät hajukaasut luokitellaan tyypillisesti erittäin myrkylliseksi, myrkylliseksi tai syttyväksi. Tällaisen aineen putkistot mitoitetaan käyttöpaineen mukaan; kuitenkin mitoituspaineen on oltava vähintään 4 bar (yp). Putkiston varusteen mitoituspaineeksi riittää kuitenkin 1,3 kertaa suunnittelupaine. Suunnittelupainetta valittaessa on huomioitava höyrytyshöyryn paine.

Laimeat hajukaasut luokitellaan tyypillisesti haitalliseksi. Haitalliseksi luokiteltuja hajukaasuja sisältävän putkiston suunnittelupaineen tulee olla vähintään 1,3 kertaa käyttöpain, mutta kuitenkin vähintään +10 kPa.

10.12 Liekinestimen sijoitus

Liekinestin on sijoitettava mahdollisimman lähelle itse polttolaitetta. Jos liekinestimen pohja on linjan pohjaa alempana, on erottimelle järjestettävä lauhteenpoisto.

10.13 Räjähdykslevyjien /murtokalvojen sijoitus

Räjähdykslevyt/murtokalvot on sijoitettava siten, että niiden toimiessa ei normaaleilla työskentelytasoilla oleskeleville henkilöille aiheudu vaaraa. Näiden kuntoa on valvottava automaatiojärjestelmässä aiheuttamalla hälytys.

Räjähdykslevyt on sijoitettava suoran kanavaosan jatkeeksi ilman mutkia. Varsinainen kanava jatkaa matkaa t-haaralla.

10.14 Ohituksen sijoitus

Ohituskanava on johdettava mahdollisimman korkealle paikalle. Ohitus suositellaan johdettavaksi omana putkena savupiippuun tai soodakattilalaitoksen katolle.



Ohiajopiipun tulisi sijaita mahdollisimman lähellä kattilaa, jotta ohiajopiipun ja soodakattilan välinen linja olisi mahdollisimman lyhyt. Käytännön syystä ohiajopiippu sijaitsee lähellä soodakattilaa, koska ejektori tai puhallin on usein soodakattilarakennuksessa tai sen läheisyydessä, ja piippu on aina painepuolella ejektorin tai puhaltimen jälkeen.

Ohituksen automaattisen sulkuventtiilin on avauduttava apuenergian loppuessa.

10.15 Tilaluokitukset

Tilaluokituksissa noudatetaan kemikaalilainsäädännön ohjeita ja määräyksiä.

Väkeville hajukaasuille ja tärpättipitoisille likaislauhteille joudutaan usein sovelta-
maan räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokitusta. Tärpätti on huonosti veteen liuke-
nevaa, joten vuototapauksissa se nousee pinnalle ja haihtuu ilmaan.

Tilaluokat ja niiden vaikutusalueet määritellään myös mahdollisille vuotokohteille. Tilaluokan vaikutusalueelle tulevat laitteistot rakennetaan luokituksen mukaisin komponentein. Luokka 1 tarkoittaa, että räjähtävää kaasua esiintyy satunnaisesti ja luokka 2 tarkoittaa, että kaasua ei odoteta esiintyvän kyseisellä alueella normaali-
käytön aikana.

Mikäli tila katsotaan riskialttiiksi, voidaan se varustaa automaattisella tehotuuletuk-
sella, mikäli H₂S-pitoisuus nousee liian korkeaksi.

Kattilahuone ja mahdollinen väkevien hajukaasujen ja metanolin ja tärpätin poltti-
men lähialue tulee varustaa hälyttävällä rikkipitoisuutta näyttävällä mittarilla, jos
hajukaasua sisältävä linja kulkee työskentelytilan kautta.

10.16 Valmistusluvut

Putkistolle, jonka käyttöpaine on yli 0.5 bar (yp) ja sisältönä syttyvä kaasu (tavalli-
sesti väkevät hajukaasut), edellytetään putkiston valmistajalta paineastialainsääd-
ännön tarkoittamaa valmistuslupaa ja valmistuksen valvojaa.

Jos laimeat hajukaasut sisältönsä puolesta luokitellaan haitallisiksi aineiksi, ei put-
kiston valmistajalta edellytetä paineastialainsäädännön tarkoittamaa valmistuslupaa
ja valmistuksen valvojaa.



Metanoli ja tärpätilinjojen asennustöissä pitää noudattaa asianomaisia määräyksiä (kaasuasennukset, öljyasennukset ja paineastianvalmistus). Käytännössä on syytä menetellä kuten starttipolttimien öljy- ja kaasuputkistojen asennuksessa menetel-
lään.

On suositeltavaa, että kaikissa valmistukseen ja asennukseen liittyvissä töissä käytetään vain pätevyyden osoittamaan pystyviä yrityksiä.

Polttimen ja tukipolttoaineputkiston asennuksen saa tehdä vain kyseiset asennuslu-
vat omistava liike.



11 SOIHDUT JA HAJUKAASUKATTILAT SEKÄ YHTEISTOIMINTA (UUSI)

Tyypillisesti tehtailla, joilla on soihtu, toimii soihtu pelkille väkeville hajukaasuille varapolttopaikkana. Joskus väkevien lisäksi soihtua käytetään myös tehtaan laimeille hajukaasuille varapolttopaikkana. Laimeiden hajukaasujen suuri tilavuusvirta on huomioitava jos soihtua halutaan käyttää niiden varapolttopaikkana.

Soihdut eivät ole millään tehtaalla koko ajan päällä. Joissakin tehtaissa on minimoitu soihdun käynnistyksen ja hajukaasujen käännön välistä aikaa pitämällä soihdun palamisilmapuhallin koko ajan päällä ja minimikierroksilla. Tällä toiminnolla pitkäkestoinen tuuletussekvenssiosio voidaan hypätä yli soihdun käynnistyksessä (automatisoitu) ja nopeuttaa näin soihdun polttimeen käynnistysaikaa jolla saadaan minimoitua hajukaasujen mahdollista ulosajoaikaa. Lisäksi jatkuva palamisilmalla tuuletus pitää soihdun sisuskalat kuivana.

Joillakin tehtailla väkeviä hajukaasuja voidaan myös pantata putkistossa tietyn aikaa, kun kääntö soihdulle on mahdollista. Tämä edellyttää koko väkevien keräilyn suunnittelua siten, että kaasun panttaus on koko keräily- ja siirtoputkiston ja laitteiston mahdollisena paineennousuna huomioitu.

Soihtutoimittajia on haastatelluilla tehtailla ollut pääsääntöisesti kahta eri toimijaa. Joillakin tehtailla on kokemusta historian saatossa molemmista toimijoista. Tehtaila on myös erityyppisiä soihtuja käytössä: ulkovaipan jäähdytys on hoidettu joko pakkojäähdytyksellä tai luonnonvetojäähdytyksellä. Jos soihdun poltin sijaitsee rakennuksen sisätiloissa, on kyseessä pakkojäähdytteinen, ja jos soihtu sijaitsee täysin ulkona, on kyseessä yleensä luonnonvetojäähdytteinen ulkovaippa.

Useilla tehtailla on myös väkevien ja laimeiden hajukaasujen polttoon tarkoitettu hajukaasukattila.

11.1 Soihdun käytöstä huomioitavaa

Soihtu on nykyään useimmiten varapolttopaikka.

11.2 Hajukaasukattilan käytöstä huomioitavaa

Hajukaasukattilat ovat tyypillisesti jatkuvia polttopaikkoja.



12 VAARANARVIOINNIN HUOMIOITAVAA (UUSI)

Vastuu hajukaasujärjestelmän toimivuudesta ja prosessiratkaisuista on laitteiden suunnittelijoilla. Vastuu hajukaasujärjestelmän oikeasta ja huolellisesta käytöstä on laitoksen käyttäjillä. Soodakattilayhdistys suosittelee että ennen järjestelmän hankkimista toimittaja ja loppukäyttäjä suorittavat laitoksen poikkeamatarkastelun (HAZOP) ja käyvät yhdessä läpi vaaranarvioinnin vaatimat tiedot. Soodakattilayhdistys on raporttisarjassaan julkaissut raportin 11/2001 ”Soodakattilalaitoksen vaaranarviointi”.

Vaaranarvioinnin helpottamiseksi Soodakattilayhdistys on koonnut tyypillisiä haasteita. Kullakin tehtaalla pitäisi hajukaasujärjestelmiä auditoitaessa tarkastella onko mahdollista että esitetyt vaarat toteutuvat ja kuinka hajukaasujärjestelmässä on niihin varauduttu.

12.1 Keittämö

Keittämön väkevien hajukaasujen keräilystä tulevat painepiikit ovat selkeä haju-päästöjen aiheuttaja. Painepiikkejä syntyy mm. keittimen paisunta/pasutushöyryjen lauhdutuksen riittämättömyydestä, säätöpiirin hitaudesta, lauhduttimen lauhdelastiin joutumisesta ja riittämättömän lauhteenpoiston vuoksi. Tällainen painepiikki kumuloituu muihin väkevien hajukaasujen keräilyn prosesseihin. Etenkin, jos yli-/alipainesuojaratkaisussa keittämön ja haihduttamon alueen väkevien hajukaasujen keräilyssä on hajukaasut viety yhteiseen vesilukkoastiaan, pääsee painepiikki purkautumaan näistä keittämön ja haihduttamon tyhjökaivon vesitoimisista yli-/alipainesuojista taivaalle aiheuttaen ympäristöön merkittäviäkin hajuhaittoja.

Tarkastettava:

1. Keittämön alttius paineen heilahteluille
2. Väkevien keräilyjärjestelmän toiminta painepiikillä 4 kPa

12.2 Avoin laimeiden keräily

Säiliöalueiden laimeiden hajukaasujen keräilykoneet ovat usein ns. avoimella keräilyllä toteutettuja. Tällöin laimeiden hajukaasujen keräily-yhteet on kytketty säiliöalueella säiliöiden keskeltä kattoa lähtevän pystysuuntaisen huokausputken kyljestä. Keräilyyn lähtevään linjaan on asennettu käsi- tai automaattitoiminen



venttiili, jolla on käyntiinajon yhteydessä säädetty riittävä alipaine kohteeseen niin, että säiliö ei höngi ulos ajon aikana. Tällöin vedetään tarkoituksella koko ajan hie-
man ilmaa huokauslinjan kautta keräilyyn.

Tarkastettava:

1. Mittauksin onko suljettu laimeiden keräily etenkin haihduttamoalueen vahva-
mustalipeäsäiliöiltä ja tuhkan sekoitussäiliöltä aina alle LEL:n pitoisuuksissa.
2. kestävätkö säiliöt mahdollisen hajukaasujärjestelmän aiheuttaman yli- tai ali-
paineen. ettei aiheuteta säiliöiden lommahtamista

12.3 Vesipatsaalla toteutetut yli- ja alipainesuojat sekä lauhteenpoistot

Yli-/alipainesuojien nestetäyttöiset suojaukset perustuvat hydrostaattisen paineen
muodostamaan painesuojaan yli- ja alipainetta varten, joka aikaansaadaan vesipat-
saan korkeudella. Tehtaan osastojen välillä vesipatsaiden korkeudet voivat vaihdel-
la suurestikin eri yli-/alipainesuojissa.

Uusimmissa sellutehdasratkaisuisa pyritään väkevien ja laimeiden hajukaasujen
keräilyjärjestelmät suunnittelemaan ja toteuttamaan täysin suljettuna. Näin pysty-
tään minimoimaan turhat kanavisto- ja laitekokoja kasvattavat vuotoilmat ja myös
hajuhaittoja aiheuttavat hönkimiset taivaalle. Jos sellutehtaat haluavat modifioida
olemassa olevaa avointa laimeiden hajukaasujen keräilyä suljetummaksi/suljetuksi,
tulee etenkin olemassa olevien säiliöiden yli-/alipaineenkestot tarkistaa huolella,
onko keräilyä mahdollista toteuttaa suljetummaksi, ettei aiheuteta säiliöiden lom-
mahtamista.

Tarkastettava:

1. Vesipatsaat eivät käytön aikana voi kuivua
2. Vesipatsaan poistumisesta on hälyytys
3. vesipatsaan korkeus vastaa suunniteltua yli-/alipainetta

12.4 Haihduttamon tyhjökaivo väkevissä hajukaasuissa

Haihduttamoissa on tyhjökaivoja, joissa on ns. putkivesilukko ylikaadolle. Riippu-
en ylikaadon putkivesilukon vesilukkokorkeudesta ja ajettavasta väkevien hajukaa-
sujen alipaineesta tyhjökaivon kaasuille voidaan aiheuttaa tilanne jossa vedetään



ilmaa väkevien hajukaasujen järjestelmään ja aiheutetaan mahdollisuus hajukaasuräjähdyksille.

Tarkastettava:

1. Vesilukon pinnankorkeus
2. Kaasunkeräilyn alipaine
3. Alipaineensäädön säätöparametrit.

12.5 Likaislauhteiden käsittely

Pääsääntöisesti syntyneet likaislauhteet kerätään ja käsitellään likaislauhteiden stripperillä. Osalla tehtaista stripperiltä tulevat metanolipitoiset kaasut johdetaan metanolinnesteytyslaitokselle. Joskus stripperikaasut johdetaan omana kaasulinjanaan polttoon. Eri puhtausasteella omaavia lauhteita hyödynnetään kuitulinjalla ja kaustistamalla pesuvesinä.

Tarkastettava:

1. Tärpätin ja metanolin erotuksen toiminta
2. mahdollisuus lauhumiseen syntyville kaasuille

12.6 Haihduttamon likaislahdesäiliö

Haihduttamoalueen likaislahdesäiliö kerää erilaisia palavia jakeita jotka saattavat erottua lauhteen pintaan ja rikastua säiliön yläosaan. Likaislauhteen pinnalle kevyempänä jakeena nouseva tärpätti voi päästä tietyissä säiliön ajotilanteessa sekundäärilauhteen joukkoon.

Tarkastettava:

1. Yli-/alipaineenkestot
2. että säiliön ylikaato on väkevien keräilyyn soveltuva
3. onko varustettu/tarvitaanko dekantoivaa väliseinää
4. ovatko tulevat linjat varustettu kiintoaineen poistolla / kuinka kiintoaineen poisto huomioidaan
5. onko säiliön ylikaato varustettu joko mekaanisella läpällä tai nestetäytteisellä vesilukolla

12.7 Lipeän paisunta haihduttamoalueella

Vahvamustalipeäsäiliöt ovat paineettomia, vapaasti hengittäviä säiliöitä, jotka otetaan laimeiden hajukaasujen keräilyyn. Kun puhutaan soodakattilaan polttoon menevän vahvamustalipeän varastosäiliöstä, on tärkeää tiedostaa hajukaasujen keräilyn osalta, onko tehtaalla kyse paineellisesta polttolipeäsäiliöstä vai vahvamustalipeäsäiliöstä josta polttoon menevä lipeä pumpataan.

Haihduttamoalueen lipeäsäiliöiden keräilyssä on ilmennyt vahvamustalipeäsäiliöiden (ka. 30-60%) selkeää hönkimistä taivaalle. Yhdeksi runsasta hönkimistä aiheuttavaksi syyksi on selvinnyt lipeän riittämätön paisunta haihduttamon sarjoilla. Lipeä ei pääse paisumaan syystä tai toisesta haihdutinsarjojen paisuntasäiliöillä jolloin lipeä tulee liika kuumana vahvalipeäsäiliölle. Kuuma lipeä paisuu säiliössä aiheuttaen ympäristölle tuntuja hajuhaittoja ja kohonneita TRS-pitoisuuksia haihduttamon laimeissa hajukaasuissa.

Tarkastettava:

1. Haihduttamon paisunnan toiminta
2. Säiliön syötettävän lipeän lämpötila

12.8 Polttolipeäsäiliö ja vahvamustalipeäsäiliö

Johtuen kohonneesta polttolipeän kuiva-ainepitoisuudesta (>75%DS) polttolipeäsäiliö on tehty paineelliseksi. Paineellisen polttolipeäsäiliön lämpötila on käytön aikana korkea, mm. sekoittimen käyttö tuo säiliöön seisokin aikana lisäenergiaa pitäen säiliön lämpötilan korkealla, säiliön lämpötilan laskiessa mustalipeän polton ylläpito ja sen käynnistys vaikeutuu, niin siksi säiliön polttolipeäsäiliön lämpötilaa pidetään seisokin aikanakin korkealla. Korkea lämpötila ja alkalinen läsnäolo pitää yllä keittoreaktioita jotka tuottavat väkeviä hajukaasuja. Siksi polttolipeäsäiliö on kytkettävä väkevien hajukaasujen keräilyjärjestelmään.

Paineellisen lipeäsäiliön hajukaasujen poiston sulkeminen seisokin ajaksi on johtanut paineen nousuun ja säiliön räjähtämiseen ylipaineesta. Joskus on paineellisia polttolipeäsäiliöitä kytketty tehdasseisokin aikaisen kaasausmahdollisuuden takia myös laimeiden hajukaasujen keräilyyn. Tämä kytkentämalli on aiheuttanut laimeiden hajukaasujen väkevöitymistä seisokin aikana putkistoihin ja laitteistoihin.



ja tehdään osastojen käynnistyksen yhteydessä pahimmillaan hajukaasuräjähdyksiä. Tällainen kytkentämalli on aiheuttanut lisäksi mm. lipeän kulkeutumista haihduttamon laimeiden hajukaasujen keräilyyn pesurille ja sitä myötä aiheuttanut ongelmia lauhdutuksen nestekierrossa.

Väkevät ja laimeat hajukaasut tulee aina pitää erillään niin kaasu- kuin likaislauhdepuolilla. Paineellista polttoliipeäsäiliötä ei tule koskaan kytkeä laimeiden hajukaasujen keräilyyn missään tilanteessa.

Normaali kytkentä hajukaasuille paineellisesta polttoliipeäsäiliöstä on haihduttamon 3. tai 4. yksikköön, ja tehdään ylös- ja alasajotilanteita varten kytkentä väkevien hajukaasujen keräilyyn vesilukkoastialle lauhdutuksen kautta.

Tarkastettava:

1. Paineellisen polttoliipeäsäiliön ylipainesuoja
2. Paineellisen polttoliipeäsäiliön seisokin aikainen hajukaasujen poisto
3. Paineellisen polttoliipeäsäiliön aiheuttaman ylipaineen vaikutus lauhdejärjestelmään

12.9 Soodakattilan liuottajan höngät

Liuottajan hönkäpesurit ovat hajuhaittojen lähteenä silloin, kun tehdään hönkäpesurin hönkiä ei ole kytketty soodakattilan palamisilmasysteemiin. Joillakin tehtailla liuottajan höngät ainoastaan johdetaan pölypesurin kautta taivaalle tai soodakattilan savukaasupesurin kautta taivaalle.

Nykyaikaisissa tehtaissa liuottajan, sekoitus- ja vuotosäiliön höngät käsitellään erityyppisillä lauhduttavilla pesureilla ja johdetaan soodakattilan sekundääri-ilmasysteemiin.

Tarkastettava:

1. Liuottajan hönkien ????

12.10 Laimeat hajukaasut soodakattilan eri ilmatasoille

Erällä tehtailla laimeita hajukaasuja johdetaan erillisille ilmatasoille. Tilanteissa, joissa soodakattilan kuormaa joudutaan muuttamaan, saattaa myös erillisilman ko-



konaismäärän muutokseen tulla vaateita jolloin laimeat hajukaasut joudutaan tällöin kääntämään pois taivaalle tai varapolttopaikkaan.

Tarkastettava:

1. Hajukaasujen polttomahdollisuus koko kattilan käyntialueella

12.11 Hajukaasujen esilämmittimien lämmönsiirtopintojen likaantuminen

Joillain tehtailla on ajoittain ongelmana hajukaasujen esilämmittimen (höyrypatte-ri) tukkeutuminen, jolloin laimeat hajukaasut joudutaan johtamaan ohiajolinjan kautta taivaalle. Näillä tehtailla tukkeutuville esilämmittimille tulee mm. soodakat-tilan liuottajan ja sekoitussäiliön hönkiä tehtaan laimeiden hajukaasujen lisäksi.

Hajukaasupesureiden ja lauhduttimien jälkeisellä kaasun lämpötilalla on merkitystä kosteuspitoisuuteen.

Tarkastettava:

1. Esilämmittimien ajonaikainen pesumahdollisuus
2. Kääntömahdollisuus lämmittimien pesun ajaksi

12.12 Lauhteiden pääsy soodakattilaan

Lauhteiden (hajukaasuista, käyttöhöyrystä) pääsy hajukaasujärjestelmien kautta soodakattilaan on aiheuttanut useita tulipesäräjähdyksiä.

Kappaleessa 5 on kuva 5-1, joka on esimerkki laimeiden hajukaasujen kanavistosta. Kuvan systeemissä ilmarenkaasta otetaan niin yläpuolelta kuin alapuolelta ilma-aukkoihin palamisilmaa/laimeita hajukaasuja. Jos kanavistoon pääsee lauhdetta/vettä, jonka puhallin kuljettaa eteenpäin, niin kaikki vesitys tapahtuu ilmarenkaan alaosan alimmasta kohdasta eli ilma-aukoille johtavista ostoista.

Tarkastettava:

1. Vesitykset hajukaasukanavissa
2. Vesitykset mahdollisissa höyrylinjoissa

12.13 Hajukaasupesurien lämmönsiirtimen likaantuminen

Hajukaasujen keräilyssä käytetään tyypillisesti hajukaasupesureita kerätyn kaasun tilavuusvirran alentamiseksi ja lauhdelastiongelmien välttämiseksi. Hajukaasu-



pesureiden niin pesukierron kuin jäähdytysvesikierron puolella on ollut likaantumisongelmia.

Jäähdytysveden puolella likaantumista on aiheuttanut mm. kesällä raakaveden lämpötilan nousun aikaansaama limoittuminen. Pesurin pesukierron puolella tukkeutumista ovat aiheuttaneet kiintoainepartikkelit, joiden kulkeutumisreittejä ei ole saatu selvitettyä.

Tarkastettava:

1. Hajukaasupesurien pesumahdollisuus käytön aikana
2. Mahdollisuudet likaavien aineiden joutumiseen keräilyyn

12.14 Kaustistamon laimeat hajukaasut

On vielä tehtaita, joissa kaustistamon laimeiden hajukaasujen keräilylähteet eivät ole 100% keräilyssä. Esim. kaustistamon alueilla voi olla kohteita joita ei ole otettu keräilyyn tai alueen hajukaasut on keräilty osittain mutta johdettu esim. lämmöntalteenoton jälkeen vain taivaalle.

Nykyaikaisilla moderneilla tehtailla kaustistamon laimeiden hajukaasujen keräily on täysin suljettu ja hajukaasut johdetaan joko muiden tehtaan laimeiden hajukaasujen kanssa soodakattilalle palamisilmaksi tai meesauunille sekundääri-ilman joukkoon.

Tarkastettava:

1. Kaustistamon keräämättömien kaasujen hajupitoisuus

12.15 Mäntyöljykeittämön höngät

Havupuutehtailla on mäntyöljylaitos. Mäntyöljylaitokselle voidaan rakentaa H₂S pesuri tai mäntyöljykeittämön rikkivetytypitoiset kaasut johdetaan laimeiden hajukaasujen pesurille esim. haihduttamon laimeiden pesurille, joka on varustettu pH:n säädöllä H₂S:n pesua varten.

On syytä huomioida, että mäntyöljykeittämön suovan rikkihappopalstoituksessa syntyvä rikkivety (H₂S) ei ole räjähtävällä pitoisuudella vaan ainoastaan tappavalla tuhansia ppm:ia sisältävällä pitoisuudella, mm. tästä syystä mäntyöljykeittämön



höngät on hyvä alkalipestä ennen kytkentää muiden laimeiden hajukaasujen joukkoon.

Myös putkiston materiaalivalinta mäntyöljykeittämön hönkälinjoiden osalta on syytä tarkistaa, ettei kaasuputkisto pääse syöpymään ja aiheuttamaan etenkin sisätiloihin vuotovaaroja ennen kaasujen alkalipesua.

Tarkastettava:

1. Linjojen materiaalit
2. Kaasujen alkalipesun tarve
3. Kaasujen turvallinen johtaminen mm. mahdolliset seisokit huomioiden

12.16 Hakesiilon höngät

Perinteisesti hakesiilon höngät johdettiin täysin käsittelemättömänä taivaalle ilman mitään esikäsittelyä (pölyn/hakkeen poistoa) ja mahdollista tärpättilauhdutinta (alentaa tärpättisaantoa). Prosessiratkaisuissa jossa hakesiilolla hyödynnetään hakkeen pasutuksessa keittimen mustalipeän paisunnan TRS-pitoisia höyryjä aiheuttavat hakesiilon ulos vapaasti johdettavat höngät hajuhaittoja ympäristöön. tyypillisesti hakesiilon höngät kerätään laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään.

Uusimmissa tehtaissa käytetään keittimeltä poistuvan mustalipeän lämpöenergiaa hakkeen pasutuksessa käytettävän puhtaan tuorehöyryn valmistamiseen. Tämä on toteutettu erityyppisillä (höyry-neste, neste-neste) höyryn kiehuttimillä eli ns. reboilereilla sen sijaan, että johdettaisiin paisunnan TRS-jakeita sisältäviä höyryjä suoraan hakesiilon.

Hakesiilolle hakkeen pasutusta varten johdettavat paisunnan höyryt ovat olleet pääsallisina tekijöinä useissa laimeissa hajukaasuissa tapahtuneisiin hajukaasuräjähdyksiin niin Suomessa kuin maailmalla. Laimeiden hajukaasujen pitoisuudet ovat päässeet nousemaan yli alemman räjähdysrajan (LEL) mm. hakesiilon häiriötilanteissa.

Tarkastettava:

1. Miten hakesiilo toimii kun hakkeen korkeus on matala
2. Voiko hakesiilon hönkien TRS pitoisuus ylittää LEL-rajaa alemman varmuusrajan



12.17 Tärpätti

Ainakin muutamalla tehtaalla on havaittu tärpättijaetta kuitulinjan massan pesussa, ja ainakin yhdellä tehtaalla oli tullut vastaan tärpättijakeen pääsy sekundäärilauhteiden joukkoon ja sitä kautta muualle tehtaalle sekundäärilauhdetta hyödyntäviin prosesseihin.

Tärpätin kulkeutumista likaislauhteiden käsittelyn kautta puhtaampien lauhteiden joukkoon tulisi tarkastella niin säiliökuvien (soveltuuko säiliö havupuutehtaille, onko väliseinää tärpätin dekantoimiselle) kuin putkistokytkentöjen osalta (mahdollisia kääntöventtiileitä).

Tarkastettava:

1. Mahdollinen tärpätin kulkeutuminen lauhteissa

12.18 Laimeiden hajukaasujen lauhteet

Pääsääntöisesti laimeiden hajukaasujen lauhteet johdetaan keräilyyn. Jos laimeiden hajukaasupesurin lauhteet johdetaan kanaaliin, niin aiheutetaan hajuhaittaa.

Nykyaikaisissa tehtaissa kunkin osaston (kuitulinja, haihduttamo, kaustistamo, soodakattilan liuottaja) lauhdutusjärjestelmien lauhteet johdetaan kullakin osastolla takaisin prosessikiertoon. Kuitulinjan mahdolliset kuitupitoiset lauhteet palaavat takaisin kuitulinjan prosessiin ja kaustistamon meesapitoiset lauhteet takaisin kaustistamon prosessiin. Haihduttamon laimeiden hajukaasujen pesurin lauhteet johdetaan laimeiden hajukaasujen pesureilta haihduttamon likaislahdesäiliöön. Lauhteiden erilliskäsittely vähentää stripperille tulevaa laimeiden hajukaasujen likaislahdemäärää ja vähentää myös likaantumista, joka on aiemmin johtunut esim. kulkeutuneista kuiduista tai meesasta.

Tarkastettava:

1. Lauhdejärjestelmien toiminta kun mukaan tulee kiinteää ainetta

12.19 Haihduttamon käyntiinajo

Kun haihduttamoa ajetaan käyntiin, on lipeän kuiva-ainevahvuuksilla merkitystä etenkin havupuutehtailla haihduttamon peräpään kuohaamiselle ja sitä myötä väke-



vien hajukaasujen keräilylle haihduttamon tyhjöpumpun kautta. Havupuuajossa suopaa on päässyt jollain tehtaalla väkevien hajukaasujen keräilyyn ja polttoon asti.

Lisäksi käyntiinajon yhteydessä on tullut tehtailla vastaan suuret keräilyyn tulevat väkevien hajukaasujen kaasumäärät. Tehtailla on pohdittu ovatko käyntiinajotilanteiden suuret väkevien hajukaasujen kaasumäärät (etenkin haihduttamon tyhjöjärjestelmästä) pitoisuuksiltaan väkevien hajukaasujen määritelmän eli yli ylemmän räjähdysrajan alueella vai räjähtävällä alueella.

Tarkastettava:

1. Väkevien hajukaasujen polton kapasiteetin riittävyys erityisesti haihduttamon käynnistyksen yhteydessä
2. Väkevien hajukaasun linjojen toiminta jos niihin pääsee kuohaa

12.20 Soodakattilan väkevien polttimen ongelmat

Yhdellä tehtaalla on ollut soodakattilan väkevien hajukaasujen polttimella tukkeutumisongelmia liekinestinelementin otsapinnalla ja itse väkevien hajukaasujen polttimessa olevien hajukaasuaukkojen osalta tietyllä osaa aukkoja. Tukoksista on löytynyt jonkinlaista kiintoainetta, jota ei ole vielä tarkemmin analysoitu. Tehtaalla on epäilyksenä haihduttamon tyhjökaivon kautta tuleva suopa tai keittämöltä asti tuleva hienonhieno kiintoaines.

Väkevien polttimen stabiilisuus on ollut ongelma usealla tehtaalla. Väkevien poltin asennetaan tyypillisesti lipeäruiskujen alapuolelle jossa se joutuu toimimaan yhdessä sekundääri-ilmajärjestelmän kanssa ja on alttiina lipeäpisaroille. Eri ajomalleilla saattaa tulipesän alaosassa olla polttimen kuorman vaihdellessa epästabiilisuutta jolloin poltin tukkeutuu.

Tarkastettava:

1. Mahdollisten esilämmittimien tukkeutumisen hallinta
2. Mahdollisten liekinestimien tukkeutumisen hallinta
3. Mahdollinen väkevien polttimen ja ilmajärjestelmän epästabiilisuus



12.21 Varapolttopaikkojen häiriöt

Useammalla tehtaalla on etenkin väkevien hajukaasujen poltossa soodakattilan väkevien hajukaasujen polttimen lisäksi varapolttopaikkana yksi tai useampi erityyppinen varapoltin, esim. soihtu soodakattilan katolla ja erillispolttokattila. Joillakin tehtailla väkevien hajukaasujen ja laimeiden hajukaasujen varapolttopaikkana toimii meesauuni tai biokattila. Laimneiden hajukaasujen varapolttopaikkana toimii erillispolttokattilat. Kaikkien polttopaikkojen ollessa häiriössä voidaan hajukaasut johtaa piippuun.

Eräällä tehtaalla soihdulle polttoon käynnön yhteydessä olleet kaasunvirtaamattomuusongelmat johtuivat käytettävän matalapainehöyrylinjan lauhteenpoiston riittämättömyydestä ja höyrynlauhteenpoistimen toimimattomuudesta. Kaasulinjaan johdettu höyrynlauhde esti polttimelle menevän kaasuvirtauksen. Lisäksi polttimen vesityslinjan koko oli kyseiselle lauhdemäärän poistamiselle liian pieni (DN25).

Lisäksi itse soihtupolttimelta lähtevien vesityksien keräilyille ja lauhteiden johtamiselle erilliseen pumppausastiaan on erilaisia putkivetomalleja. Tärkeää olisi tiedostaa, missä prosessin ajopaineissa polttimelle tulevat eri väkevien hajukaasujen (jatkuvatoiminen prosessi, eräkeitto, erillinen väkevöitin, likaislauhteiden strippauksen kaasut SOG) linjat ovat ja onko niiden vesitykset kytketty samaan lauhteenkeräilytukkiin, onko tukissa aina riittävä nestepinta erottamaan eri ajopaineissa olevat kaasut ja palamisilmat (ettei paineta väkeviä esim. alhaisempipaineiseen palamisilmalinjastoon tai päinvastoin palamisilmaa laimentamaan väkevien tulolinjaa, jolloin kaasun palaminen voi tapahtua jo siirtoputkessa).

Tarkastettava:

1. Hajukaasujärjestelmien (DNCG, CNCG) lauhteenpoistolinjojen riittävä koko ($\geq$ DN50), koskien niin putkistoa kuin laitteitakin (polttimet, puhaltimet, jne.).
2. Soihdun pitäminen lämpimänä varallaolon aikana
3. Lauhteen mahdollinen kertyminen polttimeen varallaolon aikana
4. Höyrylinjojen lauhteen poistot
5. Hajukaasujen käynnön automaatio



11.13 SUUNNITTELUUN JA KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT MUUT OHJEET JA MÄÄRÄYKSET

11.13.1 Suomen lainsäädäntö

Tärkeimmät hajukaasujen käsittelyä koskevat kotimaiset lait ja asetukset ovat:

- Kemikaalilaki ([744/1989](#))
- Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ([59/1999](#))
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus CLP-asetuksen liitteessä VI tarkoitetuista kemikaaleista ([5/2010](#))

11.1.13.1.1 Poikkeamatarkastelu (HAZOP)

Kemikaalilaki määrittelee vaaralliset kaasut ja vaatii hajukaasun poltolle poikkeamatarkastelun (HAZOP-tarkastelu).

11.1.213.1.2 Putkistojen luokittelu

Kemikaalilaki ja asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä antavat teknisiä laitevaatimuksia ja määräävät käytännössä esimerkiksi, miten putket luokitellaan, miten määräaikaistarkastuksia suoritetaan ja että väkevät hajukaasut on siirrettävä ejektorilla eikä esimerkiksi puhaltimella.

Tällä hetkellä on voimassa kaksi rinnakkaista lainsäädäntöä, jotka koskevat kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista. Voimassa ovat edelleen ns. ainedirektiivin ([67/548/ETY](#)) ja seosdirektiivin ([1999/45/ETY](#)) mukaiset luokitus- ja merkintäsäädökset, jotka on toimeenpantu kemikaalilaissa ([744/1989](#)), kemikaaliasetuksessa ([675/1993](#)) sekä luokitusperusteasetuksessa ([STMa 807/2001](#)) (ns. väistytvä järjestelmä).

EU:n uusi aineiden ja seosten luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskeva ns. [CLP-asetus \(EY\) N:o 1272/2008](#) astui voimaan 20.1.2009. CLP-asetus on sellaisenaan voimassa kaikissa EU:n jäsenmaissa. Väistytvä lainsäädäntö on voimassa tiettyjen siirtymäaikojen puitteissa.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä [26.9.2001/807](#) antaa kaavan syttyvyyden määrittämiselle, pohjana on käytetty standardia [Determination of fire potential and oxidizing ability for the](#)



[selection of cylinder valve outlets ISO 10156](#) ja sen taulukoita 1 ja 2. Laimeat hajukaasut luokitellaan haitallisiksi kaasuiksi, muttei räjähtäviksi kaasuiksi.

Väkevien hajukaasujen erillispoltto rakennetaan käytännössä yleensä maakaasun vaatimusten mukaan. Maakaasulle on olemassa ohjeistus joka asettaa mm. venttiileille ja huuhtelulle tarkat vaatimukset.

11.1.313.1.3 Räjähdyksivaarallisten tilojen luokittelu (ATEX)

Räjähdyksivaarallisia tiloja koskee [EU ATEX-direktiivi 94/9/EY](#). Lisäksi räjähdysvaarallisten tilojen luokittelusta annetaan ohjeet [standardissa EN 60079-10: 1956](#), joka on käännetty suomeksi ja julkaistu SFS-käsikirjana numero 59 (4. painos 1998). Väkeville hajukaasuille sovelletaan räjähdysvaarallisten tilojen tilaluokitusta. Tilaluokat ja niiden vaikutusalueet määritellään mahdollisille vuotokohteille. Tilaluokan vaikutusalueelle tulevat laitteistot rakennetaan luokituksen mukaisin komponentein. Luokka 1 tarkoittaa, että räjähtävää kaasua esiintyy satunnaisesti ja luokka 2 tarkoittaa että kaasua ei odoteta esiintyvän kyseisellä alueella normaali-käytön aikana.

11.213.2 Eurooppalaiset standardit

Eurooppalainen paineastioita käsittelevä standardi ([EN 12952-8, Annex A.3.3.](#)) asettaa hajukaasujen poltolle soodakattilassa tiettyjä rajoituksia. Väkeviä hajukaasuja saa polttaa soodakattilassa, mikäli höyrynykehitys on vähintään 50 % kattilan nimelliskuormasta mustalipeällä.

Lisäksi standardi vaatii, että varotoimenpiteisiin ryhdytään, jottei vesiliuoksia joutuisi tulipesään kaasujen tai polttoaineen mukana sekä ettei väkeviä hajukaasuja joutuisi kattilarakennuksen ilmaan. Laimeita hajukaasuja ei tämä edellä mainittu koske.

Kaikkiin hajukaasulinjoihin on asennettava sulkuventtiili.

11.313.3 Olemassa olevat ohjeet

Ruotsin Sodahuskommittén ja amerikkalainen BLRBAC ovat tehneet ohjeita hajukaasujen käsittelystä ja poltosta. BLRBAC:n ohjeet ovat hyvin seikkaperäisiä ja antavat tarkkoja teknisiä kuvauksia ratkaisuihin.



11.3.113.3.1 Sodahuskommittén

Ruotsin sisarorganisaatiomme Sodahuskommittén teki joulukuussa 2008 periaatepäätöksen, että suosituksia julkaistaan vastedes vain ruotsiksi ja ne on ainoastaan tarkoitettu Sodahuskommittén jäsenten käyttöön. Komitean teettämän selvityksen mukaan komitean vastuu suosituksista voidaan ulottaa pitkällekin.

11.3.213.3.2 BLRBAC

BLRBAC on tehnyt ohjeen vaaratilanteiden minimoimiseksi nimeltä ”[Recommended good practice for the thermal oxidation of waste streams in a black liquor recovery boiler](#)”, päivitetty helmikuu 2012 (Vapaasti suomennettu: Suositeltava hyvä tapa jätevirtojen polttamiseksi soodakattilassa)

Ohjeessa luetellaan palavat hajukaasut ja määritellään niiden räjähdysrajat. Ohje kertoo, mistä hajukaasuja kerätään, miten niitä voidaan hävittää ja antaa ohjeet mm. metanolin ja tärpätin polttoon muun muassa hakesiilon hönkien käsittelystä on oma kappale. Ohje antaa ehdot esim. millä mustalipeän kuiva-ainepitoisuudella hajukaasuja voidaan turvallisesti polttaa.

Ongelmatilanteissa, ja erityisesti kun käytännössä kun suoritetaan pikapysäytys eli Emergency Shutdown Procedure (ESP), on hajukaasut välittömästi johdettava soodakattilasta muualle muun polttoaineen tavoin.

Ohje varoittaa myös hajukaasujen myrkyllisyydestä ja niiden aiheuttamasta korroosiovaarasta, vaikkei hajukaasujen poltosta olekaan todistetusti havaittu korroosiota paineastialle.

Ohje on hyvin kattava, se sisältää myös logiikkaehtoja ja esimerkkejä poltto- ja keräilyjärjestelmien PI- ja lukituskaavioista.



12.14 POIKKEAMAT MUIDEN OHJEIDEN KÄYTÄNTÖÖN

Suomen Soodakattilayhdistys on pyrkinyt pääosin noudattamaan eräissä muissa maissa laadittuja suosituksia ja ohjeita hajukaasujen poltosta soodakattilalla. Aina-kin seuraavat asiat poikkeavat muissa suosituksissa esitetyistä.

12.14.1 Poikkeamat BLRBACn ohjeisiin

Soodakattilayhdistyksen ohjeet poikkeavat BLRBACn (<http://www.blrbac.org/>) ohjeista muun muassa seuraavissa kohdin:

- Ohjeissa on oma kappale hakesiilon hönkien keräilyyn ja käsittelyyn. Alemman räjähdysrajan (LEL)- analysaattorin käyttöä BLRBAC suosittelee, jos siirtoon käytetään puhallinta ja hakesiiloon tuodaan keittämön paisuntahöyryä.
- Suositus laimeiden hajukaasujen ja hönkien suhteelliseksi kosteudeksi lauhduttimen jälkeen 50 % joka vastaa lämpötilaa < 43,3 °C (110 °F). Lämmitys vähintään 22.2 °C (40 °F) yli lauhdutuslämpötilan.
- Laimien hajukaasujen poltto voidaan aloittaa kun kattilan höyrykuorma on yli 30% kattilan MCR:stä.
- Väkevien hajukaasujen poltto voidaan aloittaa kun kattilan höyrykuorma on yli 50% kattilan MCR:stä.
- Metanolin/tärpätin poltto mustalipeään sekoitettuna



13.15 ESIMERKKEJÄ VAURIOISTA

Seuraavassa on kuvattu esimerkein eräitä Soodakattilayhdistyksen tietoon tulleita vaurioita ja vaaratilanteita. Vauriot on kuvattu, jotta suosituksen lukijalle tulisi konkreettinen kuva mahdollisista vaaratilanteista, jotka liittyvät hajukaasujen käsittelyyn tai polttoon.

Vastaavanlaisia tapahtumia on esiintynyt muillakin tehtailla.

13.15.1 Esimerkki 1:

Syyt

Sellutehtaan käynnistyksen yhteydessä hakkeen syöttö keittimelle pysähtyi mustalipeäsuodattimien ongelmien takia. Tämän jälkeen hakesiilon pinta nostettiin tasolle 95 % ja hake pasutettiin tuorehöyryllä, jolloin hakesiilon pintalämpötila näytti 90 °C.

Puoli tuntia pysäytyksen jälkeen hakkeen syöttö keittimelle käynnistettiin uudelleen, jolloin myös pasutushöyryä lisättiin hakesiiloon, koska väkevien hajukaasujen systeemi ei kyennyt pitämään riittävää alipainetta keräilylinjassa hajukaasujen polttokattilalle. Valmiiksi pasutettu hakepatja ei pystynyt lauhduttamaan ja absorboimaan pasutushöyryä, jolloin se pääsi hakepatjan läpi nostaen nopeasti hakesiilon yläosan lämpötilaa ja edelleen laimeiden hajukaasujen keräilysystemiin.

Lämpötilalukitus hakesiilon hönkien lauhduttimien jälkeen saavutti lukitusrajan >55 °C, jolloin kaasut ohjautuivat ohitusputkeen. Ennen tätä turvalukitusta kaasuja pääsi n. 40 sekunnin ajan laimeiden hajukaasujen keräilyyn aiheuttaen räjähdys n. 1.5 minuuttia pasutushöyryventtiilin avaamisesta. Räjähdys tapahtui lähellä hajukaasukattilan poltinta keräilyputkistossa.

Jatkotoimenpiteet räjähdys jälkeen

Ennen tehtaan uudelleenkäynnistämistä tehtiin seuraavat toimenpiteet:

- Pasutushöyryventtiilin avautumisnopeutta hidastettiin (5%/min välillä 0-10%), jotta pasutushöyryä pääsee käynnistyksen yhteydessä vain hallittava määrä.

- Hakekuljetin siiloon täytyy olla käynnissä vähintään viisi minuuttia ennen kuin pasutushöyryventtiili hakesiilolle voidaan avata. Näin varmistetaan, että tuotetta haketta on hakesiilossa lauhduttamassa pasutushöyryä.
- Hakesiilon lämpötilan noustessa yli 90 °C avautuu lauhduttimen jäähdytys-vesiventtiili heti 100 % auki.

13.215.2 Esimerkki 2: UPM-Kymmene, Pietarsaari, 28.12.2008

Tehtaan betonipiipussa tapahtui räjähdys, jossa vaurioitui laimeitten kaasujen teräspiippu koko pituudeltaan, osa meesauunin savukaasupiipusta ja pala väkevien hajukaasujen putkea. Räjähdys piipussa aiheutui usean tekijän yhteisvaikutuksesta. Räjähdystä edelsivät ajotilanteet, jotka lisäsivät ohituspiipun kaasuseoksen pitoisuuden syttymis- ja räjähdyspitoisuuksiin. Samanaikaisesti vallitsevat sääolosuhteet työnsivät meesauunin kuumat savukaasut ulostulevien laimeiden hajukaasujen sekaan aiheuttaen syttymisen.

Syyt:

- Haihduttamon laimeat hajukaasut olivat konsentroituneet normaaliajon ja seisokin aikana räjähdyspitoisuuteen
- Polttoliipeäsäiliön kaasut johdettiin laimeiden hajukaasujen keräilyyn. Polttoliipeäsäiliöstä purkautui voimakkaasti kaasuja 22 tuntia ennen räjähdystä.
- Kuitulinjojen hajukaasupuhallin oli pysäytetty, jolloin laimentavaa vaikutusta kuitulinjojen hajukaasuista ei saatu.
- Meesauunin kuumat (n. 260 °C) savukaasut sekoittuivat vallitsevien sääolosuhteiden johdosta suoraan ulospurkautuneisiin laimeisiin hajukaasuihin, jotka olivat yli alemman räjähdyspisteen. Laimeiden hajukaasujen ohituspiippu ja meesauunin savukaasupiippu olivat samalla tasolla.

Jatkotoimenpiteet räjähdysten jälkeen

- Kuitulinjojen laimeiden hajukaasujen puhallin tulisi pitää käynnissä seisokin aikana ja samalla johtaa laimennusilmaa puhaltimen imupuolelle, jotta varmistetaan, että pitoisuus on tarpeeksi alhainen
- Polttoliipeäsäiliön kaasut tulee johtaa väkevien hajukaasujen keräilyyn tai haihdutinsarjalle, ei laimeiden hajukaasujen keräilyyn



- Polttoliipeäsäiliön vahvaliipeän lämpötila ja kuiva-aine pudotetaan 117 °C:een ja 67-69 % kuiva-aineeseen seisokkia varten kaasunmuodostumisreaktioiden estämiseksi
- Hajukaasupesurin kierrätyspumppua ei tule pysäyttää seisokin aikana
- Laimeiden hajukaasujen seisokkiaikaiselle ajolle tulee antaa selvä ohjeistus
- Haihduttamon hajukaasupesurin pesukiertonestettä ei tulisi pumpata vuotoliipeäsäiliöön, josta kaasut imetään takaisin laimeiden hajukaasujen keräilyyn

Muut suositukset:

- Kartoitetaan metanolin, TRS- yhdisteiden ja tärpätin pitoisuuksia laimeissa hajukaasuissa, lipeissä ja lauhdeissa.
- Lisätään laimeiden hajukaasujen keräilyyn pitoisuusmittaus tai virtausmittaus valvontaa varten.
- Laaditaan simulointiohjelma, jolla voidaan luotettavasti määrittää laimennusilmojen määrä eri ajotilanteissa.
- Haihduttamon suljetun laimeiden hajukaasujen keräilyn puhaltimen kapasiteettia tulisi lisätä ja imupuolet varustaa laimennusilman sisäännotolla.
- Laimeiden hajukaasujen ohituspiipun alaosan suunnittelu pitää miettiä uudelleen.
- Puhaltimen käyttö tulisi lopettaa ja ohjata ne imupuolella olevaan omaan piippuun, jos laimeat hajukaasut konsentroituvat räjähdysalueelle.
- Laimeille hajukaasuille tulisi tehdä poikkeama- tarkastelu (HAZOP) kaasujen väkevöitymiselle normaaliajossa ja seisokkitilanteessa.

13.315.3 Esimerkki 3: Oy Metsä-Botnia Ab, Rauma, 2.1.2007

Massatehtaan ja soodakattilan ylösajon yhteydessä hajukaasukanavassa syttyi tulipalo, joka vaurioitti soodakattilan etuseinää ja kanavaa n. 2 m. Palo sai mahdollisesti alkunsa kattilan takatulesta, jolloin hajukaasukanavan pohjalle kertynyt ”sakka” syttyi palamaan. Hajukaasukanavan pohjalle muodostunut ”sakka” on yleensä peräisin mäntyöljylaitokselta.

Soodakattilayhdistyksen kestoisuustyöryhmä antoi seuraavat aiheita, joihin olisi kiinnitettävä huomiota onnettomuuden jälkeen:



- Pesurien toiminta on saatava kuntoon, jotta taataan hyvä pesutulos. Nesteenjako, pisanerotus ja pesurin jälkeinen lämpötila on tarkastettava jokaisessa pesurissa.
- Laimeiden hajukaasujärjestelmän laimennuksen hallinta tarkastettava
- Ennen esilämmitintä oltava pisanerotus
- Polttosuosituksen mukaisesti hajukaasujen koostumus mitattava säännöllisesti
- Kanavat on tarkastettava ja puhdistettava säännöllisesti
- Poikkeamatarkastelu (HAZOP) tulisi tehdä aina järjestelmämuutosten yhteydessä yhdessä hajukaasujärjestelmän toimittajan kanssa.

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

- Laimeiden hajukaasujen puhallin uusittiin
- Ilman esilämmitystä tehostettiin lisäämällä tuoreilmalle oma lämmönvaihdin, jolloin laimeiden hajukaasun lämpötilaa saatiin nostettua
- Keräilyjärjestelmän kapasiteettia kasvatettiin
- Polttoon liittyvät lukitukset tarkistettiin
- Liuottajan höngät otettiin mukaan polttoon laimeiden hajukaasujen mukana.

13.415.4 Esimerkki 4:

Syyt

Brasilialaisella on käynyt kaksi räjähdystä käynnistyksen jälkeen. Ensimmäinen räjähdys liittyy hakesiiloon ja toinen paineelliseen polttolipeäsäiliöön.

Pasutushöyryä ajettiin hakesiiloon tehtaan seisokin aikana, jolloin väkevä hajukaasu pääsi laimeiden hajukaasujen keräilyyn hakepatjan läpi tai metanoli oli väkevöitynyt patjaan ja vapautui. Pasutushöyrylle ei ollut lauhdutusta, vaan se oli johdettava hakesiiloon. Räjähdys tapahtui soodakattilalla laimean hajukaasun kanavistossa. Soodakattilan sekundääri- ilmamäärää oli manuaalisesti pienennetty.

Toinen räjähdys liittyi paineelliseen polttolipeäsäiliöön, joka räjähti, kun sen kiertospumppu jätettiin käyntiin seisokissa ja hajukaasuyhdisteitä alkoi muodostua säiliön sisällä voimakkaasti. Säiliössä ei ollut varoventtiiliä eikä sitä ollut liitetty väkevien hajukaasujen keräilyyn.



Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen

Hakesiilon väkevien kaasujen räjähdys laimeassa keräilyjärjestelmässä johti siihen, että tehdas investoi pasutushöyryn kiehuttimeen (reboileriin), jolloin hake pasutetaan puhtaalla höyryllä. Tämä keittämön parannus poisti ongelmat liittyen laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmään. Kiehuttimen höyryn käyttö hakesiilossa pitää laimeiden hajukaasujen konsentraation aina alhaisella tasolla. Myös varapolttosysteemin hankintaa harkittiin hajuongelmien takia, mutta kiehutin ratkaisi pahimman häiriöpäästölähteen ongelman, joten siitä luovuttiin.

Polttoliipeäsäiliöt liitettiin väkevien hajukaasujen keräilysystemiin ja säiliöön asennettiin varoventtiili.

13.515.5 Esimerkki 5: Sunila Oy, Kotka, 19.10.2004

Syyt

Sellutehtaan ylösajossa pääsi hakesiilosta räjähdysrajan sisäpuolella olevia pitouksia tärpätti- ja hajukaasuyhdisteitä, jotka syttyivät räjähdysmäisesti soihdussa. Palorintama eteni takaperin hajukaasupuhaltimelle, jossa tapahtui toinen räjähdys.

Räjähdys aiheutui usean tekijän yhteisvaikutuksesta hakesiilossa, jossa laimeiden hajukaasujen turvajärjestelmällä ei pystytty hallitsemaan poikkeuksellisia olosuhteita. Turvajärjestelmä toimii hyvin normaaleissa käyttötilanteissa, mutta poikkeus-tilanteissa, joiden vaikutuksia ei täysin tunneta, ne eivät ole riittäviä. Muiden keräilyn piirissä olevien säiliöiden osalta laimeiden hajukaasujen muutokset ovat hitaampia, joten näihin muutoksiin tehtaan turvajärjestelmät ovat olleet riittäviä.

Linkki [TUKESin onnettomuustutkintaraporttiin](#).

Räjähdysen syntyyn vaikuttaneet yksittäiset seikat ovat seuraavat:

- Hakkeen pitkä pasutus hakesiilossa (mp-kiikin jumiutuminen)
- Tavanomaista korkeammat TRS- ja VOC-pitoisuudet hakesiilossa ja sen kaasuissa käynnistyksen yhteydessä
- Hakesiilolta tulevan hönkälän lämpötilamittauksen viive
- LEL-analysaattorin viive



- Hajukaasupesuri lauhduttaa pääasiassa vesihöyryä, jolloin hajukaasujen osuus ilmamäärässä kasvaa. LEL-analysaattori oli sijoitettu ennen lauhdutusta, jolloin mitattava pitoisuus on pienempi.
- Laimeiden hajukaasujen keräilypuhaltimen imupuolella olevan laimennusventtiilin toimimattomuus
- Keittämön laimeiden hajukaasujen keräilyventtiilin automaattinen uudelleen-avautuminen LEL- analysaattorin mittauksen perusteella
- Kuristuslevy keittämön laimeiden hajukaasujen hönkäpiipussa
- Soihdun sammuminen

Laimennusilman määrä on ollut riittävä normaaliajotilanteissa ja ne perustuvat vuosina 1998 ja 2000 tehtyihin mittauksiin. Mittaukset eivät kuitenkaan kata poikkeustilanteita.

Laimennusilmaa lisätään kolmessa kohtaa laimeiden hajukaasujen keräily- ja käsittelyjärjestelmässä:

- Hakesiilon ja muiden säiliöiden hönkäputken kautta hajukaasupuhaltimen aiheuttama alipaine imee laimennusilmaa eri keräilykohteista. Järjestelmä ei kuitenkaan toimi, jos systeemi paineistuu, jolloin kaasu puskee sieltä ulos. Hakesiilon tapauksessa laimennusilmalyhteeseen oli lisätty kuristuslevy.
- LEL- hajukaasuanalysaattori avaa laimennusventtiiliä hajukaasupuhaltimen imupuolella, jos pitoisuus nousee yli 30 % alemmasta LEL-rajasta
- Laimeat hajukaasut johdetaan soihtuun, jossa tarvittava lisäilma laimentaa hajukaasuja

Jatkotoimenpiteet räjähdysen jälkeen:

- Hakesiilon ajotapaa ja sen valvontaa kehitetään
- Muutosten yhteydessä laimeiden hajukaasujen käsittely ja siihen liittyvät turvajärjestelmät tarkastellaan kokonaisuutena
- Laimennusilman riittävyys poikkeustilanteissa varmistetaan
- Suojajärjestelmä rakennetaan turva-automaation periaatteiden mukaisella tavalla



- Laimeiden hajukaasujen pitoisuuksien seuranta parannetaan ja lukitusrajat tarkistetaan (analysaattorin kehittäminen ja sijoitus sekä mahdollinen kahdentaminen)
- Poikkeustilanteet tunnistetaan ja ohjeistetaan
- Vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi toteutetaan järjestelmällisesti
- Valvontaa yhtenäistetään.

13.615.6 Esimerkki 6: Oy Metsä-Botnia Ab, Joutseno, 1.4.2004

Syyt

Hakesiilolla oli häiriöitä, johtuen hakekuljettimen pysähtymisestä ja pasutushöyryn joutumisesta hakesiilon hönkäjärjestelmään. Hakesiilon höngät kytkettiin laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään valkolipeäpesurin kautta v. 2002 lopussa massa-tehtaan käynnistymisen jälkeen. Kytkentä tehtiin, koska hakesiilo oli suuri yksittäinen hajuhaitta tehtaalla. Häiriön aikana hakesiilon hönkien määrä ja pitoisuus nousivat voimakkaasti, jolloin väkevää tärpättiä, metanolia ja TRS-yhdisteitä sisältävää palavaa kaasua on päässyt soodakattilan tertiääri-ilmajärjestelmään.

Räjähdyksen jälkeisissä hajukaasumittauksissa todettiin, että hakesiilon poistokaasu on ylittänyt alemman räjähdysrajan pitoisuuden, jolloin kaasu on voinut syttyä soodakattilasta takaperin tulleet liekistä tai puhaltimen aiheuttamasta kipinästä.

Räjähdyksestä ei aiheutunut henkilövahinkoja, mutta mahdollisuudet niihin olivat olemassa.

Jatkotoimenpiteet räjähdys jälkeen

Tehdyssä selvityksessä suositeltiin, ettei hakesiilon poistokaasua vietäisi laimeiden hajukaasujen keräilyjärjestelmään. Raportissa kuitenkin todettiin, että jos hönkä hajusyistä halutaan sinne viedä, niin hakesiilon hönkälinja tulee varustaa tärpättilauhduttimella ja pesurilla, jossa kaasu jäähdytetään kylmällä vedellä. Lisäksi alemman räjähdysrajan mittaus ja ohitus vaaratilanteissa olisi suositeltavaa.



13.715.7 Esimerkki 7: Oy Metsä-Botnia Ab, Kemin tehtaan vaurio 29.12.1998

Hajukaasulinjastossa voi olla räjähdysvaara, mikäli kaasun konsentraatio on räjähdysalueella. Kaasun konsentraatio on pidettävä riittävän korkeana tai tarpeeksi matalana. Etenkin alas - ja ylösajotilanteet ovat ongelmallisia.

Yleensä soodakattiloiden hajukaasuräjähdykset ovat tapahtuneet laimeiden hajukaasujen järjestelmille.

Kemissä oli seisokin jälkeen startin aikana laimeiden hajukaasujen polttolinjastossa kaasuseos konsentroitunut liian korkeaksi.

Todennäköisesti räjähdysalueella ollut kaasuseos oli kulkeutunut osittain auki olleen sulkuventtiilin ja/tai vesitysputkistojen kautta soodakattilan tertiääritason takaseinän hajukaasusuuttimille seisokin jälkeen tehtaan käynnistyksen aikana. Seos syttyi suuttimilla ja eteni hajukaasukanavistoa pitkin lämmönvaihtimen etuosaan, jossa tapahtui räjähdys.

Nykyään Oy Metsä-Botnia Ab:n tehtaalla Kemissä pidetään hajukaasujen keräily käynnissä myös seisokin aikana.

13.815.8 Esimerkki 8: Klabinin tapaus Brasiliassa 10.10.1998

Jos hajukaasulinjastossa vesi pääsee kondensoitumaan, on olemassa sulavesiräjähdysvaara, mikäli vesi pääsee soodakattilaan.

Vesityksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja ne pitää järjestää linjoihin kattavasti. Ohiajopiipun tulisi sijaita mahdollisimman lähellä kattilaa, jotta ohiajopiipun ja varsinaisen soodakattilarakennuksen välinen linja olisi mahdollisimman lyhyt. Käytännön syystä ohiajopiippu sijaitsee lähellä soodakattilaa, koska ejektori on usein soodakattilarakennuksessa tai sen läheisyydessä, ja piippu on aina painepuolella ejektorin jälkeen.

Klabinissa sattui vakava räjähdys, koska tulipesään joutui suurehko määrä vettä lauhtumattomien kaasujen (NCG) polttimen läpi. Räjähdysten seurauksena 4 henkilöä menehtyi ja 13 henkilöä loukkaantui. Toinen, pienempi sulavesiräjähdys tapahtui 15 minuuttia myöhemmin.

Räjähdyksen perimmäinen syy oli todennäköisesti tulipesään joutunut vesi, joka sammutti keon. Vesi pääsi ilmeisesti soodakattilaan lauhtumattomien kaasujen polttolinjastosta, kun automatiikka sammutti polttojärjestelmän ja puhalsi höyryllä kaasulinjan tyhjäksi, puhaltaen samalla linjastossa olleen lauhtuneen veden tulipesään.

13.915.9 Esimerkki 9: Varkauden tapaus 1980-luvulla

On syytä korostaa kaikille hajukaasulinjojen ja niiden läheisyydessä työskentelemään joutuville henkilöille hajukaasumyrkytyksen vaaraa.

Varkaudessa sattui 1980-luvun alussa tapaturma, jossa kaksi soodakattilan käyttöhenkilöä sai hajukaasumyrkytyksen. Onnettomuus sattui, kun lipeää ei enää virrannut mustalipeän sekoitussäiliöön hönkäputken tukkeentumisen seurauksena. Sekoitussäiliössä pinnanmittauksena oli painelähetin, mikä paineen nousun johdosta näytti väärää nestepintaa. Normaalitilanteessa jätehapo johdettiin sekoitussäiliön pohjalle n. 2 m lipeäpinnan alapuolelle, tällöin rikkivetyä ei pääsisi huonetilaan.

Onnettomuustilanteessa lipeäpinta laski liian alas, jolloin jätehapo aiheutti reaktion, joka vapautti rikkivetyä. Reaktiossa syntynyt kaasunpaine sulki tulevan mustalipeän venttiilin, jolloin rikkivedyn muodostuminen lisääntyi voimakkaasti. Käyttöhenkilö oli puhdistamassa hönkälinjaa ja sai hönkälinjan rassauserästä rikkivetyä hengitykseen. Kyseinen henkilö tunsu huimausta ja poistui ulkoilmaan, jonka jälkeen hän menetti hetkellisesti tajuntansa. Toinen käyttöhenkilö tuli tarkastamaan sekoitussäiliön toimintaa ja havaitsi mustalipeän sekaista vaahtoa pursuavan sekoitussäiliön tarkastusluukun kannen välistä. Samoin hän tunsu huimausta ja poistui soodakattilan valvomoon ilmoittaen valvomonhoitajalle tilanteen ja tämän jälkeen menetti hetkellisesti tajuntansa. Kyseiset henkilöt kävivät sairaalassa tarkkailussa. Tapahtuman jälkeen ylimäärä-jätehapon pumppaus sekoitussäiliöön lopetettiin riskitekijöiden poistamiseksi.



1416 LOPPUSANAT

Suomen Soodakattilayhdistyksen jäsenistö on kaivannut selkeää kannanottoa sellutehtaan hajukaasujen keräilyyn ja polttoon. Taustana on huoli turvallisuudesta ja kokonaisprosessin toimivuudesta.

Hajukaasujen syttymis- eli räjähdysalue jakaa hajukaasut laimeisiin, eli pitoisuudeltaan alle räjähdysalueen, ja väkeviin, eli pitoisuudeltaan yli räjähdysalueen.

Väkevien hajukaasujen poltto soodakattilassa on tullut vasta 1990-luvulla voimakkaasti kiinnostuksen kohteeksi. Laimeita hajukaasuja on johdettu soodakattilaan jo aiemmin.

Laimeiden hajukaasujen johtamisessa polttoon on ilmennyt runsaasti ongelmia ja väkevien hajukaasun poltolla on kuten muillakin polttokaasuilla riskinsä, mikä on herättänyt tarpeen ohjeelle. Hajukaasujen poltolle on myös olemassa eri koulukuntia, mikä on herättänyt hämmennystä ja paljon keskustelua aiheesta.

Soodakattilaa on ohjeistettu monin eri tavoin. Hajukaasujen poltto soodakattilassa vaatii oman suosituksensa, jotta hajukaasujen hävitys voidaan tehdä soodakattilassa turvallisesti. Lainsäädäntö ei käytännössä tunne hajukaasuja. Niitä koskevat lähinnä kemikaalilain yleiset periaatteet. Tämän suosituksen tarkoituksena on mahdollistaa hajukaasujen turvallinen poltto soodakattilassa.



1517 KIRJALLISUUSVIITTEITÄ

Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, Recommended good practice for the thermal oxidation of waste streams in a black liquor recovery boiler. February 2012.

Allen, Travis, 2001, NCG Handling, incineration concerns drive need for safe system design. Pulp&Paper, April 2001. pp. 39 – 41.

Burgess, Tom ja Young, Randy, The explosive nature of noncondensable gases. Proc. 1992 Tappi Environmental Conf., pp. 81 – 95.

Compilation of 'Air Toxic' Emission Data for Boilers, Pulp Mills and Bleach Plants; NCASI Technical bulletin no. 650, June 1993.

Drew, John, Russel, James and Bajak, Henry W., Sulfate turpentine recovery. Pulp Chemicals Association, New York 1971, 147 p.

Grace, T. M., Klabin / Monte Alegre recovery boiler explosion. Föredrag vid Sodahuskonferensen '99, ÅF-IPK AB 1999.

Huuska, T., Esitelmä Konemestaripäivillä 2000. Soodakattilayhdistyksen raportti 1/2000.

Hokynar, S., Sulfaattisellun valmistuksessa syntyvät hajukaasut ja niiden räjähdysrajat. TKK, Diplomityö, 1999.

ISO 10156:1996 Ed.2, TC58/SC2: Gases and mixtures – Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets.

Jaakko Pöyry Oy:n arkistotietoa.

Janka, K., Haaga, K., Tamminen, A. ja Wallin, E., Advanced Recovery Boilers Reduce Odor Gases Cost-Efficiently; SPCI 1999 s.531-535.



Karjunen, T., Kaasuräjähdykset soodakattiloissa vesivuotojen aikana. Soodakattilayhdistyksen raportti 7/1999.

Kankkonen, S., Pekkanen, M., Soodakattilassa poltettavat ainevirrat. Soodakattilayhdistyksen raportti 2/2000.

Modernin sulfaattiselutehtaan haihtuvat kaasumaiset yhdisteet, Osaprojekti 1 Haihtuvien kaasumaisten yhdisteitten määrittäminen, Loppuraportti. VTT Kemiantekniikka, Ympäristötekniikka. 45 p.

Mäntyniemi, Jussi, Isoniemi, Markku ja Harila, Pauli, Biosludge and NCG incineration in a recovery boiler. 1995 International Chemical Recovery Conference. pp. B57 – B61.

Pekkanen M, Nieminen R, Lehtinen T. Hajukaasujen polttosuosituksen päivitykseen liittyvä selvitys Soodakattilayhdistyksen raportti 7/2010.

Rantanen, Asmo, 1987, Soodakattilan liuotinhöngän koostumuksen ja käsittelymenetelmien tutkiminen. Diplomityö LTKK, Energiatekniikan osasto, Lappeenranta, 114 p.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös (979/1997) kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös (1058/1999) kemikaalien luokitusperusteista ja merkintöjen tekemisestä annetun sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen muuttamisesta.

Työpaikan ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuudet (enimmäispitoisuusohjeet). Sosiaali- ja terveysministeriön vahvistamat teknilliset turvallisuusohjeet N.o 11. Sosiaali- ja terveysministeriö 1972.

Venermo, Mikko, Upgrading of the odour control system of a kraft pulp mill by pre-evaporating the black liquor. Diplomityö, TKK Espoo. 94 p, 1992.

LIITE 1
Esimerkki pohjakuorman laskemiseksi



ESIMERKKI POHJAKUORMAN LASKEMISEKSI

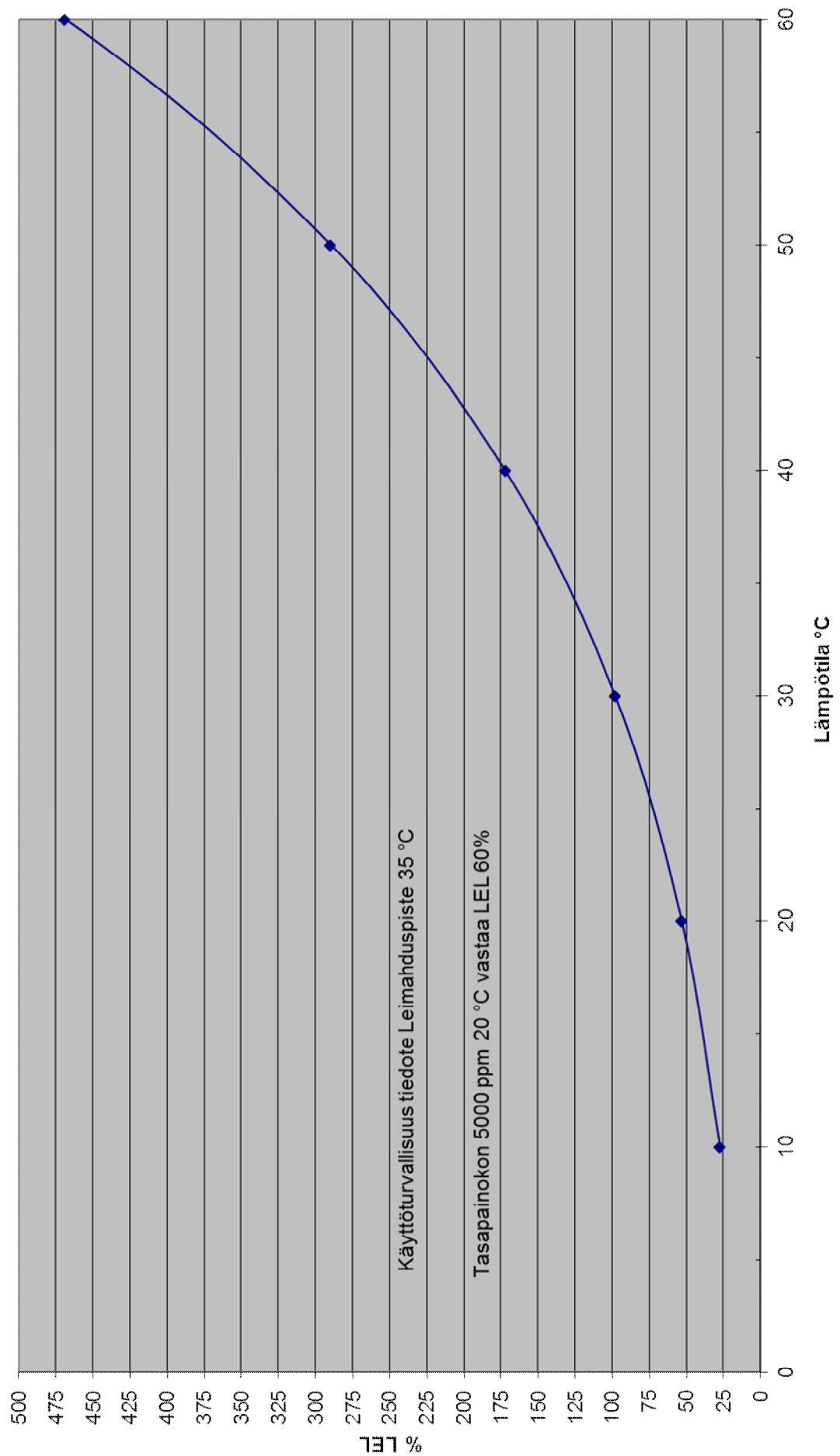
Jotta minimikuorma hajukaasujenpoltolle laskettaisiin yhtenevästi, on ohessa esitetty kaksi tapaa laskea minimikuorma. Toisessa kuorma sidotaan höyryvirtaan ja toisessa lipeävirtaan. Tulitehon yksikkö on höyrynkehitykseen saatu nettolämpö jaettuna tulipesän pohjaneliöillä.

	100	%		43	%
Kattilan pohjan ala	100	m ²		100	m ²
Höyrynkehitys	80	kg/s		34,3	kg/s
Tuorehöyryn paine	80	bar		80	bar
Tuorehöyryn lämpötila	480	°C		480	°C
Tuorehöyryn entalpia	3349.5	KJ/kg		3349.5	kJ/kg
Syöttöveden paine	100	bar		100	bar
Syöttöveden lämpötila	115	°C		115	°C
Syöttöveden entalpia	489.6	kJ/kg		489.6	kJ/kg
Lieriön paine	90	bar		90	bar
Nuohoushöyryn entalpia	2942.9	kJ/kg		2942.9	kJ/kg
Ulospuhalluksen entalpia	1363.7	kJ/kg		1363.7	kJ/kg
Ulospuhallus	1.5	%		1.5	%
Nuohous	2,0	%		2.0	%
Lämpö höyryyn	2.922	MJ/kg		2,922	MJ/kg
	233.8	MW		100.2	MW
Nettolämpö pohja-alaa kohti	2.34	MW/m ²		1.00	MW/m ²
TAI					
	100	%		43	%
Mustalipeävirtaus	2200	tka/24h		943	tka/24h
	25.5	kgka/s		10.9	kgka/s
Nettolämpö (taseesta)	9200	kJ/kgka		9200	kJ/kgka
	234.3	MW		100.4	MW
Nettolämpö pohja-alaa kohti	2.34	MW/m ²		1.00	MW/m ²

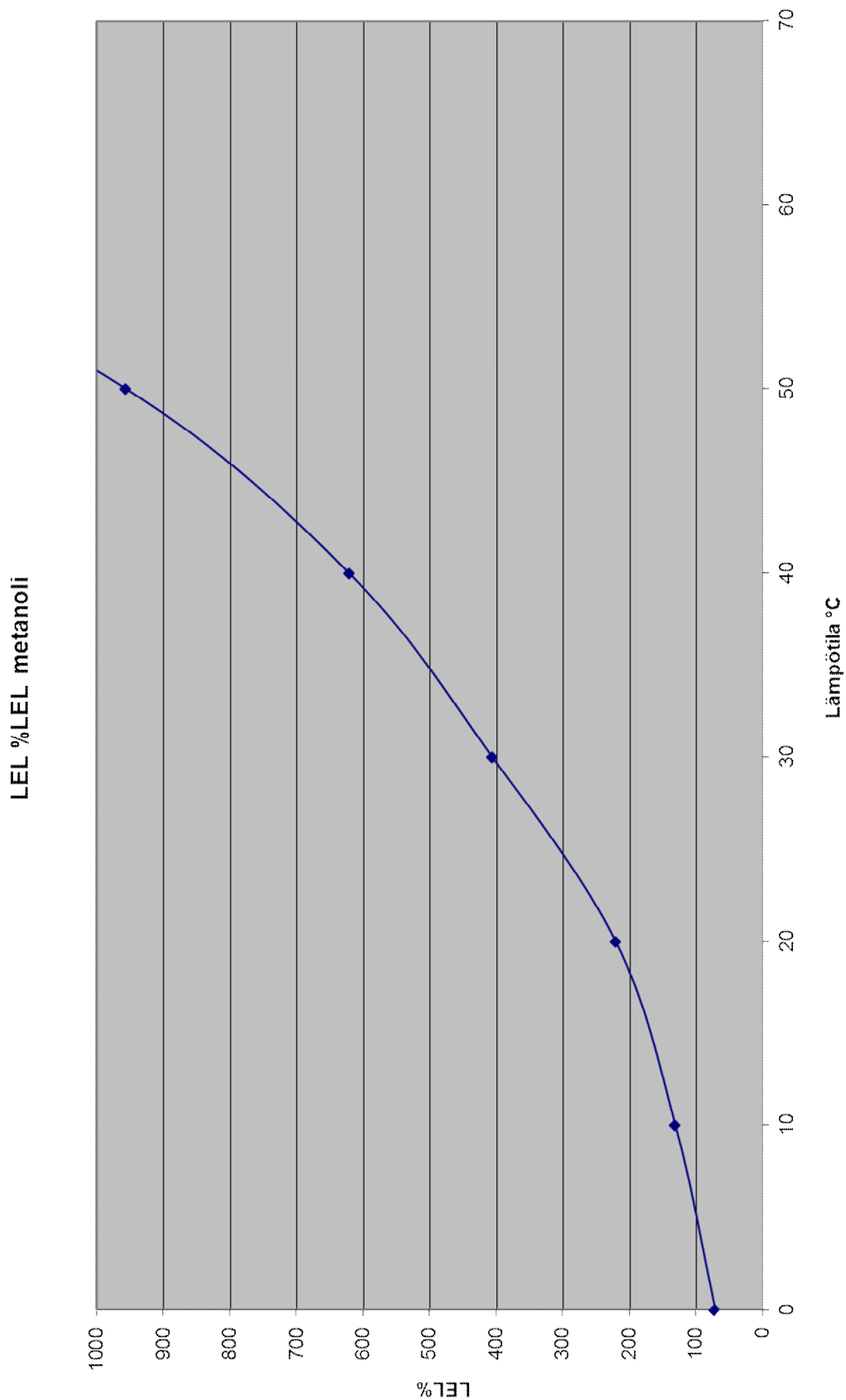
LIITE 2
Alfa-pineenin tasapainokäyrä ilmassa



LEL %LEL Tärpätintasapainoilmassa



LIITE 3
Metanolin tasapainokäyrä ilmassa



Soodakattilapäivät 2018, palautteen luentoehdotukset



Vuoden 2018 Soodakattilapäivän palaute



Soodakattilapäivä 25.10.2018, palaute

- Palautettuja lomakkeita 84 kpl
- Ilmoittautuneita 127 hlö
- Vastausprosentti 66 %



Energia –messuja koskevat kysymykset

Energiamessut

Osallistuitko Energia 2018 –messuille tai siihen liittyviin tapahtumiin?

Kyllä 43 hlö	Ei 41 hlö
---------------------	-----------

Kannatatko vuoden 2020 Soodakattilapäivien järjestämistä samalla viikolla Energia-messujen kanssa Tampereella?

Kyllä 63 hlö	Ei 14 hlö
---------------------	-----------



Toivottuja luentoaiheita

- Uusimmat tiedot soodakattilapedin sekä carry over –ilmiön hallinnasta
- Uudet teknologiat
- Soodakattilan apulaitteet
- Vesihöyrykierto ja mahdolliset ongelmat
- Vuodon valvonta
- Luotettavat mittausratkaisut mustalipeäruiskutuksen hallitsemiseksi
- Polttolipeän kuiva-aine, virtausmittaus, paine, lämpötila, lajikohtaiset vaikutukset mittauksin
- Materiaalijuttuja, vaurioita
- BAT/BREF, sellutehtaan Na/S –taseen hallinta
- Soodakattilan käytettävyyden ja tuotannon häiriöiden vaikutukset kaustisointiin
- Yhdistyksen rahoittamien projektien tulosten esittely (esim. 15 min/projekti)
- ATEX -> määrittelyiden perusteet, määritelläänkö ATEX-värkit turhan varman päälle
- Katsaus BLTBACin aiheista
- O₂ mittaus tehtaan väkevästä hajukaasuista
- Mahdollisuudet osallistua muuttuvahintaisille sähkömarkkinoille ja vähitellen avautuville kaukolämpömarkkinoille, näihin hyvä investointilaskenta



Toivottuja luentoaiheita

- Soodakattilan huolto ja kunnossapito (kunnonvalvonta, tarkastukset, etäyhteydet, tiedonkeruu)
- Soodakattilan vesikemia – käytännönläheinen tietoisuus aiheesta
- Soodakattilaan liittyvät prosessit
- Uudet NDT –tarkastusmenetelmät, viimeaikaisten kattilavaurioiden läpikäynti
- Soodakattilan ohjeiden läpikäynti step by step
- Soodakattiloiden kapasiteetin nostoprojektit

Muiden työryhmien toiminta, SKY



Muiden työryhmien toiminta



Käynnissä olevat projektit

- [LTR: Pulp mill deposit formation and aging – role of intra-deposit alkali chloride transport – part 1, ÅA](#)
 - Lämpögradientti aiheuttaa alkalikloridien siirtymistä (diffuusion avulla) tulistinkerrostumassa, aihetta ei ole tutkittu juurikaan soodakattilassa. Laboratoriossa ja voimakattiloissa tehdyissä kokeissa tulistinputki kerrostuman kloridit ovat kertyneet ”kylmän” putken pintaan = putken pinnalla kloridin konsentraatio on korkeampi kuin kerrostumassa. Tulokset osoittavat samaa myös soodakattilalla. Loppuraportti saatu ja työryhmä käsittelee kommentit kokouksessaan 5/2018.
- [LTR: Mustalipeän polttomenetelmät Suomen soodakattiloissa \(2018\)](#)
 - Tavoite: Raportissa keskityttäisiin päivittämään tiedot mm. lipeän ruiskutusparametreistä ja käytetyistä ilmajaoista. Kysely tehtaalle lähtenyt.
- [LTR: Soodakattilan ja talteenottokierron vierasainetaseet](#)
 - Työn tarkoituksena on kasata yksiin kansiin talteenottokiertoon haitallisesti vaikuttavista vierasaineista kirjallisuustietoa sekä käytännön havaintoja ja pohtia näiden välisiä yhteyksiä. Näytteenotto on käynnissä ja tehdasvierailut alkaneet.



Käynnissä olevat projektit

- KTR: [Sularännisuositus](#)
 - Tavoite: Yhdistyksen vauriotietokantaan on raportoitu useita sularännivauriota viimeisen kahden vuoden aikana. Koska vaurioita on ollut normaalia enemmän, kestoisuustyöryhmän päätti käynnistää projektin jonka tavoitteena tehdä sularännien laadunvarmistus- ja tarkastusohjeistus.
- KTR: [Selvitys sularännivaurioista](#)
 - Tavoite: Käyttäjille tarkempaa tietoa rännien kunnosta ja ajon vaikutuksista ränneihin. Millä kattiloilla on haasteita, millä ei ole (ovatko kuin muilla). Minkä asteisia haasteet ovat -> onko este pidemmille ajojaksoille.
- KTR: [Yhdistyksen materiaalisuosituksen päivitys: Putken kuorinta ja S0-linjaus](#)
 - Tavoite: Saada muodostettua yhteinen linja, jotta samoja asioita tarvitsisi keskustella joka projektissa erikseen. Soodakattilayhdistyksen materiaalisuositus



Projektiehdotuksia

- KTR: [Vanhojen kattilakomponenttien tutkiminen](#)
- LTR: [Biolietteen polton vaikutukset kattilassa ja lipeälinjalla](#)
- LTR: [Sintering tendencies of dust from Finnish recovery boilers](#)
- ATR: [Turva-automaatiosuosituksen päivitys](#)
- [Operaattoreiden koulutus ja sertifiointi](#)
- ATR: [Soodakattiloiden vesi-höyrypiirin määrittämismenetelmät](#)