



Puupohjaisiin raaka-aineisiin perustuvien biotuotelaitosten uudet tekniikat, päästötasot ja tekniikoiden kokonaisympäristövaikutukset

KAAKKOIS-SUOMEN ELY-KESKUS

PAULA VEHMAANPERÄ, KERTTU OKSANEN, TIMO ÄLANDER, LAURI TUOMINEN, KONSTA HILTUNEN, PEKKA OJANEN, MIKA TOIKKA, KATI HÄME, ERJA MONTTO, JUHA RANTALA

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

TIMO JOUTTIJÄRVI, KAJ FORSIUS, EMMI VÄHÄ



RAPORTTEJA 79 | 2022

**PUUOHJAIISIIN RAAKA-AINEISIIN PERUSTUVIEN BIOTUOTELAITOSTEN UUDET TEK-
NIIKAT, PÄÄSTÖTASOT JA TEKNIKOIDEN KOKONAISYMPÄRISTÖVAIKUTUKSET**

Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Taitto: Sirpa Skippari

Kansikuva: Mika Toikka

ISBN 978-952-398-102-7 (PDF)

ISSN-L 2242-2854

ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)

URN:ISBN: 978-952-398-102-7

www.doria.fi/ely-keskus

Puupohjaisiin raaka-aineisiin perustuvien biotuotelaitosten uudet tekniikat, päästötasot ja tekniikoiden kokonaisympäristövaikutukset

KAAKKOIS-SUOMEN ELY-KESKUS

PAULA VEHMAANPERÄ, KERTTU OKSANEN, TIMO ÅLANDER, LAURI TUOMINEN, KONSTA HILTUNEN, PEKKA OJANEN, MIKA TOIKKA, KATI HÄME, ERJA MONTTO, JUHA RANTALA

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

TIMO JOUTTIJÄRVI, KAJ FORSIUS, EMMI VÄHÄ

Sisältö

Sisällys	1
Termit ja lyhenteet	3
BREF-vertailuasiakirjat	4
Esipuhe	5
1 Tausta ja tavoite	6
1.1 Hankkeen tausta	6
1.2 Hankkeen tavoitteet ja rajaukset	7
1.3 Hankkeen toteutus	8
1.3.1 Hankkeessa käytetty aineisto ja menetelmät	8
1.3.2 BAT-tiedonkeruu ja kuvausten laatiminen	8
1.4 Tämän raportin hyödyntäminen lupamenettelyssä	9
2 Puuraaka-aineeseen perustuva biotuotetoiminta.....	10
2.1 Biotuotetoiminnan luokittelua ja määritelmiä	10
2.2 Biotuotelaitokset Suomessa	12
2.3 Raporttiin valitut case-esimerkit.....	15
3 Tekniikat	16
3.1 Yleistä	16
3.2 Sulfaattisellutehtaaseen integroidut prosessit	16
3.2.1 Ligniinin talteenotto.....	16
3.2.1.1 LignoBoost- tekniikan kuvaus	16
3.2.1.2 Saavutetut ympäristöhyödyt	17
3.2.1.3 Kokonaisympäristövaikutukset.....	18
3.2.1.4 Ligniinin talteenotto -esimerkilaitoksia	19
3.2.1.5 Prosessikehitys kohti mäntyöljyligniinin tuotantoa.....	19
3.2.2 Kuoren kaasutus	20
3.2.2.1 Kaasutuksen kuvaus.....	20
3.2.2.2 Saavutetut ympäristöhyödyt.....	21
3.2.2.3 Kokonaisympäristövaikutukset	21
3.2.2.4 Kaasutuskaasu meesauunin polttoaineena Metsä Fibren laitoksilla	21
3.2.2.5 Kaasutuskaasu meesauunin polttoaineena Stora Enson Varkauden tehtaalla	22
3.3 Biokonversioprosessilähde	22
3.3.1 Tekninen kuvaus	23
3.3.2 Saavutetut ympäristöhyödyt.....	24
3.4 Mäntyöljyn jalostus	24
3.4.1 Mäntyöljytislaamo	24
3.4.1.1 Tekninen kuvaus.....	24
3.4.1.2 Saavutetut ympäristöhyödyt	27
3.4.2 Biojalostamo.....	27
3.4.2.1 Tekninen kuvaus.....	27

3.5 Tekstiilikuidun valmistus.....	28
3.5.1 Tekninen kuvaus	28
3.5.2 Saavutetut ympäristöhyödyt.....	28
3.5.3 Kokonaisympäristövaikutukset	29
3.6 Muut potentiaaliset tekniikat.....	29
3.6.1 Membraanitekniikat biotuotelaitoksessa.....	29
3.6.2 Vihreän vedyn valmistus	30
3.6.3 Rikkihapon valmistus tehtaan hajukaasuista	33
4 Päästötasot nykyisissä tuotantolaitoksissa.....	34
4.1 Päästöt ilmaan.....	34
4.1.1 Rikkidioksidi.....	34
4.1.2 TRS	38
4.1.3 NOx	41
4.1.4 Hiukkaset	44
4.1.5 CO.....	46
4.1.6 CO2.....	49
4.2 Päästöt veteen	51
4.2.1 COD	51
4.2.2 BOD.....	53
4.2.3 Kiintoaine.....	56
4.2.4 Kokonaistyyppi	59
4.2.5 Kokonaisfosfori	62
4.2.6 AOX	65
4.2.7 Rikki.....	66
4.2.8 Öljymäiset aineet.....	67
4.2.9 Natrium.....	68
5 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	70
5.1 Hankkeen tavoitteet ja niiden toteutuminen.....	70
5.2 Tekniikoilla saavutettavat ympäristöhyödyt ja kokonaisympäristö-	
vaikutukset.....	70
Lähteet	72

Termit ja lyhenteet

AOX	absorboituneet orgaaniset halogeenit
ATEX	Direktiivi 2014/34/EU koskien räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä, Potentially Explosive Atmospheres
AWE	alkalielektrolyysi, Alkaline Water Electrolysis,
BAT	paras käytettävissä oleva tekniikka direktiivissä 2010/75/EU, Best Available Techniques
BOD	biologinen hapenkulutus, Biological Oxygen Demand
BREF	BAT-vertailuasiakirja, Best Available Techniques Reference Document
CFB	kiertävä leijupeti, Circulating Fluidised Bed
COD	kemiallinen hapenkulutus, Chemical Oxygen Demand
HHV	korkeampi lämpöarvo, Higher Heating Value
IEA	International Energy Agency
IED	teollisuuspäästädirektiivi, Directive 2010/75/EU of the European Parliament and the Council on industrial emissions (the Industrial Emissions Directive or IED)
KHO	korkein hallinto-oikeus
KL	kraft-ligniini
LS	lignosulfonaatti
P2G	kaasumaisen aineen valmistaminen sähkön avulla, Power to Gas
TOL	mäntyöljyligniini, Tall Oil Lignin
TOS	mäntyöljysaippua, Tall Oil Soap
TRS	pelkistyneet rikkiyhdisteet, Total Reduced Sulphur
VHaO	Vaasan hallinto-oikeus
VOC	haihtuvat orgaaniset yhdisteet, Volatile Organic Compounds
YVA	Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017

BREF-vertailuasiakirjat

BREF	Nimi	Toimiala
CWW	Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector (2016)	Kemianteollisuuden jätevesien ja -kaasujen käsittely
EFS	Emissions from Storage (2006)	Varastoinnin päästöt
ENE	Energy Efficiency (2009)	Energiätehokkuus
FDM	Food, Drink and Milk Industries (2019)	Elintarvikkeiden ja maidon valmistus ja jatkojalostus
LVIC	Large Volume Inorganic Chemicals (2007)	Epäorgaaninen kemianteollisuus
MWEI	Management of Waste from Extractive Industries (2018)	Kaivannaisjätteiden hallinta
OFC	Manufacture of Organic Fine Chemicals (2006)	Orgaanisten hienokemikaalien valmistus
POL	Production of Polymers (2007)	Polymeerien tuotanto
PP	Production of Pulp, Paper and Board (2015)	Massa- ja paperiteollisuus
REF	Refining of Mineral Oil and Gas (2015)	Öljyjalostamot
TXT	Textiles Industry (2003, final draft 2022)	Tekstiiliteollisuus
WT	Waste Treatment (2018)	Jätteidenkäsittely

Esipuhe

Tämä raportti on valmistunut ympäristöministeriön (YM) rahoittamassa OHKE-hankkeessa ”Metsäteollisuuden uusien biotuotelaitosten luvituksen ja valvonnan kehittäminen”. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa biotuotelaitosten prosesseja ja päästöjä koskevaa tietoa EU:n teollisuuspäästädirektiivin BAT-tekniikoita koskevien vertailuasiakirjojen (BREF) valmistelun tueksi sekä lupaharkinnan ja valvonnan tausta-aineistöksi. Hankkeen valmistelusta ja toteutuksesta on vastannut Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen metsäteollisuuden ja siihen liittyvän kemianteollisuuden erikoistumisryhmä yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) teollisuuden ympäristönsuojeluryhmän Timo Jouttijärven ja Kaj Forsiuksen kanssa. Projektipäällikkönä on toiminut yli-insinööri Timo Ålander Kaakkois-Suomen ELY-keskuksesta.

Hankkeen kesto oli toukokuusta 2020 elokuuhun 2022. Hankkeen puoliväliin asti kirjoittamisesta vastasi erityisasiantuntija Paula Vehmaanperä, jonka jälkeen kirjoitustyöstä vastasi hankeassistentti Kerttu Oksanen. Metsäteollisuuden prosessi- ja päästötietoa keräsi Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen korkeakouluharjoittelija Lauri Tuominen. Konsta Hiltusen ja Kerttu Oksasen tästä aihepiiristä tekemissä diplomitöissä kerättyä tietoa hyödynnettiin myös hankkeessa. Kaakkois-Suomen ELY-keskuksesta hankkeen toteuttamiseen osallistuivat edellä mainittujen lisäksi ympäristövastuuyksikön päällikkö Juha Rantala sekä erikoistumisryhmästä Kati Häme, Erja Monto, Pekka Ojanen ja Mika Toikka.

Hankkeen ohjausryhmän kokoonpanoon kuuluivat eri vaiheissa Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen edustajien lisäksi Sami Rinne ja Jaakko Kuisma (YM), Kaj Forsius, Timo Jouttijärvi ja Emmi Vähä (SYKE), Erkki Kantola ja Sami Koivula (Pohjois-Suomen AVI), Olli Dahl (Aalto-yliopisto), Fredrik Blomfelt ja Aaron Vuola (Metsäteollisuus ry), Timo Kanerva ja Mika Leino (Metsä Group) sekä Pertti Sundqvist (Suomen Luonnonsuojeluliitto ry).

Hankkeen toteutuksesta vastanneessa asiantuntijaryhmässä toimivat SYKE:n, Aalto-yliopiston ja ELY-keskuksen edustajien lisäksi Mika Leino, Anna Riikka Nickull ja Outi Poukka (Metsä Group), Henna Lehtonen, Kari Saari ja Kaisa Vaskinen (UPM-Kymmene Oyj), Juha Oksanen (Stora Enso Oyj), Erkki Kaihlanie-mi ja Elisa Tuhkanen (Kraton Chemical Oy) sekä Mari Kallioinen-Mänttari (LUT-yliopisto).

Lappeenrannassa elokuussa 2022,

Tekijät

1 Tausta ja tavoite

1.1 Hankkeen tausta

Kemiallisen metsäteollisuuden toimintaympäristö on muuttumassa. Uusiin sellupohjaisiin (ligniini, hemi-selluloosat, liukosellu, tekstiilikuidut) tuotantoprosesseihin panostetaan ja toisen sukupolven biopolttoaineiden valmistusteknologiat ovat kaupallistumassa. Suomessa on viime vuosien aikana aloitettu tai suunnitellaan aloitettavaksi biopolttoaineiden tuotantoa useilla laitoksilla, joissa käytetään metsäbiomassan lisäksi myös muita raaka-aineita, kuten jätejakeita. Tällä hetkellä (toukokuu 2022) viranomaisprosesseissa (ympäristövaikutusten arviointi, ympäristölupahakemus vireillä tai ympäristölupa myönnetty) on kahdeksan metsäbiomassaan pohjautuvaa biotuotelaitoshanketta, ja yksi uuden sukupolven sellutehdas on jo tuotantotoiminnassa.

Uudet valmistusprosessit ja tuotantolaitosten monimutkaistuminen saattavat vaikuttaa laitosten ilma- ja vesistö päästöjen sekä jätteiden määrään ja koostumukseen. Tämä kehitys lisää viranomaisten ja toiminnanharjoittajien tiedontarvetta uusien tuotantoprosessien ympäristövaikutuksista, koska uusien prosessien vaikutuksia puhdistusprosessien toimintaan ja sitä kautta päästöihin ei tarkkaan tunneta. Tähän saakka tieto käynnissä ja suunnitteilla olevien puubiomassaan perustuvien biotuotelaitoshankkeiden tuotteista, prosessiteknisistä ratkaisuista ja päästötasoista on ollut hajallaan eri lähteissä, mikä on hankaloittanut lupa- ja valvontaviranomaisten biotuotelaitosten YVA-prosessien ja lupaharkinnan valmistelua sekä valvontaa. Tiedon hajanaisuus on myös heikentänyt viranomaisten toiminnan yhtenäisyyttä ja päätösten ennakoitavuutta, mikä on ollut omiaan hidastamaan lupaprosesseja ja haittaamaan teollisuuden investointisuunnitelmia.

Uusien biotuotteiden tuotantoprosesseja koskevia päästötietoja ei ole ollut tähän saakka kootusti saatavilla, eikä myöskään teollisuuspäästädirektiivin (Industrial Emissions Directive, IED) mukaisissa metsäteollisuuden BAT-vertailuasiakirjoissa (BAT Reference Document, BREF) ole toistaiseksi referenssejä biotuotteiden tuotantoprosessien parhaista käytettävissä olevista tekniikoista (Best Available Techniques, BAT) ja niihin liittyvistä päästötasoista.

Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi tarvitaan erilaisia keinoja korvata fossiilisia polttoaineita ja raaka-aineita. Biomassaa, kuten metsäteollisuuden tähteitä, maatalouden ja kotitalouksien jätteitä ja niin edelleen pidetään yhtenä vaihtoehtoisena lähteenä fossiilittoman energian ja muoviraaka-aineiden tuottamiseen. Tällä hetkellä käytössä ovat jo esimerkiksi pyrolyysi ja kaasutus, joilla muutetaan biomassaa hiilivedyiksi ja polttoaineiksi.

Biopolttoaineita voidaan valmistaa myös prosessin sivuvirroista. Esimerkkinä tällaisesta prosessista on UPM Lappeenrannan biojalostamo, joka valmistaa biodieseliä ja bionaftaa selluteollisuuden sivuvirtana syntyvästä mäntyöljystä. Tekniikan ja entsyymien kehityksen myötä joitakin kaupallisia biokonversioprosesseja (bioetanolin tuottaminen entsyymien avulla) on käynnistynyt (Cellunolix Kajaani) tai käynnistymässä (BioEnergio Pori). Bioetanolia voidaan käyttää liikenteen polttoaineena.

1.2 Hankkeen tavoitteet ja rajaukset

Hankkeen tavoitteena on vastata tiedontarpeeseen uusista biotuotetoiminnan BAT-tekniikoista, niillä säävutettävistä kulutus- ja päästötasoista sekä tekniikoiden käyttöönoton vaikutuksista päästöjen muodostumiseen ja laatuun:

1. Kerätä tietoa käynnissä ja suunnitteilla olevien puubiomassaan perustuvien biotuotelaitosten tuotteista ja tuotannon volyyminä sekä prosessiteknisistä ratkaisuista.
2. Tunnistaa uusien biojalostusprosessien suoria ja epäsuoria kokonaisympäristövaikutuksia kemiallisen metsäteollisuuden päästöihin.
3. Tuottaa biotuotelaitosten prosesseja ja päästöjä koskevaa tietoa EU:n teollisuuspäästädirektiivin BAT-koskevien vertailuasiakirjojen (BREF) valmistelun tueksi sekä lupaharkinnan ja valvonnan tausta-aineistoksi.

Hanke rajattiin käsittelemään ainoastaan uusia puuperäisen biomateriaalin jalostuksen teknologioita. Tuotantotekniikoiden kuvaus rajattiin hankkeen tavoitteiden mukaisesti uusiin tehdashankkeisiin ja prosesseihin, jotka toimivat joko itsenäisesti tai integroituna perinteiseen sellutehtaaseen. Vertailun vuoksi päästötietoja ja tuotantokapasiteetteja esitetään sekä uusista puubiomassan jalostusprosesseista että perinteisistä sellutehtaista. Tuotantotekniikoista esitellään ne, jotka ovat vakiintumassa tai vakiintuneita. Tässä raportissa esiteltävät tekniikat eivät ole tyhjentävä kuvaus olemassa olevista tekniikoista ja niiden eri sovellustavoista. Tuotantotekniikoiden valintaan vaikuttivat toiminnanharjoittajien case-esimerkkien sekä hankkeen alkuvaiheessa ja sen aikana esiin nousseet tekniikat. Kuvauksissa käsitellään sulfaattisellutehtaaseen integroitu ligniinin talteenotto ja kuoren kaasutus. Itsenäisiin tekniikoihin valittiin biokonversio, mäntyöljyn jalostus, tekstiilikuidun valmistus, membraanitekniikka ja vihreän vedyn valmistus. Rikkihapon valmistus on sulfaattisellutehtaaseen integroitu prosessi, mutta se käsitellään osana potentiaalisten tekniikoiden kuvasta. Biotuotelaitosten päästötasot esitetään laitoskohtaisesti päästötasokuvaajissa. Taulukossa 1 on esitetty tässä raportissa käytettäviä termejä.

Taulukko 1. Raportissa käytettyä termistöä suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi.

suomi	ruotsi	englanti
biomassa	biomassa	biomass
puupohjainen biomassa	träbiomassa	wood-based biomass
biopohjainen	biobaserade	bio-based
biotuote	bioprodukt	bioproduct
biotuotelaitos	bioproduktionsanläggning	bioproduct plant
biojalostamo	bioraffinaderi	biorefinery
kestävä kehitys	hållbar utveckling	sustainable development

Biomassalla tarkoitetaan ainesta, jolla on biologinen alkuperä. Biomassaa ovat esimerkiksi kasvit, puut ja levä. (SFS-EN 16575). Biopohjaisella tarkoitetaan biomassasta peräisin olevaa (SFS-EN 16575) ja puupohjaisella biomassalla tarkoitetaan puusta saatua biomassaa. Biotuotteella tarkoitetaan biopohjaista tuotetta, joka on joko kokonaan tai osittain biomassasta valmistettu, ja joka voi olla lopullinen tuote, välituote, sivutuote tai materiaali. Biotuotelaitoksella tarkoitetaan biopohjaisia raaka-aineita käyttävää ja biotuotteita valmistavaa laitosta. Biojalostamo on vakiintunut tarkoittamaan biopolttoaineita jalostavaa laitosta. Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan nykyhetken tarpeita tyydyttävää kehitystä, joka ei vaaranna tulevien sukupolvien kykyä tyydyttää omia tarpeitaan (SFS-EN 16575). Selvyyden vuoksi case-esimerkkien kohdalla saatetaan taulukosta 1 poiketen käyttää yrityksen suosimia termejä heidän tuotteistaan, prosesseistaan ja laitoksistaan.

1.3 Hankkeen toteutus

Hankkeelle perustettiin ohjausryhmä, jossa on edustus Suomen ympäristökeskuksesta, ympäristöministeriöstä, aluehallintovirastosta, Metsäteollisuus ry:stä, Aalto-yliopistosta, LUT-yliopistosta, Suomen Luonnonsuojeluliitosta ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksesta, sekä asiantuntijaryhmä, joka koostuu Metsäteollisuus ry:n nimeämistä asiantuntijoista (Stora Enso, UPM ja Metsä Group sekä Kraton Chemical Oy). Ohjausryhmän tarkoitus on ollut ohjata ja seurata hankkeen edistymistä. Asiantuntijaryhmän tarkoituksena on ollut tuottaa hankkeelle tietoa biotuotelaitosten prosessiteknisistä ratkaisuista ja niillä saavutettavista päästötasoina.

1.3.1 Hankkeessa käytetty aineisto ja menetelmät

Aineistona hankkeessa on päästötietojen osalta käytetty toiminnanharjoittajien toimittamia päästömittausta ja ympäristöraportteja, ympäristölupahakemuksia sekä aluehallintoviraston ympäristölupapäätöksiä. Muita käytettyjä lähteitä ovat kansallinen ja EU-lainsäädäntö valmisteluasiakirjoineen, BAT/BREF-asiakirjat, KHO:n ja VHaO:n päätökset, ympäristöhallinnon julkaisut ja tieteelliset julkaisut (vertaisarvioitua kansainvälisiä artikkeleita, yliopistojen ja tutkimuslaitosten julkaisusarjojen julkaisut). Lisäksi aineistoa on saatu hankkeen yhteydessä järjestetyistä webinaareista ja työpajoista sekä asiantuntijahaastatteluiden ja yhteistyöstä Ruotsin Naturvårdsverketin kanssa.

1.3.2 BAT-tiedonkeruu ja kuvausten laatiminen

Komission täytäntöönpanopäätöksen (annettu 10 päivänä helmikuuta 2012, teollisuuden päästöistä annetussa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2010/75/EU tarkoitetuista tiedonkeruusta ja BAT-vertailuasiakirjojen laatimista ja niiden laadun varmistamista koskevista ohjeista (2012/119/EU)) mukaan BREF-asiakirjan luku ”Parhaan käytettävissä olevan tekniikan määrittelemisessä huomioon otettavat tekniikat” on erittäin tärkeä BAT-päätelmien tekemisen kannalta. Siinä luetellaan tekniikat ja niihin liittyvä tarkkailu, joita käytetään ilmaan, veteen (myös pohjaveteen) ja maaperään joutuvien päästöjen ehkäisemiseen tai, jos se ei ole mahdollista, päästöjen vähentämiseen, sekä jätteiden syntymisen ehkäisemiseen tai vähentämiseen. Kustakin BAT-tekniikasta (name of the technique) pyritään esittämään seuraavat tiedot (suluissa englanninkielinen vastine):

1. Kuvaus (Description of the technique)
2. Tekninen kuvaus (Technical description)
3. Saavutetut ympäristöhyödyt (Achieved environmental benefits)
4. Ympäristötehokkuutta ja toimintaa koskevat tiedot (Environmental performance with regard to hazardous substances and operational data)
5. Kokonaisympäristövaikutukset (Cross-media effects)
6. Sovellettavuuden kannalta merkitykselliset tekniset näkökohdat (Technical considerations relevant to applicability)
7. Taloudelliset näkökulmat (Economics)
8. Kannustimet tekniikan käyttöönottoon (Driving force for implementation)
9. Esimerkkilaitokset (Example plants)
10. Lähdeluettelo (Reference literature)

Tämän hankkeen eräs painopiste on kokonaisympäristövaikutusten arvioinnissa. Erityisesti kokonaisympäristövaikutuksista mainitaan merkitykselliset kielteiset ympäristövaikutukset, jotka johtuvat tekniikan käytöstä ja jotka mahdollistavat tekniikoiden vertailun, jotta voidaan arvioida tekniikan vaikutusta koko ympäristöön. Tarkasteltavia kysymyksiä voivat olla esimerkiksi raaka-aineiden ominaisuudet ja kulutus sekä vedenkulutus, energiankulutus ja vaikutus ilmastomuutokseen, stratosfääriin otsonikato, valokemi-

allinen otsoninmuodostuskyky, ilmaan joutuvista päästöistä aiheutuva happamoituminen, ilman hiukkaset (mukaan lukien mikrohiukkaset ja metallit), ilmaan tai veteen joutuvista päästöistä aiheutuva maaperän ja vesistöjen rehevöityminen, veden happikato, pysyvät/myrkylliset/biokertyvät aineet (mukaan lukien metallit), jäämien/jätteiden syntyminen, jäämien/jätteiden uudelleenkäyttö- tai kierrätysmahdollisuuksien rajoittaminen, melun ja/tai hajun tuottaminen ja lisääntynyt onnettomuusriski. Jos tekniikalla on merkittäviä kokonaisympäristövaikutuksia, taloudellisia ja kokonaisympäristövaikutuksia koskeva vertailuasiakirja tulee ottaa huomioon.

BAT-vertailuasiakirjojen tarkoituksena on edistää ympäristönsuojelua ja yhtenäistää ympäristölupakäytäntöjä EU:ssa. BREFien merkitys teollisuuden ympäristölupaharkinnassa korostuu teollisuuden päästöjä koskevan direktiivin (IE-direktiivi 2010/75/EU) myötä. Suurin osa BAT-vertailuasiakirjoista on ns. sektori-BREFejä, joita on teollisuuden toimialoille toimialakohtaisesti. Lisäksi on valmisteltu ns. horisontaali-BREFejä, jotka ovat yhteisiä useille toimialoille. (Syke 2022a)

BAT-päätelmät (BAT Conclusions, BATC) ovat BREFien tärkein osa, jossa esitetään päätelmät parhaista käytettävissä olevista tekniikoista, niiden kuvaus, tiedot niiden sovellettavuuden arvioimiseksi, parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan liittyvät päästötasot, siihen liittyvä tarkkailu ja kulutustasot ja tarvittaessa asiaankuuluvat laitoksen kunnostustoimet. (Syke 2022a)

Komissio on järjestänyt tietojenvaihdon perustamalla Euroopan IPPC-toimiston, jossa kootaan BAT-tietojenvaihdon tulokset ja järjestetään toimialoittaisten teknisten työryhmien (Technical Working Group, TWG) kokoukset. TWG-ryhmissä ovat edustettuina jäsenmaat, eurooppalaiset teollisuuden keskusjärjestöt sekä luonnonsuojelujärjestöt Euroopan ympäristötoimiston (European Environment Bureau, EEB) kautta. Mukana voi olla myös laitetoimittajia. BAT-vertailuasiakirjojen (BREF) valmistelussa TWG:llä on keskeinen rooli toimialan taustatiedon kokoamisessa ja sen arvioinnissa. Teknisten työryhmien lisäksi jäsenvaltioiden, kyseisen teollisuuden ja ympäristönsuojelua edistävien järjestöjen edustajista koostuva IE-direktiivin artiklan 13 mukainen foorumi seuraa BAT-tietojen vaihtoa yleisellä tasolla. (Syke 2022b)

IE-direktiivin myötä uutena toimielimenä Euroopan komissiota BAT-tietojenvaihdossa avustaa IE-direktiivin artiklan 75 mukainen komitea, jossa on vain jäsenmaiden edustus. BAT-vertailuasiakirjojen sisältämät BAT-päätelmät hyväksytään komiteamenettelyssä. Suomen ympäristökeskus koordinoi kansallista BAT-tietojenvaihtoa. Merkittävin osa BAT-tietojenvaihdosta tapahtuu teollisuuden ja viranomaisten yhteistyönä kansallisissa BAT-toimialaryhmissä, joita perustetaan resurssien mukaan. (Syke 2022b)

1.4 Tämän raportin hyödyntäminen lupamenettelyssä

Ympäristönsuojelulain 75 §:n mukaisesti direktiivilaitoksen päästöraja-arvojen, tarkkailun ja muiden lupamääräysten on parhaan käytettävissä olevan tekniikan vaatimuksen toteuttamiseksi perustuttava BAT-päätelmiin. Päästöille on ympäristöluvassa määrättävä päästöraja-arvot siten, että päätelmien päästötasoja ei ylitetä laitoksen normaaleissa toimintaolosuhteissa.

Jos päätelmissä ei ole ilmoitettu päästötasoja, luvassa on annettava tarpeelliset määräykset päätelmissä kuvattua parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa vastaavan ympäristönsuojelun tason saavuttamiseksi. Jos päätelmissä ei ole kuvattu laitoksella käytettävää tekniikkaa, parhaan käytettävissä olevan tekniikan arviointiin sovelletaan päästöraja-arvoja määrättäessä 53 §:ssä säädettyjä arviointiperusteita.

Tässä raportissa julkaistut tiedot tekniikoista ja päästötasoista ovat yksi tietolähde ympäristönsuojelulain 53 §:n mukaisen parhaan käytettävissä olevan tekniikan arvioinnissa puupohjaisia biotuotteita valmistavien tehtaiden ympäristölupaprosessissa, eivätkä esitetyt tiedot siten sido toiminnanharjoittajia tai lupaviranomaisia.

2 Puuraaka-aineeseen perustuva biotuotetoiminta

2.1 Biotuotetoiminnan luokittelua ja määritelmiä

Kirjallisuudessa biotuotetoiminta voidaan luokitella tekniikan, raaka-aineen tai pääkonversioprosessin perusteella seuraaviin kategorioihin: perinteinen biotuotelaitos, satoa hyödyntävä biotuotelaitos, edistynyt biotuotelaitos, vihreä biotuotelaitos, 1., 2. ja 3. sukupolven biotuotelaitos, lämpökemiallinen biotuotelaitos, lignoselluloosaa raaka-aineena käyttävä biotuotelaitos ja kaksi välituotetta käsittävä biotuotelaitos. Raaka-aineen perusteella biotuotelaitokset luokitellaan esimerkiksi maissipohjaisena, puupohjaisena, metsäpohjaisena, palmupohjaisena, leväpohjaisena biotuotelaitoksena jne. (IEA Task 42 ja Ng ym. 2017).

Kansainvälinen energiajärjestö IEA (International Energy Agency) luokittelee biotuotetoiminnan energiavetoiseen ja tuotevetoiseen kategoriaan:

1. Energiavetoinen biotuotelaitos, jonka päätavoitteena on biopolttoaineen/energian tuotanto.
2. Tuotevetoinen biotuotelaitos, jonka päätavoitteena on ruuan/rehun/kemikaalin/materiaalin tuottaminen.

Sivutuotteena syntyy usein lämpöä/energiaa, joita voidaan hyödyntää laitoksella tai myydä eteenpäin.

IEA Task 42:n luokittelu perustuu biomassasta tuotteeksi -ketjuun ja energiantuotantoon. Luokittelussa on erotettu mekaaninen esikäsittely (fraktiointi ja erottaminen), lämpökemiallinen konversio, kemiallinen konversio, entsyymaattinen konversio ja mikrobiologinen fermentaatio (sekä aerobinen että anaerobinen). Puupohjaisten raaka-aineiden lisäksi voidaan käyttää laajasti erilaisia materiaaleja.

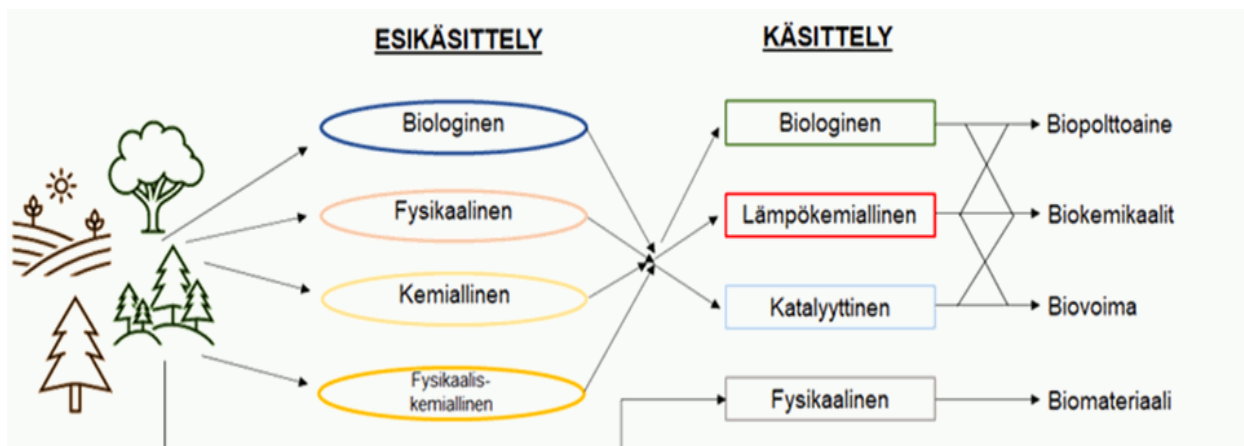
IEA määrittelee biotuotetoiminnan biomassan kestävästä jalostamisesta markkinoitaviksi biopohjaisiksi tuotteiksi, bioenergiaksi tai biopolttoaineiksi. Biomassavaroista voidaan tuottaa energiaa, lämpöä sekä biopolttoaineita samalla kun tuotetaan ruoan ja rehun raaka-aineita, lääkkeitä, kemikaaleja, materiaaleja ja lyhytsyklistä CO₂-päästöjä. (IEA Task 42). IEA Task 42 - työryhmän esittämä määritelmä (IEA Bioenergy, 2009) kattaa systeemit, jotka voivat olla olemassa käsitteenä, laitoksena, prosessina, tehtaana tai laitosten ryhmänä (ns. klusterina). Biotuotelaitos voi olla integroitu alku-, keski- ja loppupään materiaalivirtaan.

IEA Task 42 -työryhmä on kehittänyt edelleen biopolttoaineiden tehokkaaseen tuotantoon perustuvaa luokitusta, jolla pyritään lisäämään biopolttoaineiden käyttöä kuljetusalalla. Luokitus tunnistaa ja kuvaa biotuotetoimintaa. Taulukossa 2 on esitetty luokitteluperusteet, jotka koostuvat neljästä osa-alueesta: tuoteperusteinen, raaka-aineperusteinen, prosessiperusteinen ja välituoteperusteinen. (IEA Task 42)

Taulukko 2. Biotuotetoiminnan luokittelu neljään osa-alueeseen: tuoteperusteinen, raaka-aineperusteinen, prosessiperusteinen ja välituoteperusteinen (IEA Task 42). IEA Task 42 työryhmän raaka-aineperusteiseen kategoriaan on lisätty metsäbiomassa, joka on hankkeen kannalta olennainen raaka-ainelähde.

Luokitteluperuste	Määritelmä	Esimerkki
tuoteperusteinen	energia	bioetanoli, biodiesel, synteettinen biopolttoaine
	tuotteet	kemikaalit, materiaalit, ruoka, rehu
raaka-aineperusteinen	energiaruoko	tärkkelysviljelykasvit, lyhytkiertoinen metsätalous
	biomassajäämä	olki, kuori ja metsätaloushakkeet, jäterasvat, maatalouden tähteet
	metsäbiomassa	pyöreä puu, puubiomassa
prosessiperusteinen	biokemiallinen	fermentaatio, entsyymaattinen konversio
	termokemiallinen	kaasutus, pyrolyysi
	kemiallinen	hapotus, synteesi, esteröinti
	mekaaninen	fraktiointi, puristus, koon pienentäminen
välituoteperusteinen	välituote, joka yhdistää prosessin tai systeemin	C5/C6-sokerit, synteetikaasu, biokaasu

Biomassalle pitää yleensä tehdä joko 1) biologinen, 2) fysikaalinen, 3) kemiallinen tai 4) fysikaaliskemiallinen esikäsittely ennen kuin massa johdetaan varsinaiseen käsittelyyn. Esikäsittelyllä varmistetaan, että biomassan partikkelikoko, kosteuspitoisuus ja ligniinin poisto ovat tasolla, jolloin saanto pysyy haluttuna. Varsinaiset menetelmät, joissa biomassaa muutetaan halutuksi tuotteeksi, voidaan jakaa neljään kategoriaan 1) biologinen (fermentaatio tai mädättäminen), 2) lämpökemiallinen (poltto, kaasutus, pyrolyysi, Fischer-Tropsch, metanolisynteesi, bioöljyn parannus), 3) fysikaalinen ja 4) katalyyttinen menetelmä (voi olla yhdistettynä muihin menetelmiin). Kuva 1 kuvaa biomassan esikäsittely- ja käsittelymenetelmät biotuotetehtaalla.

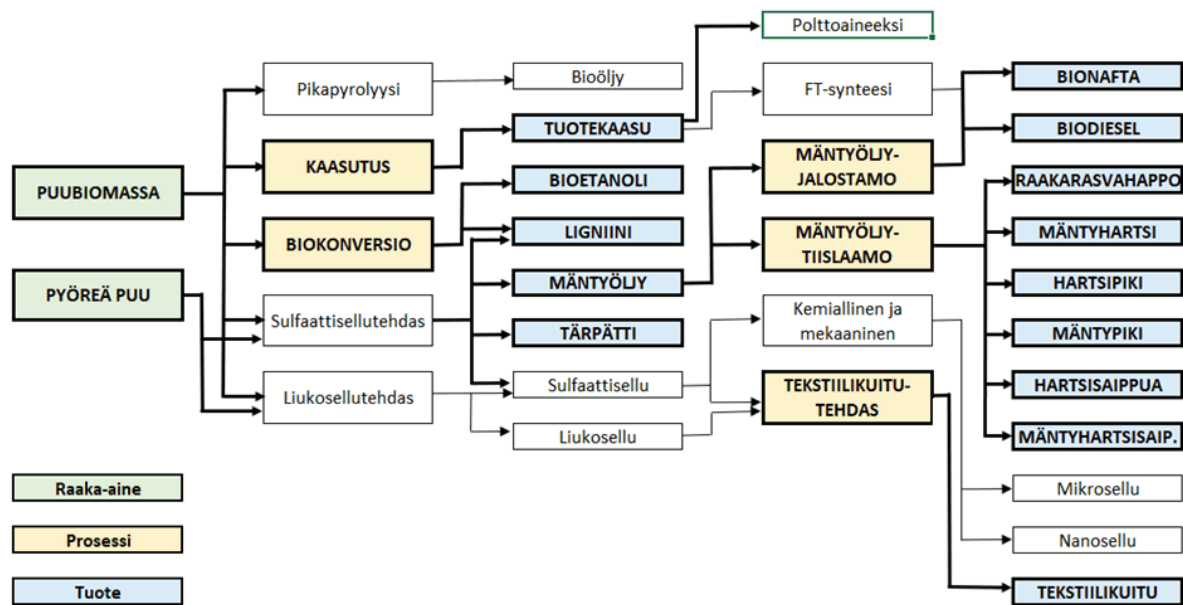


Kuva 1. Biomassan esikäsittely ja käsittelymenetelmät biotuotetehtailla. Mukailten Ng ym. (2017).

Temmes ja Peck (2020) ovat tutkineet 22 suomalaisen ja ruotsalaisen biotuotelaitoshankkeen sopivuutta bionalouden (bioeconomy, BE) ja kiertotalouden (circular economy, CE) käsitteet yhdistävän kiertobionalouden (circular bioeconomy, CBE) toimintaperiaatteisiin. Tutkimuksessa todettiin, että odotukset tuotteiden lisäarvon ja kestävyuden kasvusta toteutuivat harvoin. Vaikka CBE-kehys tarjoaa näkemyksiä, jotka voivat auttaa bionalousalaa kestävämmäksi, CE- ja BE- käytännöistä viestimisestä ja niiden soveltamisesta puuttuu yhdenmukaisuus ja johdonmukaisuus. Esimerkiksi termin ”biojalostamo” käyttö pääasiassa polttoainetta tuottaviin laitoksiin vaikuttaa Temmesin ja Peckin mielestä epäjohdonmukaiselta. Kiertotalousasioihin oli otettu vielä kriittisempi kanta, koska nykyiset biotuotelaitoshankkeet kattavat vain varhaiset vaiheet puun arvoketjuissa. Tämänhetkisten hankkeiden puutteista huolimatta kirjoittajat katsovat, että kiertotalouden periaatteiden tuonti biotuotelaitoksiin on kannattavaa. Materiaalitieteen kehittyminen eli se, että suuremmista biomassamääristä tuotetaan pidemmän käyttöiän tuotteita, tarjoaa todennäköisesti mahdollisuuksia yhdistää suuremmat materiaalivirrat.

2.2 Biotuotelaitokset Suomessa

Kuvassa 2 on esitetty karkea jaottelu biotuotelaitosten raaka-aineista, prosesseista ja tuotteista. Task 42 luokitteluperusteista poiketen kuvassa 2 biotuotetehtaita ei ole jaoteltu energia- ja tuotekategoriaan.



Kuva 2. Biotuotelaitosten raaka-aineet, prosessit, välituotteet ja tuotteet. Tässä hankkeessa tarkasteluun otetut tekniikat ja tuotteet on korostettu värikoodeilla.

Taulukkoon 3 on koottu Suomessa käynnissä ja suunnitteilla olevat puupohjaista raaka-ainetta hyödyntävät biotuotelaitoshankkeet. Vertailun vuoksi taulukkoon on valittu myös perinteisiä sellutehtaita sekä tehtaita, joiden pääprosessiin on integroitu uusia puuperäisen biomassan jalostustekniikoita. Hankkeet on jaoteltu pääprosessin mukaan. Hankkeet painottuvat selkeästi kolmeen kategoriaan: sellutehtaisiin, biokonversiolaitoksiin ja mäntyöljyä jalostaviin laitoksiin (joko tislamo tai jalostamo). Taulukossa 3 on esitetty myös samankaltaisia hankkeita Ruotsista, Kanadasta ja Yhdysvalloista.

Taulukko 3. Käynnissä ja suunnitteilla olevat puupohjaista raaka-ainetta hyödyntävät biotuotelaitoshankkeet ja laitokset Suomessa. Toiminnassa olevat laitokset on korostettu vihreällä värillä. Taulukossa on samankaltaisia hankkeita myös Ruotsista, Kanadasta ja Yhdysvalloista. Vertailun vuoksi taulukkoon on valittu myös perinteisiä sellutehtaita sekä tehtaita, joiden pääprosessiin on integroitu uusia puuperäisen biomassan jalostustekniikoita. Taulukon tiedot ovat julkisista asiakirjoista ja lähteistä paitsi asteriskilla merkityt tiedot, jotka ovat toiminnanharjoittajien ilmoittamia toteutuneita tuotantomääriä. Toteutuneet tuotantomäärät saattavat poiketa ympäristöluvassa ilmoitetuista arvoista.

Pääprosessi (integroidut prosessit)	Tuotteet	Tuotanto-kapasiteetti	Laitos	Hankkeen tilanne
Biokonversio	Bioetanoli (100 %) Ligniini Biokaasu (65 % CH ₄) Hiilidioksidi Tärpätti	50 000 t/a 70 000 t/a 22 000 t/a 47 000 t/a 500 t/a	BioEnergo Oy, Pori, Suomi	Ympäristölupa myönnetty 12/2021 (ESAVI/1641/2021)
Biokonversio	Bioetanoli Ligniini	- -	Furetän Oy, Kristiinankaupunki ja Salo, Suomi	Epäselvä, ei ole aloitettu YVA-vaihetta
Biokonversio	Bioetanoli (100 %) Ligniini Biokaasu Raakatärpätti Alkuainerikki	65 000 t/a 220 000–260 000 t/a 40–45 milj. m ³ n 800–1 400 t/a 1 200–1 600 t/a	Kanteleen Voima Oy, Haapavesi, Suomi	Ympäristölupa myönnetty 7/2020 (PSAVI/2770/2018)
Biokonversio	Bioetanoli (100 %) Ligniini (45–55 % ka) Tärpätti Biokaasu (50 % CH ₄)	8 000 t/a 30 000–36 000 t/a 190 t/a 1,1 milj. m ³ /a	St1 Biofuels Oy, Cellunolix, Kajaani, Suomi	Toiminnassa vuodesta 2017
Mäntyöljytislaamo	Raakatärpätti Raakarasvahappo Mäntyhartsi Hartsipiki Mäntypiki Hartsisaippua	4 100 t/a 103 500 t/a 53 000 t/a 25 000 t/a 33 000 t/a 44 000 t/a	Fintoil Hamina Oy, Hamina, Suomi	Ympäristölupa myönnetty 11/2020 (ESAVI/13144/2020) Laitoksen rakentaminen aloitettu 2021
Mäntyöljytislaamo	Hartsisaippua Mäntyhartsi Mäntypiki Mäntyrasvahappo Tislattu mäntyöljy	30 000 t/a (2015) 75 000 t/a (2015) - - 164 000 t/a (2017)	Forchem Oy, Rauma, Suomi	Toiminnassa vuodesta 2002
Mäntyöljytislaamo	Rasvahappo Mäntyhartsi Mäntyöljy Mäntypiki Hartsierit Hartsisaippua	56 000* t/a 40 000* t/a 13 000* t/a 51 000* t/a 20 000* t/a 10 000* t/a	Kraton Chemical Oy, Oulu, Suomi	Toimintaa jo vuodesta 1935
Mäntyöljytislaamo	Rasvahappo Mäntyhartsi Mäntyöljy Mäntypiki Hartsierit Esterin dispersiot	62 000* t/a 45 000* t/a 13 000* t/a 60 000* t/a 40 000* t/a 9 000* t/a	Kraton Chemicals, Sandarne, Ruotsi	Toimintaa 1930-luvulta
Mäntyöljytislaamo	Hartsijalosteet Mäntyöljytuotteet	180 000 t/a	SunPine, Piteå, Ruotsi	Toiminnassa: 1. prosessilinja vuodesta 2010, 2. prosessilinja vuodesta 2020
Biojalostamo (mäntyöljy)	Bionafta Biodiesel	130 000–180 000 t/a	UPM Lappeenrannan biojalostamo, Lappeenranta, Suomi	Toiminnassa vuodesta 2015
Biojalostamo (puubiomassan kaasutus)	Bionafta Biodiesel	70 000 t/a 155 000 t/a	Sunshine Kaidi New Energy Co. Oy, Kemi, Suomi	Ympäristölupa myönnetty 4/2018 (PSAVI/2560/2016), tilanteesta ei tietoa
Pikapyrolyysi	Bioöljy	24 000 t/a	GFN Lieksa Oy, Lieksa, Suomi	Toiminnassa vuodesta 2020

Pääprosessi (integroidut prosessit)	Tuotteet	Tuotanto-kapasiteetti	Laitos	Hankkeen tilanne
Liuko- ja sulfaattisellutehdas	Liukosellu Sulfaattisellu Mikrosellu Tärpätti	146 500 t/a 280 800 t/a 37 900 t/a 3 000 t/a	Vataset Teollisuus Oy (ent. Boreal Bioref), Kemijärvi, Suomi	Ympäristölu- pa myönnetty 6/2019 (PSA- VI/2468/2017), tilanteesta ei tietoa
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu Mäntyöljy Tärpätti	600 000 ADt/a 24 000 t/a 2 000 t/a	KaiCell Fibres Oy, Paltamo, Suomi	Ympäristölu- pa myönnetty 7/2020 (PSA- VI/5030/2018), valitettu ja käsi- teltävänä Vaasan hallinto-oikeudes- sa.
Sulfaattisellutehdas (kuoren kaasutus)	Sulfaattisellu Tärpätti Mäntyöljy	690 000 t/a (2020) 1 194 t/a (2020) 15 000 t/a (2020)	Metsä Fibre Oy, Jout- seno, Lappeenranta, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1907, uusittu 1998–2001
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu Mäntyöljy Tärpätti	650 000 t/a	Metsä Fibre Oy, Kemi, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1919, uusittu 1988–1990
Biotuotetehdas (kuoren kaasutus, rikki- happolaitos)	Sulfaattisellu (havu) Sulfaattisellu (koivu) Mäntyöljy Tärpätti Tuotekaasu (sivutuote) Rikkihappo (sivutuote)	1,18 milj. t/a 320 000 t/a 86 000 t/a 7 000 t/a 80 MW 16 000 t/a	Metsä Fibre Oy, Kemi, Suomi	Ympäristölu- pa myönnetty 12/2020 (PSA- VI/7988/2019), valitettu ja käsi- teltävänä Vaasan hallinto- oikeudessa. Laitos on rakenteilla ja arvioitu aloitusaika on syksy 2023.
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu (havu) Mäntyöljy Tärpätti	680 000 t/a	Metsä Fibre Oy, Rau- ma, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1996
Biotuotetehdas (kuoren kaasutus, rikki- happolaitos)	Sulfaattisellu (valk.) Mäntyöljy Tärpätti	1,3 milj. t/a	Metsä Fibre Oy, Ääne- koski, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 2017
Sulfaattisellutehdas (integraatti)	Sulfaattisellu (rusk.) Sulfaattisellu (valk.) Markkinasellu CTMP	180 000 t/a (2019) 814 000 t/a (2019) 105 000 t/a (2019) 131 000 t/a (2019)	Stora Enso Kaukopää ja Tainionkoski, Imatra, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1935
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu (ei valk.) CTMP	530 000 t/a 350 000 t/a	Stora Enso Oulu, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1937
Sulfaattisellutehdas (ligniinin talteenotto)	Sulfaattisellu Ligniini	380 000 ADt/a 50 000 t/a	Stora Enso Sunila, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1938
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu	550 000 t/a	Stora Enso Enocell, Uimaharju, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1967
Sulfaattisellutehdas (kaasutus)	Sulfaattisellu	310 000 t/a	Stora Enso Varkaus, Suomi	Toiminnassa vuo- desta
Sulfaattisellutehdas (integraatti)	Sulfaattisellu (valk.)	800 000 t/a	UPM Kaukas, Lap- peenranta, Suomi	Toiminnassa vuodesta 1898- 1971 (sulfiitti), 1964->(sulfaatti)
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu (valk.)	900 000 t/a	UPM Kymi, Kouvola, Suomi	Toiminnassa vuo- desta
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu	1,1 milj. t/a	UPM Pietarsaari, Suomi	Toiminnassa vuo- desta
Sellutehdas (integraatti)	Purusellu Kierrätyskuitu CTMP	180 000 t/a 55 000 t/a 240 000 t/a	Kotkamills Oy, Kotka, Suomi	Toiminnassa vuo- desta 1907

Pääprosessi (integroidut prosessit)	Tuotteet	Tuotanto-kapasiteetti	Laitos	Hankkeen tilanne
Flutingtehdas	Puolisellu	300 000 t/a	Stora Enso Heinolan flutingtehdas, Suomi	Toiminnassa vuodesta
Flutingtehdas	Puolisellu	314 000 t/a	Mondi Powerflute Oy, Kuopio, Suomi	Toiminnassa vuodesta 1968
Sulfaattisellutehdas	Sulfaattisellu Biometanoli	750 000 t/a 5000 t/a	Södra, Mönsterås Ruotsi	Toiminnassa vuodesta 2019
Sulfaattisellutehdas (mäntyöljy)	Sulfaattisellu Mäntyöljy	600 000 t/a 3700 t/a	Alberta Pacific Forest Industries, Alberta, Kanada	Toiminnassa vuodesta 2017
Sulfaattisellutehdas (ligniinin talteenotto)	Sulfaattisellu Ligniini	466 000 t/a 25 000 t/a	Domtar's Plymouth, Pohjois-Carolina, Yhdysvallat	Toiminnassa vuodesta 2013
Sulfiittisellutehdas (biokonversio, ligniinin talteenotto)	Sulfiittisellu Lignosulfonaatti Bioetanoli	230 000 t/a 75 000 t/a 17 000 t/a	Domsjö Fabriker AB, Örnsköldsvik, Ruotsi	Toiminnassa vuodesta 2014

Finnpulp Oy:n Kuopion biotuotetehtaan ympäristölupa (ISAVI 14/2017/1) kumottiin korkeimmassa hallinto-oikeudessa joulukuussa 2019 ja tätä koskeva valitus hylättiin tammikuussa 2022.

2.3 Raporttiin valitut case-esimerkit

Tämän selvityksen tavoitteena on keskittyä uusiin tehdashankkeisiin, joten tässä raportissa ei ole kuvattu perinteisten sellutehtaiden tuotantotekniikoita. Perinteiset tekniikat tunnetaan varsin hyvin ja toimiala on kuvattu PP BREF-vertailuasiakirjassa vuodelta 2014. Tässä selvityksessä on keskitytty kahteen perinteiseen sellutehtaaseen integroituun prosessiin: ligniinin talteenottoon ja kuoren kaa-sutukseen. Tekniikoiden käyttöönoton ajavana voimana on fossiilisten polttoaineiden korvaaminen bioenergialla (kaasutus) ja jalostusarvon nostaminen (ligniinin talteenotto ja sen jatkojalostus tuotteiksi). Ligniiniä voidaan käyttää myös meesauunin polttoaineena ja näin korvata fossiilisia polttoaineita. Mäntyöljytislaamot ovat verrattain vanhaa tekniikkaa, mutta tähän toimialaan soveltuvaa BREFiä tai BATia ei ole julkaistu. Biopolttoaineiden valmistus, joko mäntyöljystä tai biokonversioprosessilla, on valittu lähempään tarkasteluun.

3 Tekniikat

3.1 Yleistä

Tekniikan kuvaukset on jaoteltu sulfaattisellutehtaaseen integroituihin ja itsenäisesti toimiviin prosesseihin. Ligniinin talteenotto LignoBoost-tekniikalla ja kuoren kaasutus case-esimerkein käsitellään sulfaattisellutehtaaseen integroituina prosesseina. Rikkihapon valmistus on myös sellutehtaisiin integroitu tekniikka, mutta se käsitellään erillisenä. Mäntyöljyn jalostus, biokonversio, tekstiilikuidun valmistus, membraanitekniikka ja vihreän vedyn valmistus käsitellään itsenäisinä prosesseina. Saavutettuja ympäristöhyötyjä ja kokonaisympäristövaikutuksia käsitellään siinä laajuudessa kuin niistä on saatavilla kirjallisuudessa tietoa.

3.2 Sulfaattisellutehtaaseen integroidut prosessit

Tässä kappaleessa käsitellään case-esimerkkejä, jotka ovat sellutehtaaseen integroituja prosesseja. Kuoren kaasutus voi toimia myös itsenäisenä prosessina, mutta tässä raportissa sitä tarkastellaan sellutehtaaseen integroituna prosessina. Muut prosessit käsitellään itsenäisinä. Mäntyöljyjalostamo ja -tislamo voivat hyödyntää esimerkiksi sellutehtaan infrastruktuuria, mutta näiden laitosten ei ole välttämätöntä sijaita sellutehtaan yhteydessä.

3.2.1 Ligniinin talteenotto

Ligniini on kolmiulotteinen erittäin haarautunut polymeeri, joka koostuu fenyylipropaani- yksiköistä, jotka ovat kiinnittyneet alkyyliryylieetterisidoksilla toisiinsa (Ashok ym. 2019). Puu ja muut orgaaniset putkikasvit voivat sisältää jopa 20–35 % ligniiniä. Ligniini onkin yksi yleisimmistä biopolymeereistä. Ligniinin ominaisuudet vaihtelevat sen mukaan, mistä kasvista ligniini on peräisin. Esimerkiksi havupuun ligniini sisältää yli 95 % havupuualkoholeja lopun koostuessa p-kumaryylialkoholityyppisistä yksiköistä ja vähäisistä määristä sinapyylialkoholijohdannaisia. Lehtipuun (englannin kielessä käytetään nimitystä "hardwood") ligniinejä kutsutaan myös guajasyyli-syringyyli-ligniineiksi, ja ne koostuvat vaihtelevissa suhteissa havu- ja sinapyylialkoholin johdannaisista yksiköistä.

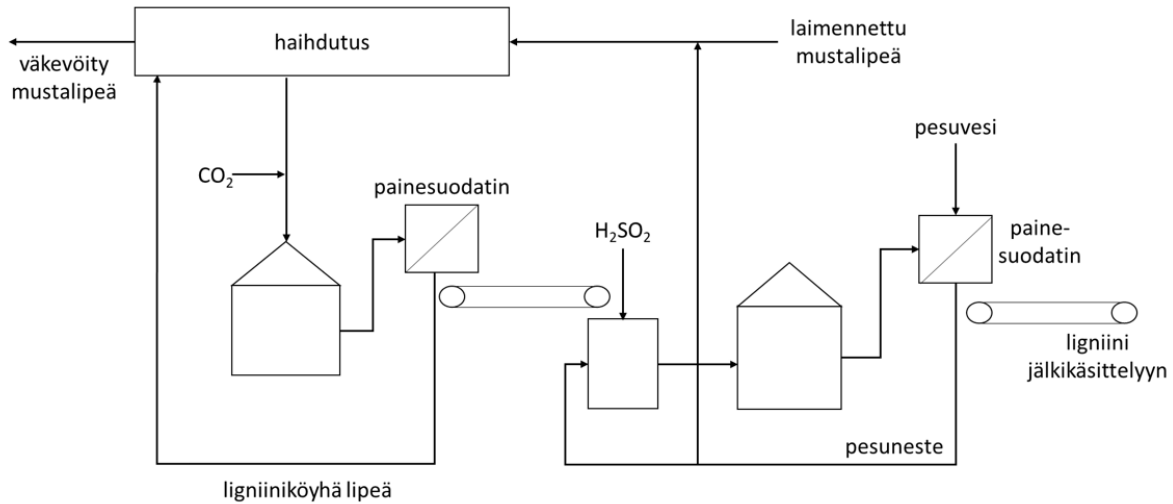
Ligniinin saannon havupuusta on havaittu olevan korkeampi kuin lehtipuusta riippumatta keittoliuoksen pH:sta tai massan valmistuksen intensiteetistä (Jardim ym. 2022). Lisäksi hiilivetykontaminaation havaittiin olevan havupuulla alempi. Eri lehtipuulajien ligniinisäonnossa todettiin rakenteesta johtuvia eroja. Suomessa ligniiniä on erotettu toistaiseksi vain havupuuta käyttävällä sellutehtaalla. Ligniinin talteenottoa käsitellään PP BREF-vertailuasiakirjassa Production of Pulp, Paper and Board.

3.2.1.1 LignoBoost- tekniikan kuvaus

LignoBoost on Valmetin teknologia, jolla voidaan ottaa talteen haihduttamon välilipeän sisältämä ligniini. (Oksanen, 2021; ESAVI/13/04/04.08/2014; Tomani, 2010). Välilipeän kuiva-ainepitoisuus on noin 40 %. Ligniinin talteenotto-prosessissa on neljä päävaihetta: 1) esikäsittely, 2) saostusvaihe, 3) hapotusvaihe ja 4) pesuvaihe. Menetelmällä tuotettua ligniiniä kutsutaan myös kraft-ligniiniksi.

Ligniinin saostuminen perustuu pH:n alenemiseen. Varsinainen saostus tehdään hiilidioksidilla (CO₂), jolloin kaasumainen hiilidioksidi johdetaan ligniinin saostuslaitokselle. Seoksen pH säädetään tasolle 10. Hiilidioksidin kulutus on noin 350 kg/t ligniiniä. (ESAVI/13/04/04). Lipeä vaahdotuu herkästi prosessin aikana, mutta vaahdon muodostumista voidaan hillitä vaahdonestoaineella. Hapotusvaiheessa pH säädetään rikkihapolla (H₂SO₄) tasolle 3–4, jolloin H₂SO₄ kulutus on noin 200 kg/t ligniiniä. Hapotuksessa voi

käyttää myös ClO₂-tehtaan jätehappoa. Saostunut ligniini pestään (hapan pesuvaihe, jonka tarkoituksena on poistaa natrium) ja suodatetaan pesupuristimella noin 65 % kuiva-ainepitoisuuteen. Lopuksi ligniini kuivataan kiertokaasukuivaimessa yli 95 % kuiva-ainetasoon. Kuivain on ring flash-tyyppinen, jossa ligniini syötetään kuumaan kiertokaasuun ja kosteus haihtuu kaasun mukana. Ligniiniä käytetään palautetaan takaisin lipeäkiertoon. LignoBoost-teknologia on osaltaan ratkaissut ligniinin suodattamiseen ja rikin erottamiseen liittyviä haasteita. LignoBoost-prosessi on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. LignoBoost-prosessikaavio. Mukailen Tomani (2010).

Taulukossa 4 on listattu LignoBoost-prosessilla tuotetun ligniinin ominaisuuksia. Kuivattu ligniini on pölymäistä keltaisen ruskeaa jauhetta. Tomanin mukaan kuiva ligniiniä jauhe koostuu pienistä partikkeleista ja on siten erittäin reaktiivista. Laitteistojen täytyy siis olla ATEX-luokiteltuja pölyräjähdysriskin minimoimiseksi (Tomani, 2010).

Taulukko 4. LignoBoost-prosessilla tuotetun kraft-ligniinin ominaisuuksia. (Berghel ym., 2013)

Ominaisuus	Yksikkö	Arvo
Lämpöarvo (HHV)	MJ/kg kuivaa kiintoainetta, tuhkaton	25–27
Kosteuspitoisuus	p. %	30–40 suoraan prosessista tai kuivataan alle 10 %:iin
Bulkkitiheys	kg/m ³	500 suoraan prosessista, 700 kuivana jauheena
Tuhkapitoisuus	p. %	0,2–1,4
Rikkipitoisuus	p. %, tuhkaton	2–3
Klooripitoisuus	p. %, tuhkaton	0,01
Natriumpitoisuus	g/kg tuhkaa	100–200
Kaliumpitoisuus	g/kg tuhkaa	10–100
Kalsiumpitoisuus	g/kg tuhkaa	1–100
pH	pH	2–4

3.2.1.2 Saavutetut ympäristöhyödyt

Ligniiniä voidaan käyttää esimerkiksi meesaunin polttoaineena korvaamaan fossiilisia polttoaineita (Oksanen, 2021; ESAVI/13/04/04.08/2014), minkä vuoksi voidaan puhua fossiilivapaasta sellutehtaasta. Tällöin LignoBoost-tekniikan suora saavutettu ympäristöhyöty on fossiilisten polttoaineiden korvaaminen meesauneilla (eli laitoksen fossiilisen hiilidioksidin vähenemä). Meesaunin osuus fossiilisen hiilidioksidin päästönä on ollut merkittävä - noin 85 % ja yhteensä 42 600 t esimerkklaitoksen päästöraportoinnin mukaan, joten voidaan puhua fossiilittomasta sellutehtaasta.

Perinteisessä selluteollisuudessa ligniini on poltettu soodakattilassa höyryn ja sähkön tuottamiseksi, mutta ligniinin ominaisuuksista johtuen siitä voi myös jatkojalostaa hiiltä pitkäksi aikaa sitovia tuotteita korvaamaan fossiilisesta raaka-aineesta valmistettuja tuotteita. Ligniinillä on myös muita käyttökohteita, joissa sillä voidaan korvata fossiilisia materiaaleja esimerkiksi autoteollisuudessa, rakennusteollisuudessa, erilaisissa päällysteissä, väreissä, liimateollisuuden tuotteissa sekä lääkkeissä. Tärkeimpänä käyttökohteena voidaan mainita fenolihartsien korvaaminen mekaanisen metsäteollisuuden tuotteissa, paperin laminoinnissa ja eristeissä. Tulevia todennäköisiä käyttökohteita ligniinille voi olla käyttö mm. akkumateriaalina. Sellutehtaan tuotteiden monipuolistaminen on yleensä hyvä strategia parantaa tehtaan taloudellista tehokkuutta.

Esimerkkinä teollisessa mittakaavassa toimivasta ligniinin talteenotto linjasta on Stora Enso Sunilan sellutehtaalla oleva LignoBoost-linja, jolla voidaan ottaa talteen osa haihduttamon välilipeän ligniinistä. LignoBoost-menetelmän lisäksi on tutkittu myös muita menetelmiä ligniinin talteen ottamiseksi, mutta tällä hetkellä LignoBoost on suurin teollisessa mittakaavassa toimiva prosessi.

3.2.1.3 Kokonaisympäristövaikutukset

Tehtaan sisäisesti voidaan tarkastella energiatasetta sekä rikkitasetta, koska prosessissa käytetään rikkihappoa. Poistetun ligniinin määrä vaikuttaa tehtaan energiataseeseen ja mustalipeän ominaisuuksiin. Ligniinin laatu vaikuttaa myös sen loppukäyttömahdollisuuksiin.

LignoBoost-prosessissa käytetään rikkihappoa ja suurin osa rikkihaposta palautetaan takaisin prosessiin pesuveden ja kaasujen mukana (Valmet, 2021). Tämä voi lisätä tehtaan rikkimäärää ja saattaa edellyttää rikin poistoa tehtaan kemikaalikierrosta. Yksi tapa poistaa rikkiä on sähkösuodattimien tuhkan poisto. Rikin lisäksi tuhka sisältää myös natriumia, joten tuhkan poisto johtaa natriumhäviöihin. Häviön voi korvata lisäämällä natriumin määrää, mutta tämä voi kasvattaa tuotantokustannuksia.

Rikkitasetta voi hallita rakentamalla rikkihappolaitoksen tehtaan yhteyteen, jota voidaan ajaa silloin kun prosessissa tarvitaan rikinpoistoa. Tuotettua rikkihappoa voi vastaavasti käyttää tehtaalla tai esimerkiksi myydä eteenpäin. Toinen vaihtoehto rikkimäärän hallitsemiseen on glaubersuolan käyttö. Tällöin ylimääräinen rikki poistetaan liuottamalla soodakattilan savukaasuista erotettua glaubersuolaa jäteveden joukkoon. Kolmas vaihtoehto on lisätä natriumbisufiitin ulosottoa hajukaasukattilan pesurilta. Soodakattilan suolojen poistotarve on enintään 9 kg suolaa/sellutonni, mikä taas lisää NaOHin ostotarvetta noin 4,3 kg/sellutonni.

Ligniinin poltto lisää meesauunin ilmaan johdettavien rikkipäästöjen määrää, sillä ligniini sisältää noin 2–3 % märkäpainosta rikkiä, jota meesauuneissa käytetty maakaasu ei sisällä. Vaikutus on havaittavissa, kun 90 % polttoaine-energiasta korvataan ligniinillä. Ligniinin sisältämä typen määrä on 0,1 %, jolloin sen vaikutus typenoksidien määrään on vähäinen.

Ligniinin kuivausprosessissa voidaan hyödyntää meesauunin savukaasuja (otetaan pesurin jälkeen) hapen syrjäyttämiseksi ja otettu savukaasuvirta on noin 2 %. Kuivauksessa poistuva kaasu johdetaan takaisin meesauunin piippuun lauhdutuksen jälkeen ja syntyvä lauhde palautetaan tehtaan raakaveden joukkoon. Meesauunin VOC-päästöt kasvat arviolta 5 t/a, koska kuivauksessa muodostuvat kaasut johdetaan meesauunin savukaasuihin. Vastaavasti soodakattilan päästöjenhallinnan tulisi helpottua ja typenoksidipäästöt vähentyä, sillä polttoaineen sisältämä typpimäärä pienenee. Soodakattilan rikkidioksidipäästöt voivat kasvaa, koska soodakattilan polttolämpötila laskee.

Kokonaisuudessaan ligniinin talteenotto lisää tehtaan kemikaalikuormaa seuraavasti: 10 000 t H₂SO₄/a, 17 500 t CO₂/a ja rikki-natriumtaseen hallintaan 1 600 t NaOH/a. Kun tarkastellaan tuotteen koko elinkaarta, voidaan yleisesti todeta, että fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen uusiutuvalla ligniinillä voi pienentää tuotteen hiilijalanjälkeä.

Useimmilla sellutehtailla voitaisiin ottaa talteen noin 25 % ligniinistä ilman, että tehtaalla olevia laitteita tarvitsee muokata. Stora Enso Sunilan tehdas on suunniteltu tuottamaan 50 000 tonnia ligniiniä vuodessa. Ligniiniä voidaan haihduttaa kuten tavallinen mustalipeä, ja jos selluntuotanto kasvaa ja tehtaan energiankulutus pienenee, voidaan poistaa jopa 70 % ligniinistä.

3.2.1.4 Ligniinin talteenotto -esimerkkilaitoksia

LignoBoost-prosesessissa ligniini erotetaan mustalipeästä (Stora Enso Sunilan tehdas, Suomi). Tämä tekniikka on kaupallisessa käytössä myös Domtarin tehtaalla Plymouthissa Yhdysvalloissa (Valmet, 2022). Lisäksi demonstraatiolaitoksia on RISE LignoDemo AB:llä Bäckhammarin sellu- ja paperitehtaalla Ruotsissa sekä Klabinilla Brasiliassa. Muita nimettyjä prosesseja ovat Ecolig (Suzano, Brasilia) ja LignoForce (Hintonin tehdas, West Fraser, Kanada). Muita ligniinin erotusta toteuttavia laitoksia on listattu Torresin ym. (2020) artikkelissa. Kohteet on jaoteltu tuotetun ligniinityypin mukaan. Artikkelin mukaan maailmalla yleisimmin tuotettu ligniinityppi on lignosulfonaatti (LS) ja seuraavaksi yleisin on Suomessakin tuotettu kraft-ligniini (KL). Lignosulfonaatin valmistuksen yleisyyden suhteessa kraft-ligniinin tuotantoon nähtiin johtuvan kraft-ligniinin korkeammasta rikkipitoisuudesta ja stabiileista hiilidoksista, jotka tekevät sen vaikeaksi prosessoida.

3.2.1.5 Prosessikehitys kohti mäntyöljyligniinin tuotantoa

Diaz-Baca ja Fatehi (2021) ovat tutkineet mäntyöljyligniinin (Tall oil lignin, TOL) tuotantoa LignoTall-prosessilla. Julkaisu on ensimmäinen, jossa on esitelty LignoTall-prosessi ja prosessilla tuotetun ligniinin ominaisuuksia yksityiskohtaisemmin. Lopuksi kirjoittajat ovat verranneet TOL-ligniinin ominaisuuksia LignoForce-menetelmällä tuotetun KL-ligniinin (kraft lignin, kraft-ligniini) ominaisuuksiin.

LignoTall-menetelmän raaka-aineena käytetään mäntyöljysaippuaa (tall oil soap, TOS). Ensiksi 70 °C:een mäntyöljysaippuaan lisätään rikkihappoa ja seosta sekoitetaan. Tämän jälkeen seoksesta erotetaan kolme eri faasia: 1) mäntyöljyfaasi (päällimmäinen), 2) ligniinipitoinen faasi(keskimmäinen) ja 3) käytetty vesifaasi (pohja). Mäntyöljyfaasi sisältää enää häviävän pienen määrän ligniiniä. Ligniinpitoinen faasi jäähdytetään, lisätään etanolia ja annetaan seoksen laskeutua yön yli. Pinnalle kerääntynyt kirkas liuos kerätään talteen ja pohjalle jäänyt saostuma käsitellään vielä kolme kertaa etanolilla, jotta kaikki ligniini on saatu talteen etanoliin. Tämän jälkeen ligniini uutetaan talteen tislamalla etanolia haihduttamalla 40 °C:ssa. Sakka kuivataan, jotta viimeiset liuotinjäämät haihtuvat. Lopuksi kuivattu sakka käsitellään heksaanilla mäntyöljyjäämien poistamiseksi ja mahdollisimman puhtaan ligniinin saamiseksi. TOL-partikkelit laskeutuvat heksaaniliuoksen pohjalle ja ne kuivataan. Taulukossa 5 on verrattu mäntyöljyligniinin ja kraft-ligniinin ominaisuuksia.

Taulukko 5. Mäntyöljyligniinin ja kraft-ligniinin ominaisuuksia. (Diaz-Baca ja Fatehi, 2021).

Näyte	C, %	H, %	N, %	S, %	O, %	O/C-suhde	H/C-suhde	HHV, MJ/kg	Tuhka, %
KL	64,4 ±0,1	6,9 ±0,1	0,0 ±0,1	3,4 ±0,1	25,3 ±0,1	0,3	1,3	27,5	1,1
TOL	53,7 ±0,9	4,8 ±0,1	0,1 ±0,1	7,3 ±2,6	34,1 ±3,4	0,47	1,1	19,6	2,6

Mäntyöljyligniinin happi- ja rikkipitoisuudet ovat korkeammat verrattuna kraft-ligniiniin. Lisäksi mäntyöljyligniinissä on enemmän karboksyyli-OH-ryhmiä (0,56) ja sen moolipaino ($2,905 \pm 0,064 \cdot 10^5$ g/mol) on korkeampi verrattuna kraft-ligniiniin vastaaviin ominaisuuksiin (0,33 ja $1,509 \pm 0,013 \cdot 10^5$ g/mol). Näiden ominaisuuksien vuoksi mäntyöljyligniini voi olla hyvä vaihtoehto kumin lisäaineena tai epoksihartsin vahvisteena. Tulokset myös osoittivat mahdolliseksi uuden ligniini johdannaisen kehittämisen tällä menetelmällä sulfaattisellun valmistuksen yhteydessä. Menetelmää on tutkittu varsin vähän, joten sen kaupallista potentiaalia ja etenemistä teollisen mittakaavan tuotantoon on hankala arvioida.

3.2.2 Kuoren kaasutus

3.2.2.1 Kaasutuksen kuvaus

Biomassan, esimerkiksi kuoren, kaasutuksessa kiinteä polttoaine muunnetaan kaasuksi, jota kutsutaan usein tuotekaasuksi. Kaasutus eroaa perinteisestä polttamisesta siinä, että polttamisessa on tavoitteena käyttää poltettava materiaali kokonaan. Kaasutusprosessi koostuu neljästä endo- ja eksotermisestä askeleesta: 1) kuivaus (endoterminen), 2) pyrolyysi (endoterminen), 3) hapetus (eksoterminen) ja 4) pelkistys (endoterminen). Todellisuudessa nämä neljä eri vaihetta eivät välttämättä erotu kovin selkeästi, vaan ne voivat tapahtua limittäin. Kaasutusprosessissa tarvittava lämpö voidaan tuottaa autotermisesti eksotermisillä palamisreaktioilla tai allotermisesti ulkoisia lähteitä hyödyntämällä. Kuoren kaasutusta käsitellään PP BREF-vertailuasiakirjassa Production of Pulp, Paper and Board.

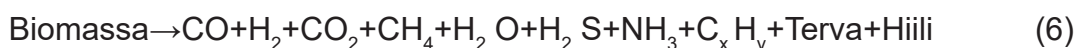
Pyrolyysia voidaan hyödyntää myös puuhiilen valmistuksessa. Tällöin kiintoainetta lämmitetään matalalla lämpötilalla ja hitaalla nopeudella. Prosessi vaatii matalaa lämpötilaa ja useita hitaita reaktioita, jotta voidaan maksimoida hiilen saanto. Korkeaa lämmitysnopeutta käytetään silloin, kun halutaan maksimoida kaasun tai nesteen saanto.

Kaasutus ja pyrolyysi ovat osittaisia palamisreaktioita, jossa tuoteseoksen koostumusta (kaasu, neste ja kiintoaine) voidaan kontrolloida lämpötilan, partikkelikoon, paineen ja reaktioilman koostumuksen avulla. Kaasutus tapahtuu korkeassa lämpötilassa, jossa kiinteä aine reagoi höyryn, hiilidioksidin, ilman tai hapen kanssa hapettomassa tilassa tuottaen kaasuseoksen, joka sisältää vetykaasua ja hiilimonoksidia. Tärkeimmät kaasutusreaktiot voidaan kuvata yhtälöillä (1) – (5). (Molino ym. 2018).



Biomassan pyrolyysi tarkoittaa biomassan kuumentamista inertissä ilmakehässä, joka tuottaa kaasumaisia tuotteita (pääasiassa hiilidioksidia, vetykaasua, hiilimonoksidia, metaania, C_2H_2 , C_2H_6 , bentseeniä jne.), nestemäisiä tuotteita (tervaa, korkeamolekyylisiä hiilivetyjä ja vettä) sekä kiinteää hiiltä. Lämmitysnopeutta ja lämpötilaa muuttamalla voidaan muuttaa missä suhteessa muodostuu kaasua, nestettä ja kiintoainetta.

Kaasuttimessa tapahtuvien reaktioiden lopputuloksena syntyy tuotekaasua, joka sisältää aktiivisina komponentteina häkää, vetyä, metaania sekä muita hiilivetyjä (tervoja). Häkä ja vety ovat avainasemassa erilaisten kemikaalien ja polttoaineiden valmistuksessa, kun taas hiilet ja tervat aiheuttavat ongelmia seuraavissa prosessivaiheissa ja ne täytyy poistaa. Yksinkertaistettu kaasutusreaktio voidaan kuvata yhtälön (6) mukaisesti.



3.2.2.2 Saavutetut ympäristöhyödyt

Kaasutuskaasun käytön etuina on, että fossiilista polttoainetta voidaan korvata uusiutuvalla polttoaineella, jolloin fossiiliset CO_2 -päästöt vähenevät. Tämä mahdollistaa fossiilivapaalla polttoaineella ylläpidetyn sellutehtaan. Myös SO_2 -päästöt vähenevät, jos tuotekaasulla korvataan rikkipitoista raskasta polttoöljyä. Kaasutuksen myötä kuori hyödynnetään tehtaalla, joten ylimääräinen kuoren kuljetustarve poistuu. Kuoren kaasutuksessa saavutetaan parempi energiahyötysuhde kuin kuoren suorapoltossa.

3.2.2.3 Kokonaisympäristövaikutukset

Meesauunissa vaadittava polttoaineen adiabaattinen palamislämpötila on oltava vähintään 1750–1900 °C, jotta kemialliset reaktiot tapahtuvat. Kuoresta kaasutetun tuotekaasun adiabaattinen palamislämpötila on pienempi kuin esimerkiksi polttoöljyllä (noin 2100 °C). Kalkin ja liekin lämpötilaero on pienempi tuotekaasulla kuin polttoöljyllä, joten meesauunin ominaislämmönkulutus on vastaavasti korkeampi tuotekaasulla kuin fossiilisella polttoaineella. Tämän johdosta savukaasumäärät kasvavat ja uunin tuotantokapasiteetti saattaa pienentyä. Vanhoissa meesauuneissa sähkösuotimen kapasiteetti saattaa jäädä liian pieneksi. Tuotekaasun mukana meesauuniin pääsee kuoresta peräisin olevia vierasaineita (non-process elements), joista kalkkikierron kannalta haitallisimpia ovat Si, P ja Mg. Kalkkikierron avaamistarve kasvaa noin 5–10 % kuoren kaasutuksen takia (CaO). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että meesauunin lentotuhkaa (meesapölyä) pitää poistaa enemmän kuin raskaalla polttoöljyllä tai maakaasulla. Meesapöly voidaan kuitenkin hyödyntää lannoiteteollisuudessa ja maanparannusaineena.

Menetelmä vaatii kuitenkin enemmän prosessitekniisiä ratkaisuja kuin esimerkiksi kuoren suorapoltto tai muut polttoaineratkaisut. Meesauunin tyypipäästöt kasvavat, kun siirrytään tuotekaasun käyttöön, sillä suomalaisten puiden (mänty, kuusi ja koivu) kuoren tyypipitoisuus on tyypillisesti noin 0,3–0,8 p-% kuiva-aineesta (raskas polttoöljy 0,4–0,6 p-%) ja tuotekaasun lämpöarvo (4–9 MJ/nm³) on noin puolet kuin raskaan polttoöljyn lämpöarvosta (noin 40 MJ/kg). Runsaasti typpeä sisältävien kaasujen lopullisiin typenoksidipäästöihin voidaan vaikuttaa polttoteknisin keinoin.

3.2.2.4 Kaasutuskaasu meesauunin polttoaineena Metsä Fibren laitoksilla

Meesauunissa voidaan käyttää nestemäisiä, kiinteitä tai kaasumaisia polttoaineita, kuten esimerkiksi raskaasta polttoöljyä, maakaasua, kuivattua ligniiniä, puruöljyä tai -pellettiä, mänty- ja pikiöljyä sekä biomassasta valmistettua tuotekaasua. Lisäksi meesauunilla voidaan polttaa väkeviä hajukaasuja, sellutehtaalla nesteytettyä metanolia ja tärpättiä sekä vetyä, jos sellutehdas sijaitsee kloorialkalitehtaan vieressä. Polttoaineiden riittävyys, kemiallinen koostumus sekä lämpöarvo vaihtelevat.

Kaasutuskaasun valmistuksessa käytetään sellutehtaalla saatavilla olevia biomassoja, joita ovat tyypillisesti raaka-ainepuun kuori sekä keittihakkeen seulonnasta saatava seulontapuru. Kaasutusprosessi koostuu kuivauksesta, kuivatun polttoaineen kaasutuksesta ja kaasutuskaasun käytöstä meesauunin polttoaineena.

Kuoren kosteus pitää olla alhaisempi kuin 10 %, koska vain kuivasta polttoaineesta syntyy meesauunikäyttöön riittävän kuuma kaasuliekki. Kuoren kuivauksessa voidaan tarpeen mukaan hyödyntää sellutehtaan sekundäärisiä lämpövirtoja. Kuivauksen jälkeen hiilipitoinen kuori muutetaan ilmakaasutteisesa kiertopetikaasuttimessa (CFB-kaasutin, Circulating Fluidized Bed) tuotekaasuksi alistoikiometrisessä olosuhteissa eli hapetta on käytettävissä vähemmän kuin täydellinen palaminen edellyttäisi ja korkeassa lämpötilassa (700–900 °C). Kiertopetikaasutin on hyvin sovellettavissa tähän kokoluokkaan, koska sillä on hyvä käytettävyyden ja säädettävyyden sekä tekniikka on yksinkertaista.

Kaasuttimen lämpötilaa pitää yllä kuoren osittainen palaminen. Kaasuttimen pohjalle syötetään arinan läpi esilämmitetty leijutusilma (100–300 °C), jolla kaasuttimen sisällä oleva petimateriaali saadaan leijumaan ja polttoaine syötetään tähän leijuvaan materiaaliin. Petimateriaalia (kalkkikiveä) lisätään jatkuvasti pieniä määriä, mikä auttaa huuhtelevaan leijumattomat suurikokoiset partikkelit ulos kaasuttimesta ja siten pitämään prosessin käynnissä. Leijupedin tehtävänä on sekoittaa kaasutusprosessin eri vaiheissa olevat polttoainehiukkaset petimateriaalin ja kaasutusilman kanssa. Tuotekaasusta johdetaan syklooniin, jossa siitä erotetaan karkea kiintoaine, joka voidaan kierrättää takaisin kaasutusreaktoriin. Jäähdytetty tuotekaasu (500–600 °C, lämpöarvo 4–9 MJ/nm³) johdetaan sitten tuotekaasuputkea pitkin meesauunin polttimelle. Tuotekaasua ei varastoida ja kaasun poltoteho riippuu suoraan kaasuttimen tuotannosta. Kaa-

suttimen pohjalta poistetaan pohjatuhkaa, joka sisältää petimateriaalia, polttoaineen tuhkaa sekä polttoaineen mukana prosessiin joutuneita kiviä, maa-ainesta yms. Esimerkkilaitoksia Suomessa on Metsä Fibre Oy Joutsenon sellutehdas, jossa tekniikka integroitiin olemassa olevaan sellutehtaaseen vuonna 2012. Metsä Fibre Oy:n Äänekosken biotuotetehtaalla tekniikka on ollut käytössä tehtaan käynnistymisestä alkaen vuodesta 2017. Lisäksi Stora Enson Varkauden tehtaalla on käytössä kaasutustekniikka ja syntynyttä tuotekaasua käytetään meesauunin polttoaineena.

3.2.2.5 Kaasutuskaasu meesauunin polttoaineena Stora Enson Varkauden tehtaalla

Stora Enson Varkauden sellutehtaalla aloitettiin kaasuttimen koekäyttö vuonna 2009 ja jatkuvaan käyttöön siirryttiin vuoden 2012 alusta (ISAVI/4379/2014). Varkauden tehtaalla raaka-aine on laajakirjoisempi kuin Metsä Fibren laitoksilla, sillä Varkaudessa käytetään purua, metsätähteitä ym. puuperäisiä kierrätysjakeita sekä jätevesilietettä, joka kuivataan ennen kaasutinta. Biomassa kuivataan 85 % kuiva-ainepitoisuuteen maksimissaan 100–120 °C:n lämpötilassa ennen kuin se syötetään kaasuttimelle. Kaasutin on kiertopetikaasutin, joka toimii 700–900°C lämpötilassa ja on kapasiteetiltaan 12,2 MW tuotettuna kaasutehona. Kaasuttimen petimateriaalina toimii hiekka ja kalkki. Tuotekaasu ja lämmityksessä syntyvät savukaasut johdetaan aina meesauunin polttimelle.

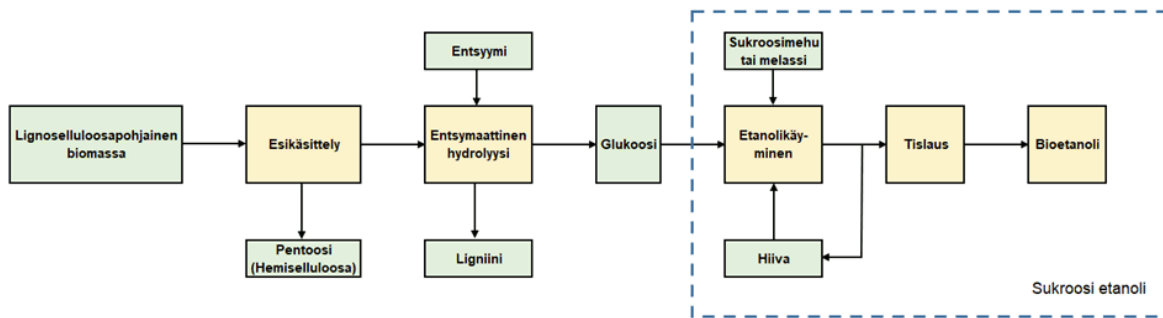
Laitoksella on myös toinen kaasutin kattilalla K7 (K7 polttoaineteho on 70 MW). Tämän kaasuttimen raaka-aineena käytetään kierrätyskuitulaitoksen muovijaetta. Kaasutin on leijukerroskaasutin, jossa nestepakkauksista tai kääreistä peräisin oleva muovi kaasuuntuu. Kaasutus tehdään ns. BFB- eli kuplapeptimenetelmällä. Alumiini jauhautuu kaasuttimen petihiekassa ja nousee kaasuvirran mukana sykloniin. Syklonissa erotettu tuotekaasu johdetaan polttoon K7 kattilalle ja alumiinipitoinen jae jäähdytetään. Alumiinipitoinen pohjajae voidaan käyttää teollisuudessa raaka-aineena. Kaasutinta on muutettu siten, että sitä voi tarvittaessa käyttää myös ns. CFB-menetelmällä, jota käytetään kuitupitoisten ja vähän alumiinia sisältävien muovijakeen kaasutuksessa. Muovijakeen kaasutuksella voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä (polttoöljy).

3.3 Biokonversioprosessilähde

Biokonversiolla tarkoitetaan prosessia, jossa orgaaninen materiaali (joko kasvi- tai eläinperäinen) muunnetaan biologisilla menetelmillä tai mikro-organismeilla tuotteiksi tai energialähteeksi. Karkeasti kuvattuna esikäsitelty raaka-aine käsitellään entsyymaattisella hydrolyysillä, jonka jälkeen sokeripitoinen nestejake ja ligniinipitoinen kiintoainekakku erotetaan toisistaan. Kiintoainekakku siirretään ligniininkuivausyksikköön ja bioetanoli tislataan ja väkevöidystä alkoholista poistetaan vesi. Prosessin sivutuotteena voidaan valmistaa myös biokaasua, kun biolietteitä ja jätevesiä mädätetään. Biokonversiota käsitellään LVOC BREF-vertailuasiakirjassa Large Volume Organic Chemicals.

3.3.1 Tekninen kuvaus

Kuvassa 4 on esitetty yksinkertaistettu kaaviokuva bioetanolin tuotannosta.



Kuva 4 Bioetanolin valmistus entsyymaattisella hydrolyysillä. (Vasić ym., 2021)

Esikäsittelyvaiheen tarkoitus on tehostaa seuraavaa prosessivaihetta eli entsyymaattista hydrolyysia. Esimerkiksi St1 Oy:n Kajaanin Cellunolix-tehtaalla raaka-aine lämpökäsitellään ja prosessiin voidaan syöttää jo tässä vaiheessa höyryä, rikkihappoa, NaOHia ja vettä. Esikäsittelystä poistettavat kaasut lauhdutetaan ja lauhdesta erotetaan tärpätti, jonka jälkeen kiintoaine neutraloidaan NaOHilla. (PSAVI/41/04.08/2013). BioEnergO Oy:n Porin tehtaalla esikäsittely poikkeaa Cellunolix-laitoksen esikäsittelystä jonkin verran. BioEnergO Oy:n prosessissa puupohjainen raaka-aine esilämmitetään ja siitä poistetaan vesi ruuvipuristimella (BioEnergO Oy, 2020). Tämän jälkeen raaka-aine johdetaan imeytysreaktoriin ja imeytysreaktorilta se johdetaan höyrynerotinlaitteistolle, jossa paisutushöyry ja biomassa erotetaan toisistaan. Entsyymaattista hydrolyysia varten biomassa laimennetaan vedellä, pH säädetään noin 4,5–5:een ja prosessilämpötila pidetään 40–50 °C:ssa. Prosessiin lisättävä entsyymiseos pilkkoo puuraaka-aineen sisältämän selluloosan sokereiksi. Tuotetta sekoitetaan koko ajan, jotta seos pysyy tasaisena. Entsyymaattisen hydrolyysin jälkeen kiintoaine (ligniini) erotetaan esim. viirapuristimella ja johdetaan ligniini-kuivausyksikköön. Sokeripitoisen nestejakeen sokeripitoisuutta voidaan nostaa esimerkiksi haihuttamalla ylimääräistä vettä pois, jonka jälkeen sokerijae johdetaan käymisreaktoriin. Käymistä varten reaktoriin annostellaan hiiva- ja ravinneliuos, jolloin sokereista syntyy etanolia ja samalla syntyy myös hiilidioksidia. Käymisvaihe voi koostua useammasta eri käymisreaktorista. Syntynyt hiilidioksidi voidaan kerätä talteen ja myydä eteenpäin. Käymisen jälkeen neste siirretään tislaus- ja väkevöintikolonneille, joista saadaan yli 90 tilavuusprosenttiin väkevöityä alkoholia. (BioEnergO, 2021; Vasić ym., 2021). Prosessissa syntyvistä biolietteistä ja jätevesistä voidaan edelleen valmistaa mädättämällä biokaasua (biometaania).

Taulukossa 6 on esitetty eri puupohjaisia raaka-aineita ja käytettyjä entsyymejä bioetanolin tuotannossa (Vasić ym., 2021).

Taulukko 6. Bioetanolin tuotanto puupohjaisista raaka-aineista.

Biomassa	Esikäsittely	Entsyymi
Palmu	Hydroterminen menetelmä yhdistettynä kemialliseen menetelmään ligniinin poistamiseksi	Sellulaasi T.reesei
Lehtipuu: - fringe - selkova - vaahtera - kastanja - valeakaasia	Vetyperoksidi-etikkahappo esikäsittely	Sellulaasi (Celluclast)
Poppeli	Hapan hydrotrooppi	CTec3 sellulaasi
Paju	"Steam explosion"	Sellulaasi T.reesei
Sokeriruoko	Liotetaan ammoniakkiuoksessa matalassa lämpötilassa	Cellic CTec2 sellulaasi
Apachipuru	Organosolv prosessi	Sellulaasi
Sekalainen materiaali sahalta	Mikroaaltoavusteinen vesi/organosolv esikäsittely	Cellic CTec2 sellulaasi

3.3.2 Saavutetut ympäristöhyödyt

Lignoselluloosapohjainen raaka-aine voi tarjota ympäristöystävällisen, taloudellisen ja strategisen vaihtoehdon biopolttoaineiden tuotantoon. Biomassapohjaisen etanolin tuotantokustannukset ovat laskeneet merkittävästi entsyymien ja hiivojen kehityksen myötä (Viikari ym., 2012). Suurin pullonkaula tekniikan ja talouden näkökulmasta on ollut biomassan muuntaminen fermentoituneiksi sokereiksi, mutta Viikari ym. (2012) ovat todenneet, että entsyymaattinen hydrolyysi ei ole enää pullonkaula menetelmän kaupallistumiselle.

3.4 Mäntyöljyn jalostus

Toiminnassa olevat mäntyöljyä jalostavat laitokset voidaan karkeasti jakaa kahteen kategoriaan: 1) mäntyöljytislaamoihin, jotka tuottavat raaka-aineita ja 2) mäntyöljyjalostamo, joka tuottaa liikennepolttoainetta.

3.4.1 Mäntyöljytislaamo

Suomessa on toiminnassa kaksi mäntyöljytislaamoa: Kraton Chemical Oy Oulussa ja Forchem Oy Raumalla. Lisäksi Fintoil Hamina Oy:n mäntyöljytislaamon toiminta on tarkoitus käynnistyä vuonna 2022. Mäntyöljytislaamoiden lupaharkinnassa on sovellettu OFC BREF-vertailuasiakirjaa (Manufacture of Organic Fine Chemicals) sekä LVOC ja CWW (Common Waste Water and Waste Gas Treatment).

3.4.1.1 Tekninen kuvaus

KRATON CHEMICAL OY, OULU

Raakamäntyöljyn tislusprosessi

Syötösäiliöstä raakamäntyöljy kulkee ensin esilämmityksen kautta kuivausvaiheeseen, jossa öljystä erotetaan vesi ja kaikkein haihtuvimmat komponentit. Haihtuneet yhdisteet lauhdutetaan ja öljymäiset yhdisteet erotetaan vedestä. Öljymäiset yhdisteet tislataan edelleen, jolloin niiden sisältämät terpeenikomponentit saadaan talteen ja ohjataan tuotesäiliöön.

Kuivattu raakamäntyöljy pumpataan raskaiden komponenttien eli pien erotukseen, missä on kolme haihdutinta. Harts- ja rasvahapot erotetaan piestä ja johdetaan hartsikoloniin. Pikijae jäähdytetään ja varastoidaan.

Hartsikolonin syöte tislataan kolonnissa neljään jakeeseen. Kolonin pohjalta erotetaan pohjajae, joka palautetaan pikivaiheeseen. Varsinainen tuotehartsijae lauhdutetaan seuraavassa välitasossa ja johdetaan lämmönvaihtimen kautta varastosäiliöön. Välivaiheesta kolonnia otetaan ulos raakarasvahappo ja kolonin huipulta esiöljyjae, jotka syötetään esiöljykoloniin.

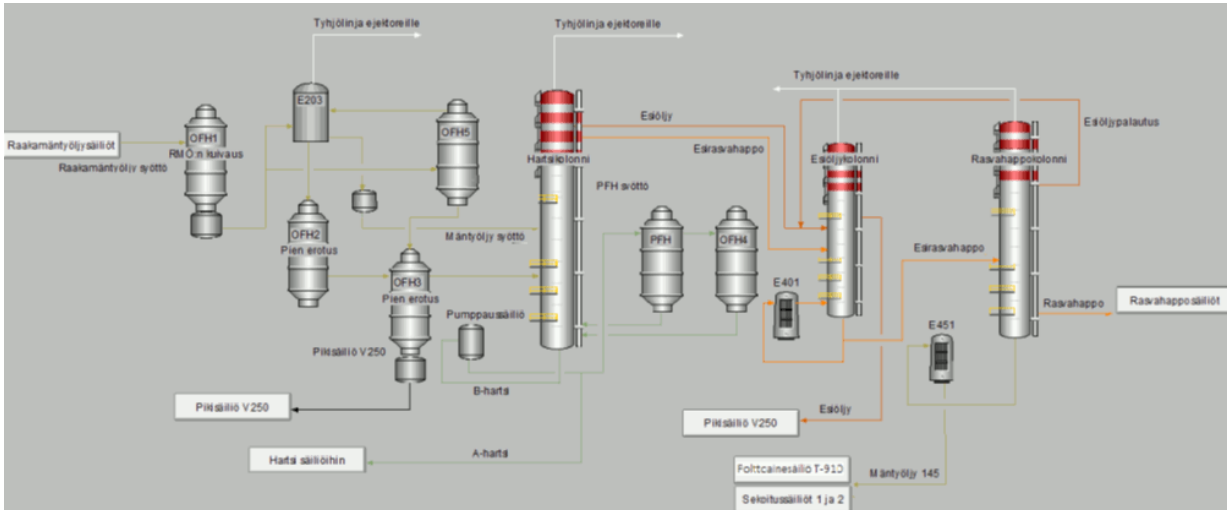
Esiöljykolonnissa tislataan rasvahapot eroon matalalla kiehuista rasvahapoista ja neutraaliaineista. Kolonin huipusta ulosotettava esiöljy johdetaan pikiseoksen varastosäiliöön ja sen pohjatuote on syöte rasvahappokolonnille.

Rasvahappokolonnista otetaan ulos kolme pääjaetta. Päätuote on rasvahappo, joka johdetaan jäähdyttimelle ja edelleen varastoon. Huipulta otettava pieni jae palautetaan esiöljykoloniin. Kolonin pohjajae, mäntyöljy-145, johdetaan jäähdyttimen kautta tehtaan polttoainesäiliöön, omaan varastosäiliöön tai mahdollisesti pikiseoksen joukkoon.

Tislaamon tarvitsema energia tuotetaan tislaamon kuumanestelaitoksella polttamalla rasvahappokolonnin pohjatuotetta, mäntyöljy-145:tä, tai tarvittaessa raskasta polttoöljyä. Tislauksessa tarvittava tyhjiö tuotetaan nesterengastyhjiöpumpulla ja höyryejektoreilla. Lauhduttimilla ja jäähdyttimiltä saatava lämpö otetaan talteen omaan öljykiertoonsa, jonka energiaa käytetään matalapainehöyryn tuotantoon.

Öljymäiset mäntyöljyn komponentit erotetaan tyhjiöjärjestelmien lauhdevesistä öljyerotuskaivossa ja sen jälkeen flotaattorissa. Öljyt johdetaan pikijakeen mukana pikiseoksen varastosäiliöön ja puhdistettu jätevesi Stora Enso Oulu Oy:n aktiivilietelaitokselle.

Hartsivarastosäiliöiden höngät johdetaan lipeäpesurille ja johdetaan edelleen kuumanestekattilalle polttoon. Kuvassa 5 on esitetty Kraton Chemical Oy Oulun mäntyöljytislaamon prosessikaavio.



Kuva 5 Kraton Chemical Oy Oulun mäntyöljytislaamon prosessikaavio.

Hartsijalostetehtaan toimintokuvaus

Oulun hartsijalostetehtaalla tuotetaan nykyään pääasiallisesti kahta tuoteryhmää, hartsies-terit ja hartsin saippua. Hartsies-terit ovat puhtaasta tai modifioiduista hartsista valmistettu- ja pääasiallisesti pentaerytritolin tai glyserolin estereitä. Hartsin saippuat voivat olla joko nat-rium- tai kaliumsuoloja, joiden kuiva-ainepitoisuus voi olla 35 %:sta 85 %:iin. Lisäksi Oulun tehtailla on tehty modifioidun hartsin vesidispersioita, mutta tällä hetkellä tuoteryhmää ei valmisteta. Hartsitehtaalla on neljä panosreaktoria, joissa hartsia modifioidaan ja esteröidään. Panoskoko on 10–12 tonnia. Reaktorit lämmitetään kuumaöljykierukan avulla, missä kiertävä öljy lämmitetään tislaamon pu-olella joko käyttäen kuumanestekattilan tehoa tai tislaamalla sijaitsevalla sähkökattilasta saatavalla ener-gialla.

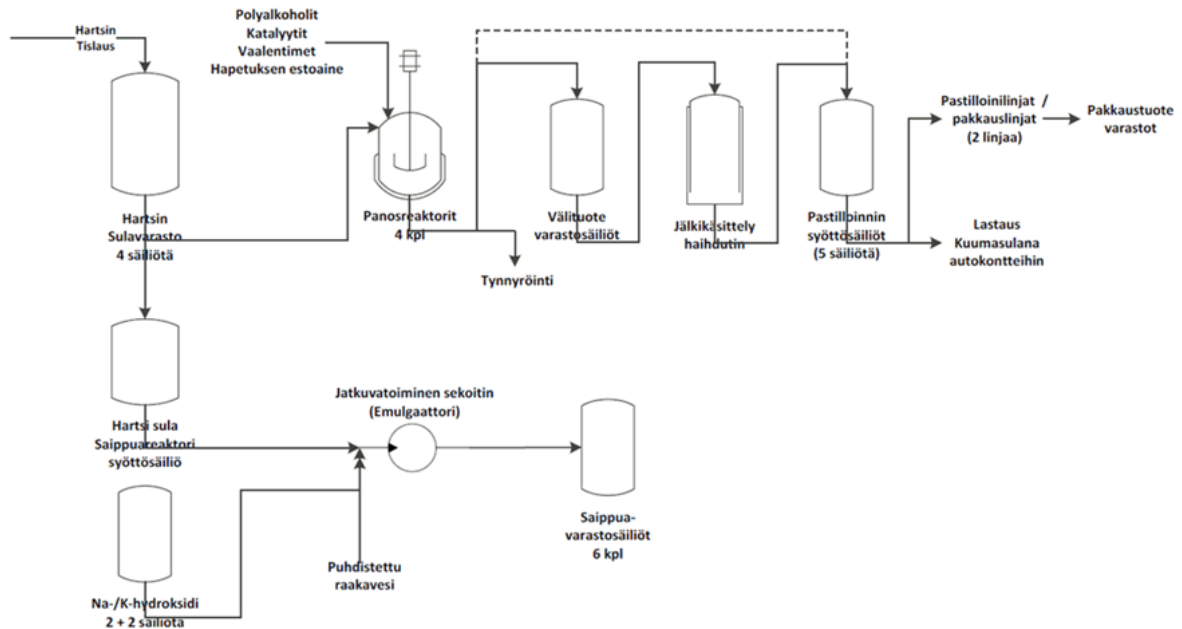
Tyypillinen esteröinti-reaktoriprosessi muodostuu seuraavista osavaiheista:

- hartsia pumpataan reaktoreihin tislaamon varastosäiliöltä
- reaktoriin lisätään tarvittava polyalkoholi ja katalyytti sekä tarvittaessa muita lisäaineita
- lämmönnotto (esteröityminen on lämpöä vaativa reaktio, joten energiaa kulutetaan koko reaktion ajan)
- reaktion etenemisen seuraaminen hartsin happoluvun seurannan avulla, reaktorituotteiden pumppaus reaktorista loppukäsittelyä varten välisäiliöön ja
- haihduttimessa tapahtuva loppukäsittely (poistetaan reaktorista saadusta tuotteesta lisää hartsia ja öljymäisiä yhdisteitä, jolloin tuote saa lopullisen laatunsa).

Haihduttimesta tullut lopullinen hartsies-teri menee pastilloinnin säiliöihin, niistä valmis esteri voidaan pa-kata 25 kg:n, 500 kg:n tai 1000 kg:n säkkeihin tai vaihtoehtoisesti lastata noin 200 C:een lämmössä sulana kontteihin, joissa lämmitysvastukset pitävät tuotteen kuumana toimituksen aikana.

Hartsihappojen saippuointi tapahtuu jatkuvatoimisen prosessin avulla, missä kuumasula hartsia ja tar-vittava natrium/kaliumhydroksidiliuos sekoitetaan ja ohjataan jäähdytyksen läpi suoraan varastosäiliöihin, joista on lastaus tankkiautoihin asiakkaille.

Reaktorin ja kaikkien hartsisäiliöiden hönkäkaasut menevät kaasupesurien läpi, missä kaasuista poistetaan öljymäisiä haisevia yhdisteitä ja prosessissa aina mukana olevan orgaanisesti sitoutuneen rikin jäämiä. Pesurien jälkeen kaasut johdetaan kuumanestekattilan polttoilmaan ja poltetaan. Pesureilla käytetään rasvahappoa pesuliuksena. Tehtaan kanaali- ym. jätevedet johdetaan öljynerotuskaivolle kuten tislauksen puolen vedet. Kuvass 6 näkyvät hartsijalostetehtaan prosessivaiheet



Kuva 6 Kraton Chemical Oy Oulun hartsijalostetehtaan prosessi

Jäteveden esikäsittely laitoksella

Laitoksella syntyvät jätevedet koostuvat höyryejektorin lauhdeista ja tyhjiöpumpun tiivistevesistä, erityisesti raakamäntööljyn kuivausosion lauhde flash-haihduttimessa ja ohuulfilmihaihduttimessa. Jätevesiä muodostuu näiden lisäksi myös rasvahapon, hartsin ja ejektorin öljyn tislauksen tyhjiöpumppujen ja ejektorien lauhdeina sekä pieni määrä tulee lastausalueiden viemäriverkosta.

Tyhjiöpumppujen ja -ejektorien lauhde lauhdutetaan ja johdetaan dekantereille (V-495, V-603 ja V-601), joissa toiminta perustuu öljyn ja veden tiheyseron avulla tapahtuvaan erotukseen. Periaatteena on erottaa suurin osa öljymäisistä komponenteista laminaarisella ja riittävän hitaalla virtausalueella, jolloin öljymäiset komponentit nousevat veden pinnalle. Erottunut öljy pumpataan polttoseokseen. Esipuhdistettu jätevesi pumpataan dekantereilta öljynerotuskaivoon, jossa erotusperiaate on suhteellisen samanlainen kuin dekantereissa. Öljynerotuskaivolta puhdistettu vesi pumpataan flotaattoriin, jossa jätevettä puhdistetaan edelleen tiheyspohjaista erotusmenetelmää käyttäen, mutta erotuskykyä tehostetaan pumppaamalla mikrokokoisia ilmakuplia veden sekaan käyttämällä paineistettua vettä. Pienemmätkin ja vaikeasti erottuvat öljymäiset komponentit kiinnittyvät ilmakupliin ja nousevat jäteveden pinnalle, josta ne kaavitaan pois. Floataation erotustehokkutta voidaan parantaa koagulointi- ja flokkulointikemikaaleja käyttämällä. Puhdistettu jätevesi pumpataan laitoksen ulkopuoliselle biologiselle jätevedenpuhdistamolle.

3.4.1.2 Saavutetut ympäristöhyödyt

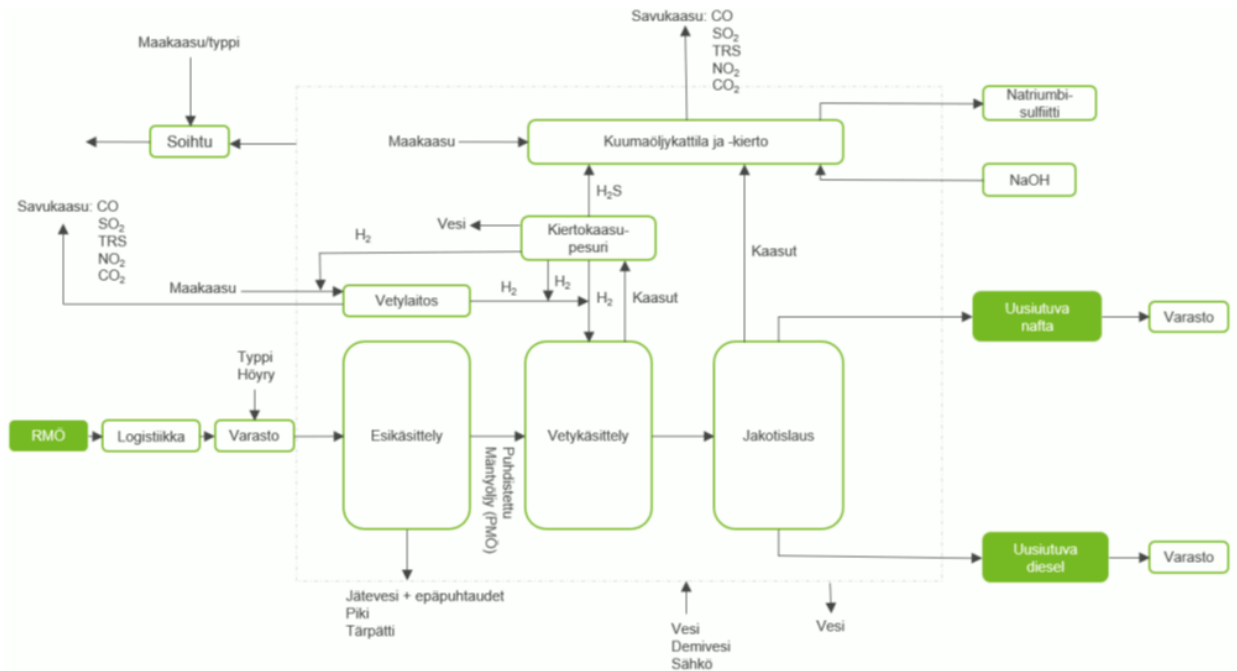
Mäntyöljystä jalostetuilla tuotteilla korvataan fossiilisia raaka-aineita muovituotteiden ja polttoaineiden valmistuksessa. Mäntyöljystä jalostetaan polyeteeniä ja polypropeenia (Vastavuo 2019).

3.4.2 Biojalostamo

UPM Lappeenrannan biojalostamo on käynnistynyt vuonna 2015. Laitos käyttää pääraaka-aineena mäntyöljyä valmistaessaan kahta päätuotetta BioVerno-dieseliä ja BioVerno-naftaa. Tuotannon sivutuotteita syntyy tärpähtiä, pikeä sekä savukaasupesurin pesunestettä (natriumbisulfiitti). BioVerno-polttoaineiden vuotuinen tuotantokapasiteetti on 120 miljoonaa litraa (UPM 2022) Tehdasalueella toimii myös biopolttoaineiden tutkimusyksikkö BrDC, jossa tehdään muun muassa käytettävien raaka-aineiden testausta ja muuta kehitystyötä.

Biojalostamon esikäsittelyssä mäntyöljystä poistetaan epäpuhtauksia, vettä ja tärpähtiä. Vetykäsittelyssä mäntyöljystä tehdään katalysireaktioiden avulla tuotehiilivetyjä. Hiilivetyjen erotuksessa rikkivety ja lauhtumattomat kaasut erotetaan tuotteista.

Biojalostamolla on 16,5 MW kuumaöljykattila, jota käytetään laitoksen kuumaöljykierron lämmitykseen sekä höyryn tuotantoon. Laitoksella käytettävä vety valmistetaan maakaasusta höyryreformoimalla vetylaitoksella. Vetylaitoksen tarvitsema energia sekä höyryä tuotetaan reformeriuunilla. Kuumaöljykattilan ja reformeriuunin savukaasut johdetaan biojalostamon savupiippuihin. Biojalostamoita käsitellään REF (Refining of Mineral Oil and Gas) ja PP BREF-vertailuasiakirjoissa.



Kuva 7. UPM Lappeenrannan biojalostamon prosessikaavio.

3.4.2.1 Tekninen kuvaus

Kuvassa 7 on esitetty UPM Lappeenrannan biojalostamon prosessikaavio.

Raakamäntyöljy ohjataan raaka-ainesäiliöstä esikäsittelyyn, jossa poistetaan vesi, epäpuhtauksia, pikeä ja tärpähtiä. Nestemäisiä sivutuotteita (pikeä ja tärpähtiä) voidaan joko hyödyntää laitoksella tai myydä eteenpäin. Esikäsittelyn jälkeen puhdistettu mäntyöljy johdetaan syöttösäiliön kautta vetykäsittelyyn, jossa puh-

distettu raaka-aine käsitellään kiinteän katalyyttikerroksen sisältävässä reaktorissa vedyn kanssa. Reaktiot tapahtuvat 5 000–10 000 kPa paineessa ja 330–400 °C lämpötilassa vety-ylimäärässä. Hiilivetyjen kaksois- ja kolmoissidokset pilkkoutuvat, jolloin reaktiotuotteena syntyy tyydyttyneitä hiilivetyjä. Samalla raaka-aineen happi reagoi muodostaen vettä, hiilimonoksidia ja hiilidioksidia, kun taas tyydyttyneistä muodostuu ammoniakkeja ja rikistä rikkivetyä.

Tuotevirta jäädytetään ja virrasta erotetaan neste- ja kaasujakeet. Kaasuvirta johdetaan amiinipesurille hapankaasujen poistamiseksi, jonka jälkeen hapankaasut johdetaan kuumaöljykattilalle poltettavaksi. Amiinipesurin huipulta poistuva pesty kaasu johdetaan membraaniyksikköön, jossa kaasun sisältämä vety puhdistetaan ja puhdistettu vetyvirta ohjataan kiertokaasukompressorin kautta takaisin vetykäsittelyreaktoriin. Membraaniyksiköstä poistuvat polttokaasut johdetaan linjan polttokaasuverkostoon.

Nestemäinen tuotevirta johdetaan ensimmäiseen tislaukolonniin, jossa erotetaan biodieseljake muista biopolttoaineista. Kevyt biopolttoainejake ohjataan seuraavaan tislaukolonniin ja lauhumattomat kaasut ohjataan hapankaasujen käsittelyyn. Ensimmäisen tislaukolonnin pohjalta lähtevä biodieseljake johdetaan tarvittaessa stabilointikolonniin. Stabilointikolonnissa biodieseljakeesta erotetaan muut biopolttoainejakeet. Kolonnin pohjalta otettava biodieseljake johdetaan biodieselin varastosäiliöihin. Stabilointikolonnin kaasujake ohjataan hapankaasujen käsittelyyn.

Vetykäsittelyyn tarvittava vety valmistetaan laitosalueella sijaitsevassa vedynvalmistusyksikössä maakaasusta, jonka lisäksi vedyn valmistukseen voidaan käyttää prosessissa syntyviä puhtaita poltto-kaasuja. Prosessissa syntyvä jätevesi ohjataan integraatin jätevedenpuhdistamolle. Hiilivetyjä sisältävät vetyjakeet ohjataan esikäsittelyyn (öljynerotus ja/tai strippaus).

3.5 Tekstiilikuidun valmistus

3.5.1 Tekninen kuvaus

Uusista metsäteollisuuden tekstiilikuidun valmistusprosesseista on niukasti julkista tietoa saatavilla. Ioncell-prosessi perustuu ionisen liuottimen hyödyntämiseen selluloosan liuotuksessa ja dry-jet wet spinning -tekniikan käyttöön kuidun valmistuksessa (Michud ym. 2015). Nordic Bioproducts tekstiilikuidun valmistus perustuu AaltoCell-tekniikkaan. Heidän menetelmässään selluloosan hydrolyysillä ja wet spinning-tekniikalla valmistetaan tekstiilikuitua. (Nordic Bioproducts 2022). Molemmat menetelmät käyttävät selluloosaa raaka-aineenaan. Tekstiilikuidun valmistusta käsitellään TXT (Textiles Industry) ja POL (Production of Polymers) BREF-vertailuasiakirjoissa.

3.5.2 Saavutetut ympäristöhyödyt

Viskoosi, modal ja lyocell tunnetaan tekstiiliteollisuuden perinteisinä regeneroituneina selluloosakuituina (Periyasamy & Militky 2020). Perinteinen viskoosin tuotantoprosessi on moniosainen ja kuluttaa intensiivisesti vettä, kemikaaleja ja energiaa (Seisl & Hengstmann 2020). Verrattuna perinteiseen viskoosin ja lyocellin tuotantoon, ionisiin liuottimiin perustuvaa wet spinning -tekniikan hyötynä voidaan pitää liuottimien ja veden kierrätysmahdollisuuksia prosessissa (Stepan ym. 2016, Zhou ym. 2021). Liuottimien ja veden kierrätysmahdollisuudet vähentävät prosessissa muodostuvan jätteen määrää, ja voivat mahdollistaa suljetumman kemikaalikierron laitostasolla.

Nordic Bioproducts valmistaa Norratex-tekstiilikuitua paperisellusta, tekstiilijätteistä ja maatalouden sivuvirroista. Prosessin ympäristöhyötynä voidaan pitää sitä, että perinteisen viskoosin valmistuksessa käytettyä rikkihiiltä ei tarvita. Prosessissa voidaan käyttää metsä- ja kemianteollisuudessa yleisiä prosessikemikaaleja, jotka voidaan kierrättää ja jotka eivät aiheuta ympäristöongelmia (Laatikainen 2022).

3.5.3 Kokonaisympäristövaikutukset

Michud ym. (2016) ovat käyttäneet kuitujen valmistuksessa ionisena liuottimena 1,5-diazabicyclo[4.3.0]non-5-ene. Yleisesti 1-etyyli-3-metyyli-diatsol-3-ium asetaatteja pidetään akuutisti haitallisena vesilevälle. Liuotin ei ole biohajoava (ECHA 2021).

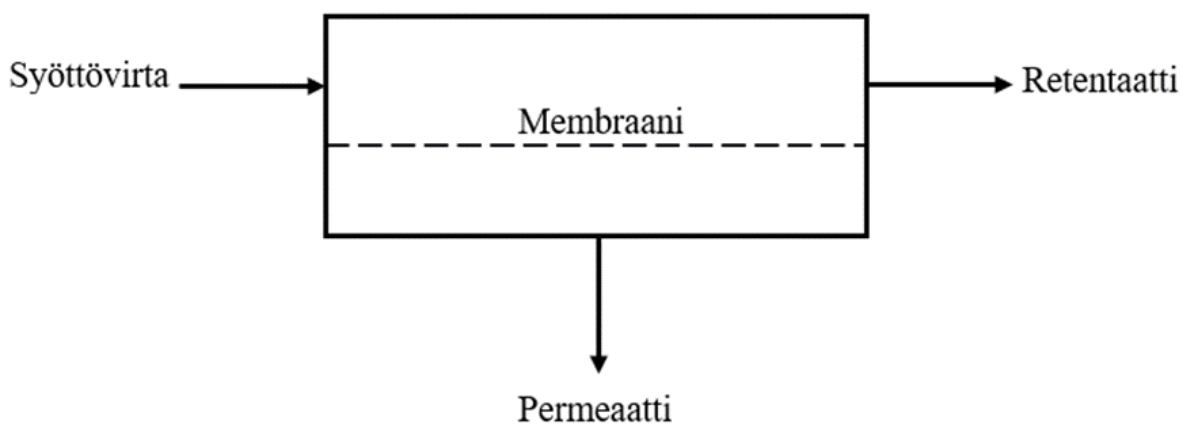
3.6 Muut potentiaaliset tekniikat

Muut biotuotelaitoksiin tai niiden yhteyteen rakennettavat prosessit käsitellään tässä kappaleessa.

3.6.1 Membraanitekniikat biotuotelaitoksessa

3.6.1.1 Tekninen kuvaus

Membraanit ovat puoliläpäiseviä kalvoja, joita käytetään eri aineiden ja yhdisteiden erotuksessa. Ne päästävät läpi vain halutut aineet ja pysäyttävät toiset. Tämä perustuu membraanien rakenteeseen ja huokoisuuteen. Huokosten kokoa muuttamalla voidaan valita, pääseekö membraanin läpi yksittäiset ionit, kolloidit, vai isommat partikkelit. Suurinta huokosta suuremmat partikkelit eivät pääse membraanin läpi, pienintä huokosta suuremmat ja suurinta huokosta pienemmät vain osittain läpi ja pienintä huokosta pienemmät läpäisevät membraanin täysin. Kuvassa 8 on esitetty membraanin yksinkertaistettu toiminta. Membraanin läpäissyttä virtaa kutsutaan permeaatiksi ja läpäisemätöntä virtaa retentaatiksi tai konsentraatiksi. (Tewari 2016, 3–5.) Membraanit soveltuvat käytettäväksi nesteiden ja kaasujen erotteluun, mutta tässä kappaleessa keskitytään nestevirtoihin.



Kuva 8 Membraanin toiminta yksinkertaistettuna (mukaillen Mulder 1996, 5).

Tyypillisimmät prosessit, joissa membraaneja käytetään, ovat jätevedenpuhdistus, aineiden talteenotto, kierrätys ja konsentrointi, membraanibioreaktorit, sekä epäpuhtauksien poistaminen tuotteesta (Figoli ym. 2016, 3). Membraaneja voidaan hyödyntää erilaisten aineiden, kuten ligniinin, puhdistuksessa ja talteenotossa. Membraanit soveltuvat myös biopolttoaineiden puhdistamiseen niiden selektiivisyyden ansiosta. Nanosuodattimia on käytetty ligniinin puhdistuksessa, mutta hemiselluloosan erotus on osoittautunut hankalaksi. (Figoli ym. 2016, 42) Membraanit voidaan yhdistää perinteiseen aktiiviliete puhdistukseen membraanibioreaktoreilla, mikä edistää orgaanisten yhdisteiden ja kiintoaineen poistoa sekä vähentää lietteen määrää (Deb ym. 2022). Membraanitekniikoita käsitellään FDM (Food, Drink and Milk Industries) ja MWEI (Management of Waste from Extractive Industries) BREF-vertailuasiakirjoissa.

3.6.1.2 Saavutetut ympäristöhyödyt

Membranien edut tulevat niiden yksinkertaisuudesta, selektiivisyydestä sekä tekniikan joustavuudesta (Zhang 2012, 14–15). Membraanisudatuksella on mahdollista vähentää vesistöön pääsevän fosforin määrää ilman saostamiseen vaadittavia kemikaaleja. Lisäksi päästöt vesistöihin laskevat, kun vettä kierätetään tehtaalla enemmän ja jäteveden määrä laskee. Esimerkiksi käänteisosmoosia hyödyntämällä on pystytty vähentämään 40 % valkaisulaitoksen vedenkäytöstä. (Basile ym. 2015, 582, 594.) Jos valkaisuon vesikierto saataisiin suljettua kokonaan, orgaanisen aineksen, metallien sekä ravinteiden määrä vähenisi huomattavasti.

Sulfaatti on haitallista vesistöjen eliöille, etenkin jos siitä syntyy myrkyllistä rikkivetyä. Sulfaatin määrää on pystytty vähentämään jätevedestä jopa 90 % nanosuodattimia hyödyntämällä. Nanosuodatus voidaan suorittaa pienemmässä paineessa kuin käänteisosmoosi, mutta sillä voi olla hankalampaa erotella muutakin kuin sulfaattia vedestä. Käänteisosmoosia tulisi harkita silloin, kun sulfaatin lisäksi täytyy erotella myös monovalenttisiä ioneja.

Membraneilla erotellut yhdisteet voidaan kerätä talteen ja käyttää uudelleen tai kehittää niistä sivutuotteita. Kiertotalouden lisääminen vahvistaa ympäristöystävällisyyttä.

3.6.1.3 Kokonaisympäristövaikutukset

Membranien vaatima paine-ero edellyttää pumppujen käyttöä, mikä aiheuttaa sähkön kulutusta. Membranien foulaantumisen vaatii ilmastusta ja puhdistuskemikaaleja. Ilmastus voi lisätä sähkön kulutusta. Puhdistuskemikaalien käyttö lisää kemikaalien tarvetta sekä jätevettä. Konsentraatti muodostaa jätettä. Membranit voivat olla materiaalista riippuen mahdollinen mikromuovien lähde.

3.6.2 Vihreän vedyn valmistus

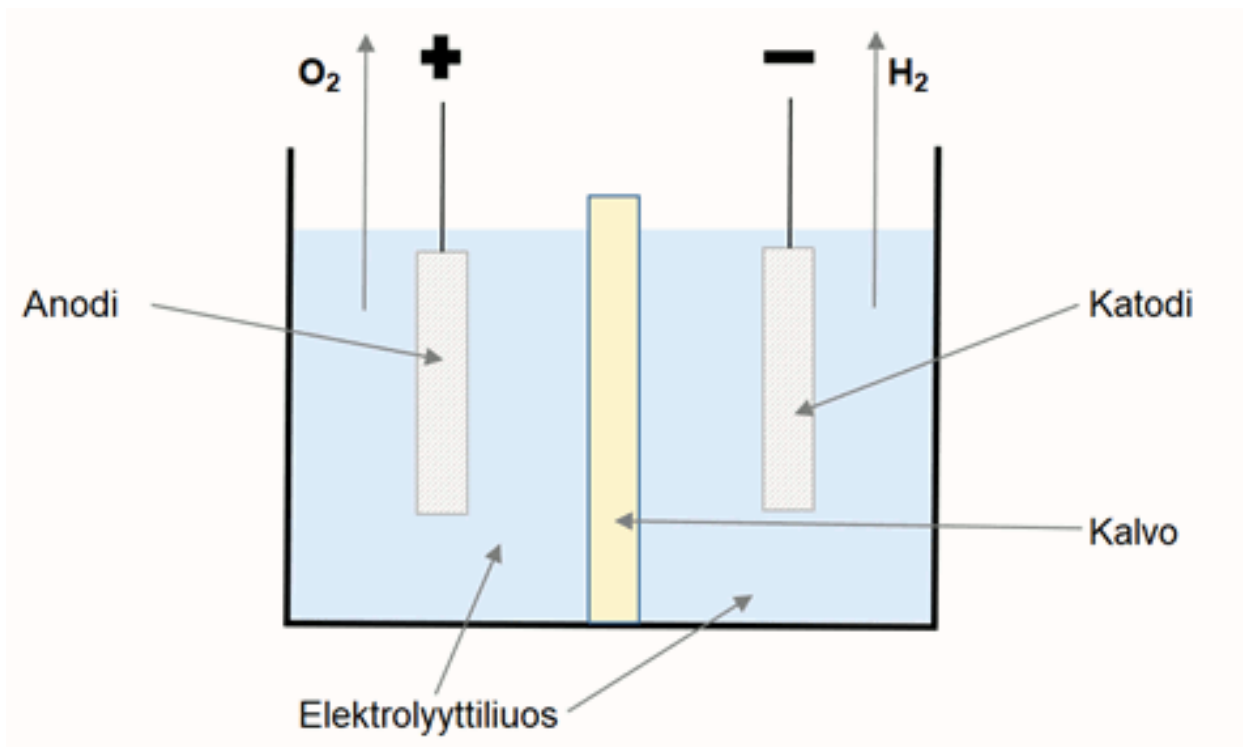
Vetyä käytetään niin prosessiteollisuuden raaka-aineena kuin uusiutuvan energian varastona esimerkiksi P2G (power to gas) tekniikkaa hyödyntäen (Bertuccioli ym., 2014; Lee ym., 2020).

Vety on yleisin alkuaine maapallolla, mutta luonnossa vetyä ei esiinny puhtaana. Noin 96 % vedystä valmistetaan fossiilisista polttoaineista ja loput 4 % vedestä (Ursúa ym., 2012). Fossiilisten raaka-aineiden korvaaminen uusiutuvilla raaka-aineilla on yhä kasvava trendi, joten vihreän vedyn valmistus herättää myös yhä enemmän kiinnostusta teollisuudessa. Uusiutuvaa vetyä voidaan tuottaa esimerkiksi käsittelemällä biomassaa lämpökemiallisesti tai käymisteitse, mutta vesi on yksi kiinnostavimmista raaka-aineista.

Alkalelektrolyysi on yksi suosituimmista menetelmistä tuottaa vedestä vetyä. (Sasaki ym., 2016). Menetelmään on käytetty kemianteollisuudessa jo usean vuoden ajan, sillä tekniikka on yksinkertainen ja pitkälle edistynyt. Menetelmän pitkäaikaisen suosio on kuitenkin riippuvainen uusien elektrolyyttitekniikoiden, kuten esimerkiksi polymeerielektrolyyttimembranien tai höyryelektrolyysin kehityksestä.

3.6.2.1 Veden alkalelektrolyysi

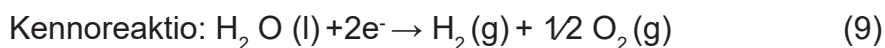
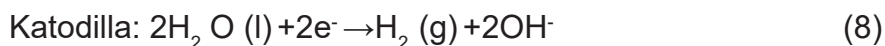
Alkalelektrolyysin perusperiaate on esitetty kuvassa 10 (Sasaki ym., 2016; Ursúa ym., 2012). Menetelmän englanninkielinen lyhenne on AWE (alkaline water electrolysis). Laitteisto koostuu virtalähteestä, kahdesta elektrodista, kalvosta ja elektrolyytistä.



Kuva 9 Yksinkertainen kaaviokuva alkalielektrolyysilaitteistosta. (Sasaki ym., 2016; Ursúa ym., 2012)

Yksinkertaisimmillaan elektrolyysissä veden läpi kuljetetaan sähkövirta kahden elektrodin avulla, jolloin sähkövirta hajottaa vesimolekyylit vedyksi (H_2) ja hapeksi (O_2). Elektrolyysi-laitteessa oleva kalvo estää erotetun vedyn ja hapen yhtymisen takaisin vedeksi. Kalvon tulee olla hyvin ionijohtava sekä fysikaalisesti ja kemiallisesti kestävä. Kalvomateriaalina on aikaisemmin käytetty asbestia, mutta se on nykyisin korvattu huokoisella polymeerikomposiitilla. Liuokseen lisätään myös elektrolyyttiä johtokyvyn nostamiseksi. Elektrolyytinä käytetään yleensä joko KOH- tai NaOH-liuosta, joista KOH on parempi vaihtoehto. KOH-liuoksen sähkönjohtavuus on korkeampi ja siihen liukenee vähemmän hiilidioksidia kuin NaOH-liuokseen, kun taas ilmassa olevan hiilidioksidi liukenee helposti NaOH-liuokseen, jolloin liuokseen muodostuu karbonaatteja, mikä laskee liuoksen johtokykyä. KOH-liuoksen pitoisuus on yleensä noin 25–30 %. Elektrodit, ts. anodit ja katodit, ovat yleensä joko nikkelillä päällystettyä rautaa tai nikkelipohjaista materiaalia, koska nikkeli on reaktiivisin epäjalometalli.

Yhtälö (7) kuvaa anodilla tapahtuvaa hapetusreaktiota ja yhtälö (8) katodilla tapahtuvaa pelkistysreaktiota. Kokonaisreaktio on esitetty yhtälöllä (9).

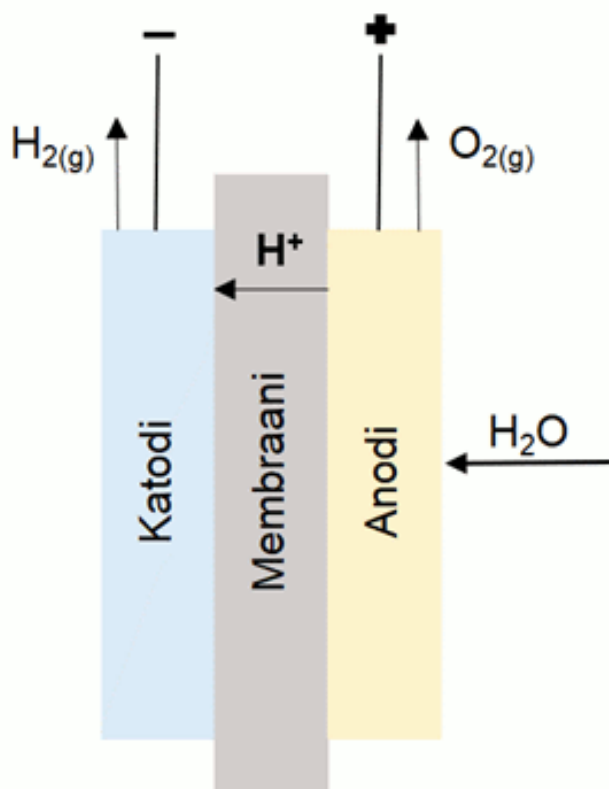


Yhtälöissä (7)-(9) termi l viittaa nestefaasiin ja g kaasufaasiin.

Alkalielektrolyysi on energiantensiivistä, sillä yhden normikuution valmistaminen vetyä vaatii noin 4,35–4,60 kWh energiaa (Ursúa ym., 2012). Lämpötila on tyypillisesti 5 °C– 100 °C, maksimi virrantiheys on noin 0,4 A/cm² ja paine noin 25–30 bar. Osa laitteistoista toimii normaalissa ilmanpaineessa, mutta osa voi operoida jopa 448 barin paineessa. Menetelmällä tuotetun vedyn puhtaus on noin 99,9 til.-% ja hapen puhtaus on 99,7 til.-%. Toisaalta taas käytetyn veden täytyy olla erittäin puhdasta eli sähkönjohtavuuden tulee olla alle 5 μS/cm. (Ursúa ym., 2012).

3.6.2.2 Veden polymeerielektrolyysi

Veden polymeerielektrolyysissä (PME, polymer membrane electrolyte) vesi pumpataan anodille, jossa se jakaantuu hapeksi (O_2), protoneiksi (H^+) ja elektroneiksi (e^-) (Carmo ym., 2013; Kumar ja Himabindu, 2019). Protonit kulkeutuvat membraanikalvon läpi katodille, kun taas elektronit johdetaan anodilta pois ulkoiseen virtapiiriin, joka tuottaa myös elektrodikennolla tarvittavan energian. Katodipuolella elektronit ja protonit yhdistyvät, jolloin syntyy vetykaasua. Yksinkertaistettu kaaviokuva on esitetty kuvassa 11 ja reaktioyhtälöt yhtälöillä (10), (11) ja (12).



Kuva 10. Kaaviokuva veden polymeerielektrolyysistä.

Polymeerielektrolyysissä voidaan käyttää paljon korkeampaa virran tiheyttä, noin $2 A/cm^2$, kuin alkalielektrolyysissä. Korkeampi virran tiheys laskee niin elektrolyysin käyttö- kuin kokonaiskustannuksia. Lisäksi matala membraanin kaasunläpäisevyys mahdollistaa sen, että laitetta voidaan operoida laajalla virransyötöllä. Vetykaasun tuotto on kuitenkin alhaisempi kuin alkalielektrolyysissä, noin $10 Nm^3/h$, mutta kaasu on puhtaampaa, noin 99,99 til.-% tai jossain tapauksissa jopa 99,999 til.-% (Ursúa ym., 2012). Polymeerielektrolyysin olosuhteet ovat kuitenkin haastavammat materiaalien suhteen kuin alkalielektrolyysin. Polymeerielektrolyysissä operoidaan happamalla pH-alueella, noin pH:ssa 2, ja korkeilla virrantiheyksillä, mikä vaatii erityisiä materiaalivalintoja. Sopivia materiaaleja ovat platinaryhmän metallit (platina, iridium ja rutenium) sekä titaanihappopohjaiset materiaalit (Carmo ym., 2013). Käytetyimmät polymeerimembraanit ovat polysulfonihappopolymeerimembraaneja kuten esimerkiksi Nafion®, Fumapem®, Flemion®. Näistä Nafion on käytetyin membraani, sillä se kestää korkeaa virrantiheyttä ($2 A/cm^2$), on kestävä, johtaa hyvin protoneja ja on mekaanisesti stabiili.

3.6.2.3 Saavutetut ympäristöhyödyt

Uusiutuvalla energialla vedestä elektrolyysillä tuotettu vety ei tuota hiilidioksidipäästöjä (David ym. 2019).

3.6.3 Rikkihapon valmistus tehtaan hajukaasuista

Nykyinen kehityssuunta on viemässä myös sellutehtaita kohti suljetumpaa kemikaalikiertoa. Yksi mahdollinen prosessivaihtoehto on rikkihapon valmistus tehtaan väkevistä kaasuista. Rikkihappoa käytetään sellutehtaalla esimerkiksi mäntyöljyn palstoituksessa, klooridioksidin valmistuksessa, pH:n säätämisessä ja ligniinin talteenotossa. Rikkihapon valmistusta käsitellään LVIC BREF-vertailuasiakirjassa.

3.6.3.1 Saavutetut ympäristöhyödyt

Rikkihapon valmistaminen kaasuista pinenetää ilman vapautuvia rikkipäästöjä. Tämä myös parantaa kemikaalikiertoa ja vähentää tarvetta ottaa rikkihappoa.

4 Päästötasot nykyisissä tuotantolaitoksissa

Päästötasot ilmaan ja veteen on esitetty kuvissa 11–45. Tuotantolaitokset ovat numeroitu kuviin ja sijainniksi ilmoitetaan laitoksen sijaintimaa. Päästötietoja on kerätty ja esitetty sekä Suomesta että Ruotsista. Toimiala ja raaka-aineet ovat samankaltaisia molemmissa maissa. Päästötasokuvaajien data on kerätty, laskettu ja arvioitu laitospohjaisesti toiminnanharjoittajien julkisista asiakirjoista. Laitospohjaisesti mittausväli on ollut kaksi kertaa vuodessa, kerran vuodessa, tai 2–5 vuoden välein.

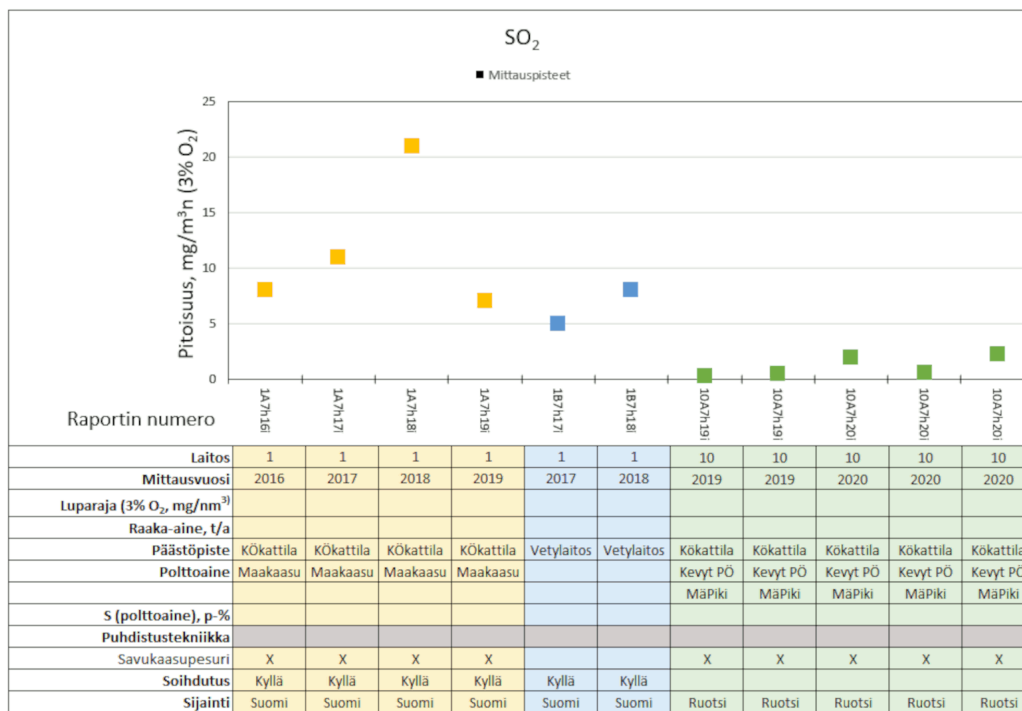
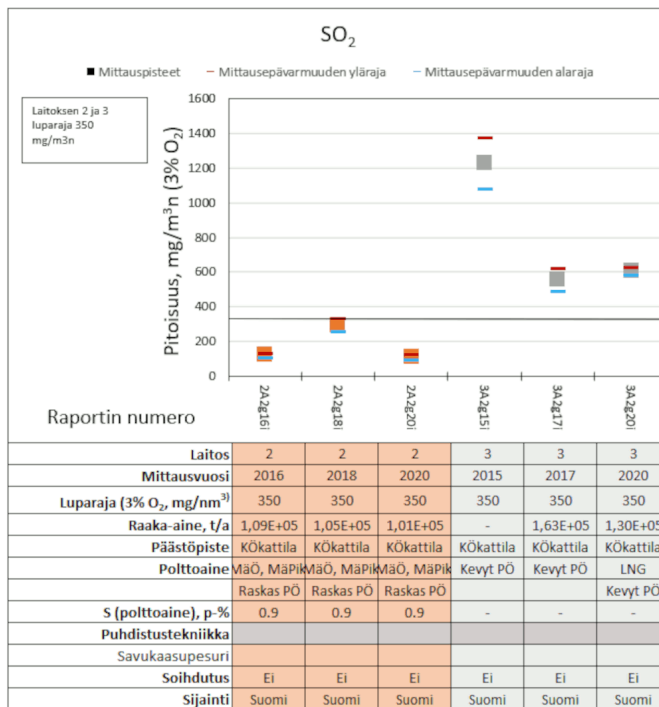
Kuvaajien vaaka-akselille on merkitty mittausvuosi ja pystyakselille päästökomponentin pitoisuus tai päästö suhteutettuna tuotetun sellun määrään. Datapiste on merkitty neliönä, jonka alareuna edustaa pitoisuusotannan pienimpiä arvoja ja yläreuna suurimpia arvoja. Neliön keskikohta edustaa otannan keskimmäistä arvoa. Punainen ja sininen lyhyt poikkiviiva neliön ulkopuolella edustavat mittausepävarmuuden ylä- ja alarajaa. Mittausepävarmuudet on merkitty siltä osin kuviin, kun niitä on määritetty. BAT-päästörajat on merkitty punaisella poikkiviivalla siltä osin, kun vuoden 2014 BAT-rajoja on määritetty. Päästötietojen yksikkö on tarvittaessa muunnettu vastaamaan määritetyn BAT-rajan yksikköä. Laitospohjaiset päästöluparajat on merkitty harmaalla poikkiviivalla. Kuvassa on ilmoitettu laitoksen ja mittausvuoden lisäksi tuotantomäärä, raaka-ainemäärä, päästöaste, polttoaine ja tekniikka.

Kukin päästökomponentti ilmaan ja veteen on esitetty erillisenä kappaleena. Ilmaan vapautuvista päästökomponenteista käsitellään rikkidioksidi, pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS), typenoksidit (NO_x), hiukkaset, hiilimonoksidi ja -dioksidi. Päästökomponentit veteen ovat kemiallinen hapenkulutus (COD), biologinen hapenkulutus (BOD), kiintoaine, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, absorboituneet orgaaniset halogeenit (AOX), rikki, öljymäiset aineet ja natrium.

4.1 Päästöt ilmaan

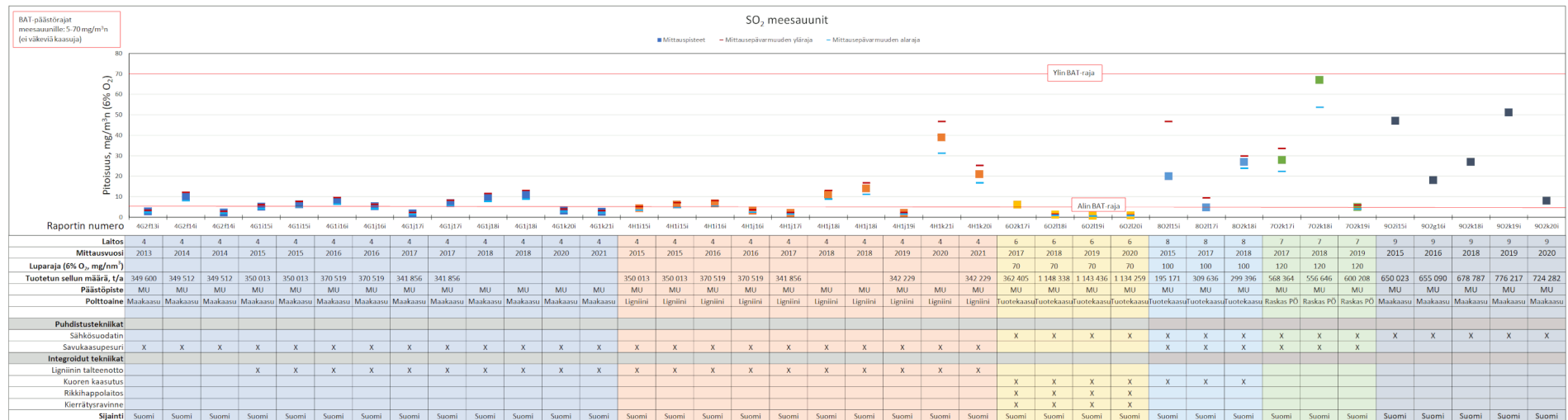
4.1.1 Rikkidioksidi

Kuvassa 11 mäntyöljyä jalostavien laitosten rikkidioksidipäästöt ilmaan on esitetty pitoisuudessa $\text{mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2). Laitoksen 10 rikkidioksidipäästöt ovat pysyneet vuosina 2019 ja 2020 alle $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2). Vuosina 2016–2017 ja 2019 laitoksen 1 rikkidioksidipäästöt ovat pysyneet pääosin $5\text{--}11 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2). Poikkeuksena laitoksen 1 vuoden 2018 rikkidioksidipäästöt, jolloin mitattu arvo on ollut $21 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2). Vuonna 2018 laitoksella 1 otettiin käyttöön polttokaasupesuri soihdutuksessa ja vuonna 2020 vetylaitoksen ja kuumaöljykattilan energiatehokkuutta parannettiin. Laitosten 2 ja 3 luparaja on $350 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2). Laitos 2 on mittausvuosina 2016, 2018 ja 2020 pysynyt päästöissään luparajan alapuolella. Laitoksella 2 on vuonna 2017 vaihdettu polttoaine raskaasta polttoöljystä polttoaineseokoitukseen, ja laitoksella otettiin vuonna 2019 uusi hajukaasujärjestelmä käyttöön. Laitoksen 3 rikkidioksidipäästöt ovat olleet $1230 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2) vuonna 2015, $557 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2) vuonna 2017 ja $609 \text{ mg}/\text{m}^3\text{n}$ (3 % O_2) vuonna 2020. Laitoksella 1 vuonna 2018 otettiin käyttöön polttokaasupesuri soihdutuksessa ja vuonna 2020 vetylaitoksen ja kuumaöljykattilan energiatehokkuutta parannettiin.



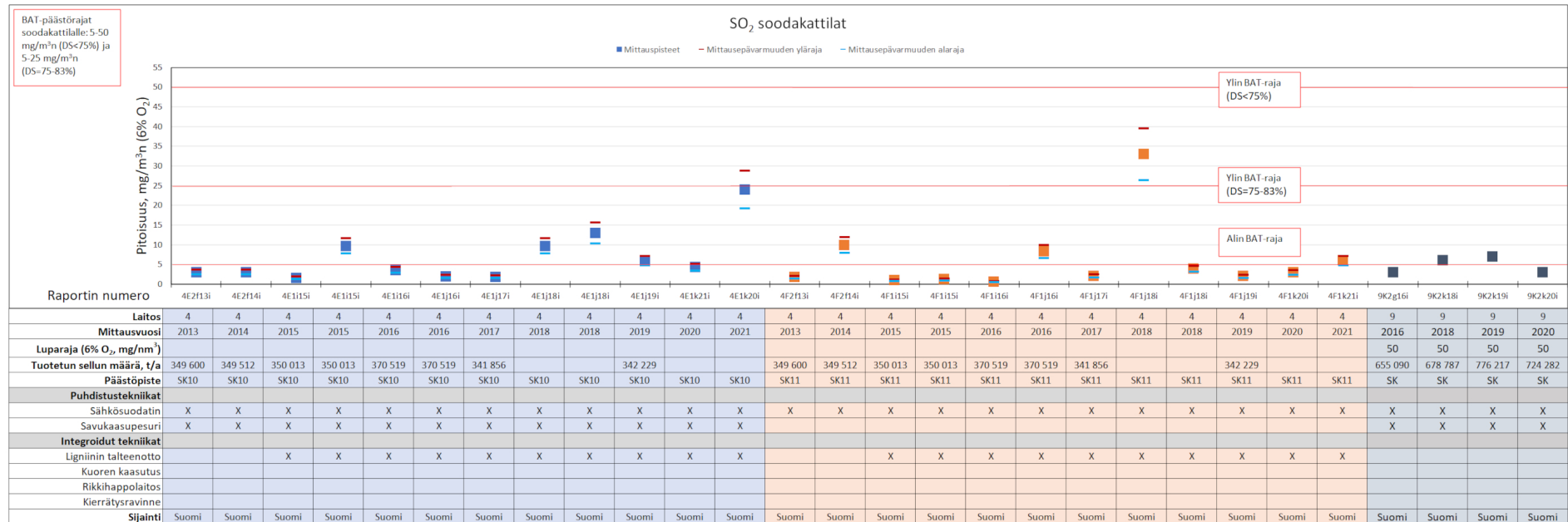
Kuva 11. Rikkidioksidipäästöt ilmaan mäntyljyvä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 12 on esitetty meesauunien rikkidioksidipäästöt ilmaan sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT päästötasot ovat 5–70 mg/m³n (6 % O₂). Laitosten 4 ja 6 päästöt ovat pysyneet pääosin BAT-alarajalla tai sen alapuolella. Laitosten 7, 8 ja 9 päästötasot ovat vaihdelleet enemmän, mutta kaikki päästöt ovat olleet BAT-rajojen sisällä. Laitoksella 4 on otettu vuonna 2020 uudet sähkösuodattimet käyttöön. Laitoksella 8 on uusittu vuosina 2015–2016 meesauunien päästömittauslaitteisto. Laitoksella 7 on uusittu hajukaasukattila ja päästömittarit vuonna 2015.



Kuva 12. Meesauunin rikkidioksidipäästöt ilmaan sellua valmistavissa laitoksissa. Kuvan kierrätysravinteella tarkoitetaan biokaasun tuotannossa syntyneiden rejektivesien ravinteiden hyödyntämistä laitoksen puhdistamolla.

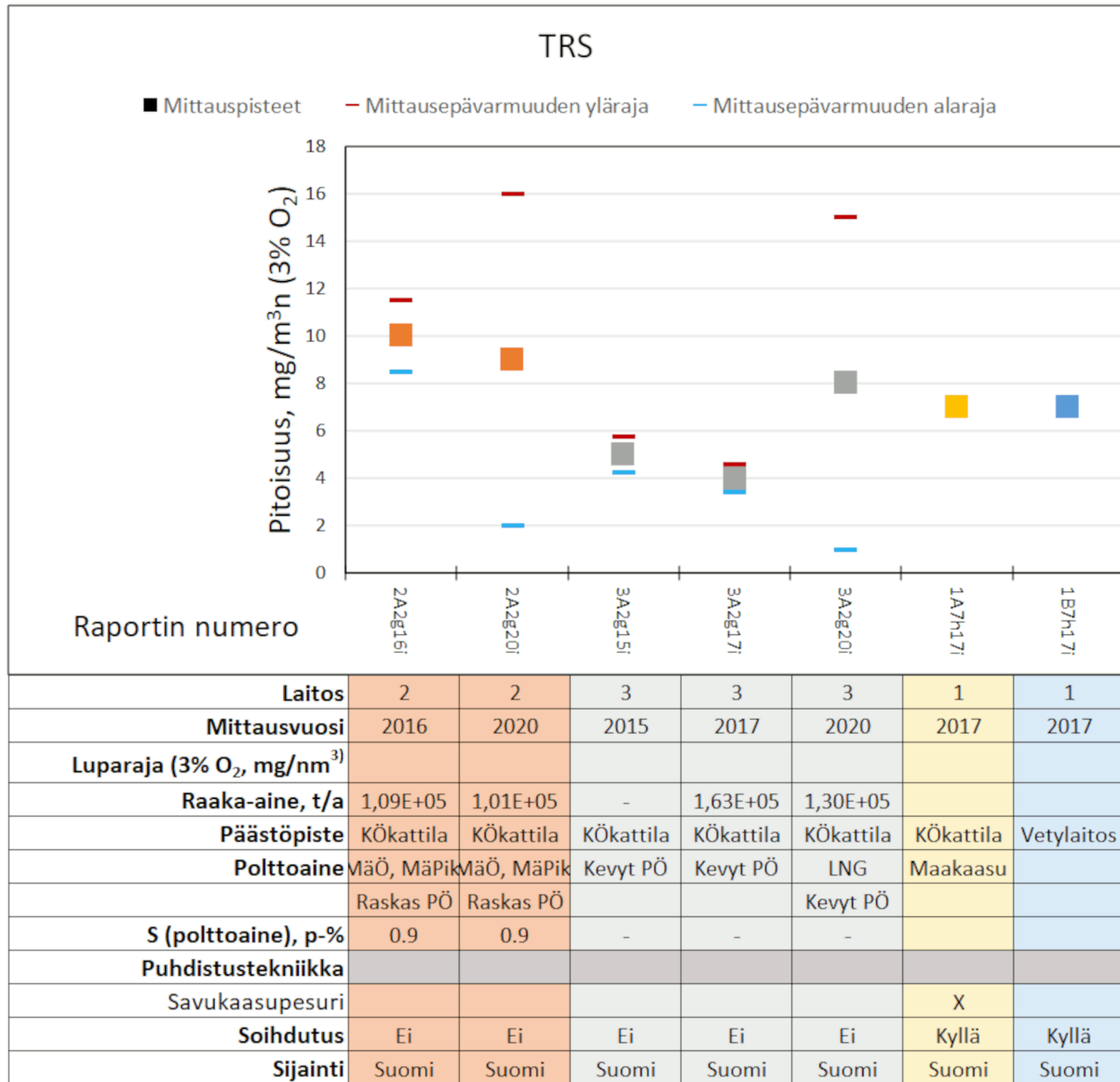
Kuvassa 13 on esitetty soodakattiloiden rikkidioksidipäästöt ilmaan sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT päästötasot ovat 5–50 mg/m³n (6 % O₂) (DS<75 %) ja 5–25mg/m³n (6 % O₂) (DS=75-83 %). DS tarkoittaa mustalipeän kuiva-ainepitoisuutta. Laitosten 4 ja 9 päästöt ovat pysyneet pääosin BAT-alarajalla tai sen alapuolella. Laitoksen 4 päästötasot ovat vaihdelleet enemmän, mutta kaikki päästöt ovat olleet BAT-rajojen sisällä. Laitoksella 4 on vuonna 2018 tehty muutoksia soodakattiloiden polttojärjestelmiin, vuonna 2019 soodakattila 11 sähkösuotimia on huollettu ja vuonna 2020 soodakattila 10 tukipolttoaineksi on lisätty maakaasu.



Kuva 13. Soodakattiloiden rikkidioksidipäästöt ilmaan sellutehtaista.

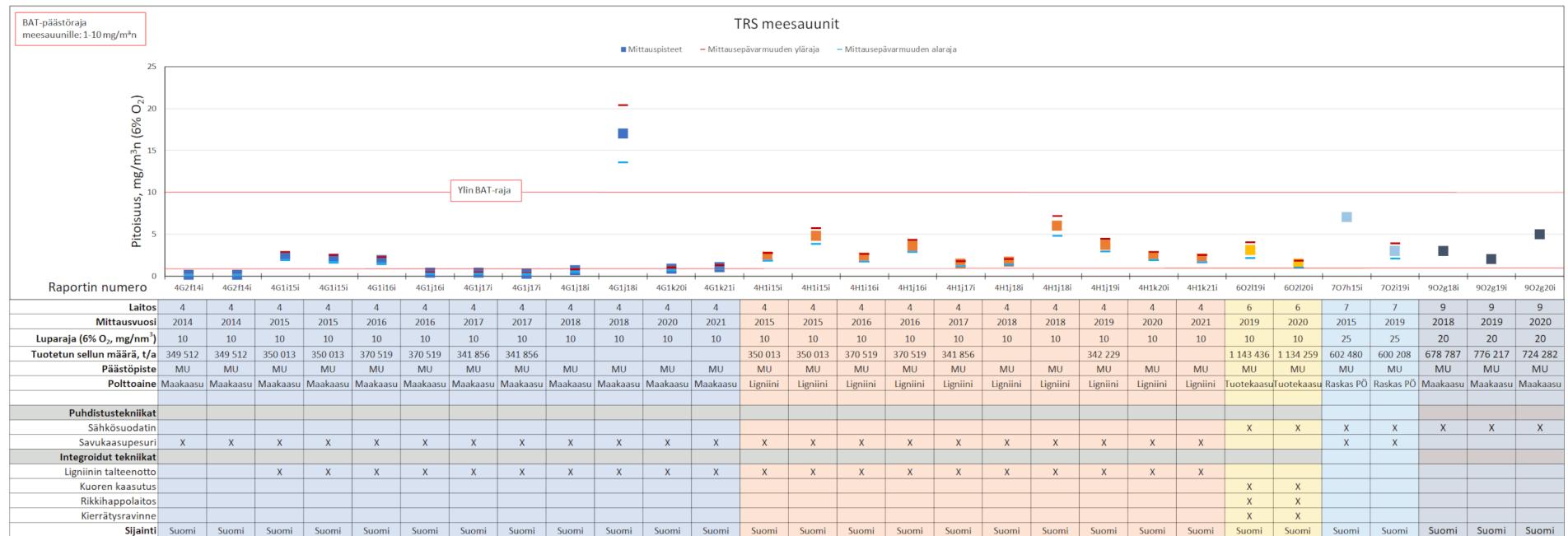
4.1.2 TRS

Kuvassa 14 on esitetty pelkistyneet rikkiyhdistepäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitosten 2, 3 ja 1 päästöt ovat olleet välillä 4–10 mg/m³n (3 % O₂). Laitoksella 2 on vuonna 2017 vaihdettu polttoaine raskaasta polttoöljystä polttoainesekoitukseen, ja siellä otettiin vuonna 2019 uusi hajukaasujärjestelmä käyttöön. Laitoksella 1 vuonna 2018 otettiin käyttöön polttokaasupesuri soihdutuksessa ja vuonna 2020 vetylaitoksen ja kuumaöljykattilan energiatehokkuutta parannettiin.



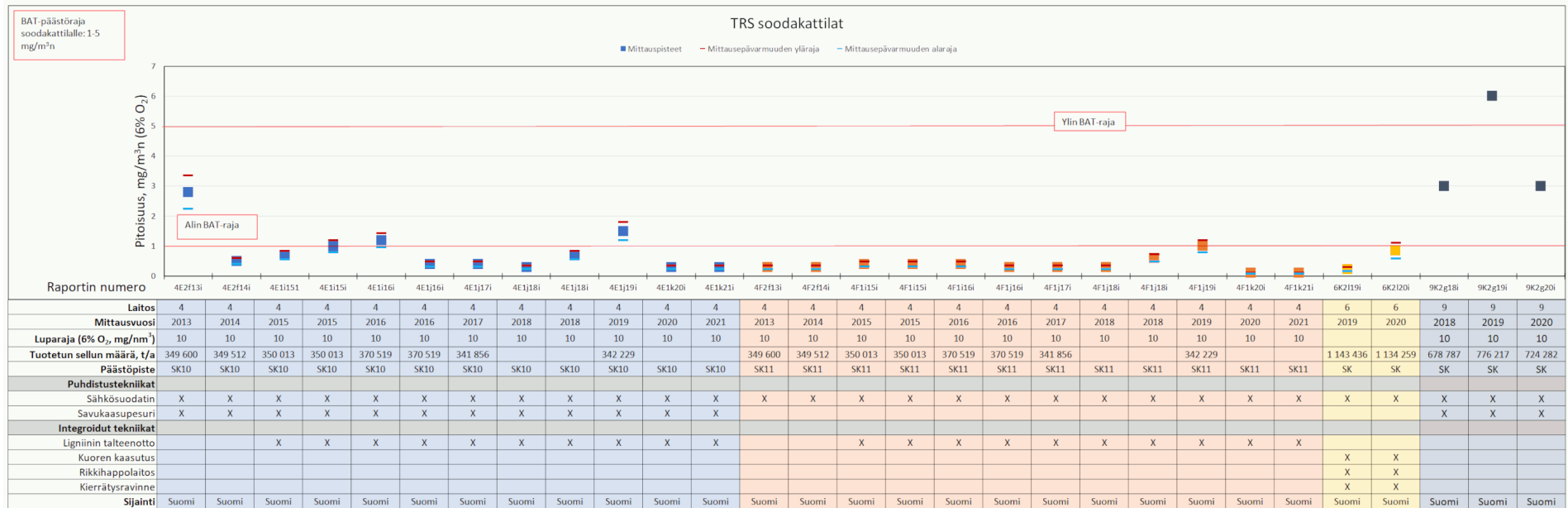
Kuva 14. Pelkistyneet rikkiyhdistepäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 15 on esitetty meesauunien pelkistyneet rikkiyhdistepäästöt ilmaan sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT päästötasot ovat 1–10 mg/m³n (6 % O₂). Laitosten 4, 6, 7 ja 9 päästöt ovat pysyneet pääosin BAT-rajojen sisällä. Laitoksen 4 vuoden 2018 toinen mittaustulos on ylittänyt ylimmän BAT-päästörajan. Mitattu tulos on ollut 17 mg/m³n (6 % O₂). Laitoksella 4 on otettu vuonna 2020 uudet sähkösuodattimet käyttöön. Laitoksella 8 on uusittu vuosina 2015–2016 meesauunien päästömittauslaitteisto. Laitoksella 7 on uusittu hajukaasukattilla ja päästömittarit vuonna 2015.



Kuva 15. Pelkistyneet rikkiyhdistepäästöt ilmaan meesauunista sellutehtaissa.

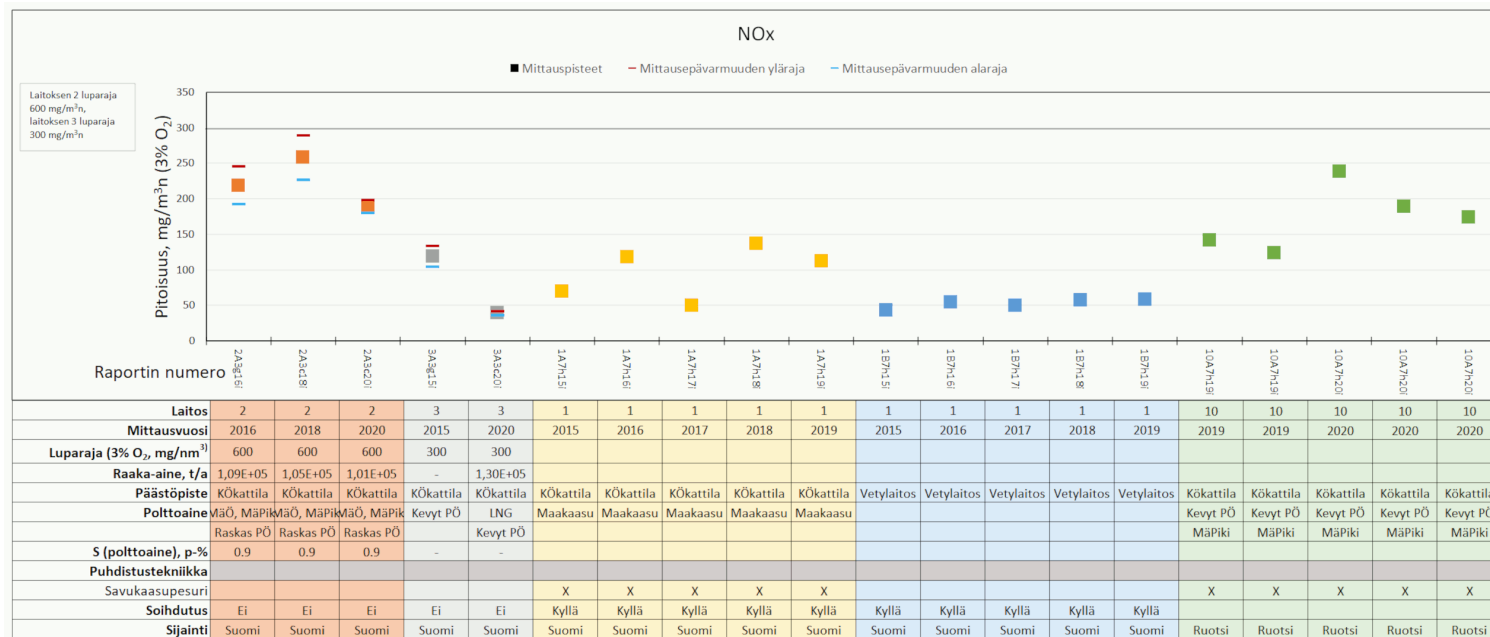
Kuvassa 16 on esitetty soodakattiloiden pelkistyneet rikkiyhdistepäästöt ilmaan sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT päästötasot ovat 1–5 mg/m³n (6 % O₂). Laitosten 4 ja 6 päästöt ovat pysyneet pääosin BAT-alarajalla tai sen alapuolella. Laitoksen 9 päästötasot ovat vaihdelleet enemmän BAT-rajojen sisällä. Laitoksen 9 vuonna 2019 mitattu tulos on ollut yli BAT-rajan, 6 mg/m³n (6 % O₂). Laitoksella 4 on vuonna 2018 tehty muutoksia soodakattiloiden polttojärjestelmiin, vuonna 2019 soodakattila 11 sähkösuotimia on huollettu ja vuonna 2020 soodakattila 10 tukipolttoaineeksi on lisätty maakaasu.



Kuva 16. Pelkistyneet rikkiyhdistepäästöt ilmaan soodakattiloita käyttävissä laitoksissa.

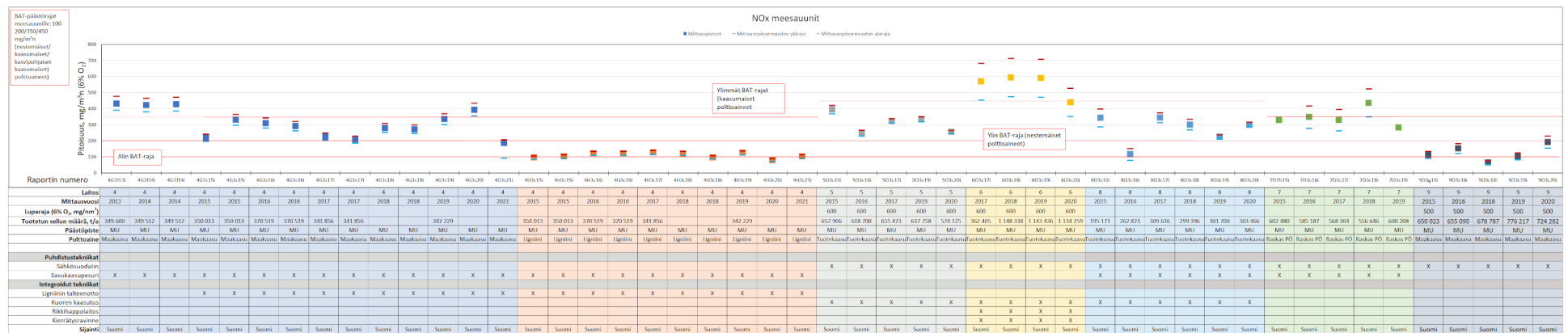
4.1.3 NOx

Kuvassa 17 on esitetty typenoksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitoksen 2 luparaja on 600 mg/m³n (3 % O₂) ja laitoksen 3 luparaja 300 mg/m³n (3 % O₂). Laitosten 2,3,1 ja 10 päästöt ovat pysyneet laitoksen 3 luparajan alapuolella. Laitoksella 2 on vuonna 2017 vaihdettu polttoaine raskaasta polttoöljystä polttoainesekoitukseen, ja siellä otettiin vuonna 2019 uusi hajukaasujärjestelmä käyttöön. Laitoksella 1 vuonna 2018 otettiin käyttöön polttokaasupesuri soihdutuksessa ja vuonna 2020 vetylaitoksen ja kuumaöljykattilan energiatehokkuutta parannettiin.



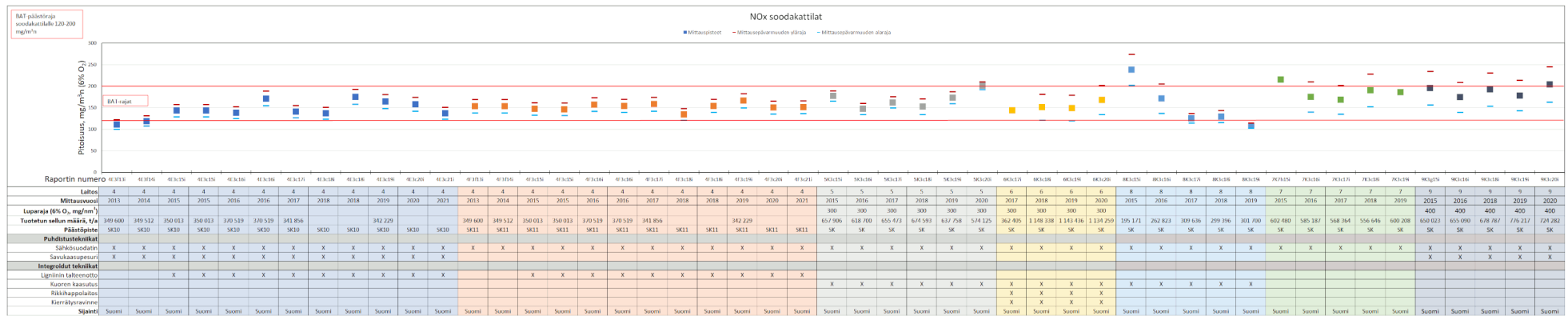
Kuva 17. Typenoksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 18 on esitetty meesauunien typenoksidipäästöt ilmaan sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT päästötasot ovat 100–200 mg/m³n (6 % O₂) nestemäisille polttoaineille, 100–350 mg/m³n (6 % O₂) kaasumaisille polttoaineille ja 100–450 mg/m³n (6 % O₂) kasvipohjaisille kaasumaisille polttoaineille). Laitoksen 4 päästöt ovat osittain ylittäneet BAT-rajoja. Laitoksen 6 päästöt ovat ylittäneet vuosina 2017–2019 BAT-ylärajan. Laitoksella 4 on otettu vuonna 2020 uudet sähkösuodattimet käyttöön. Laitoksella 8 on uusittu vuosina 2015–2016 meesauunien päästömittauslaitteisto. Laitoksella 7 on uusittu hajukaasukattila ja päästömittarit vuonna 2015.



Kuva 18. Meesauunin typenoksidipäästöt ilmaan sellutehtaista.

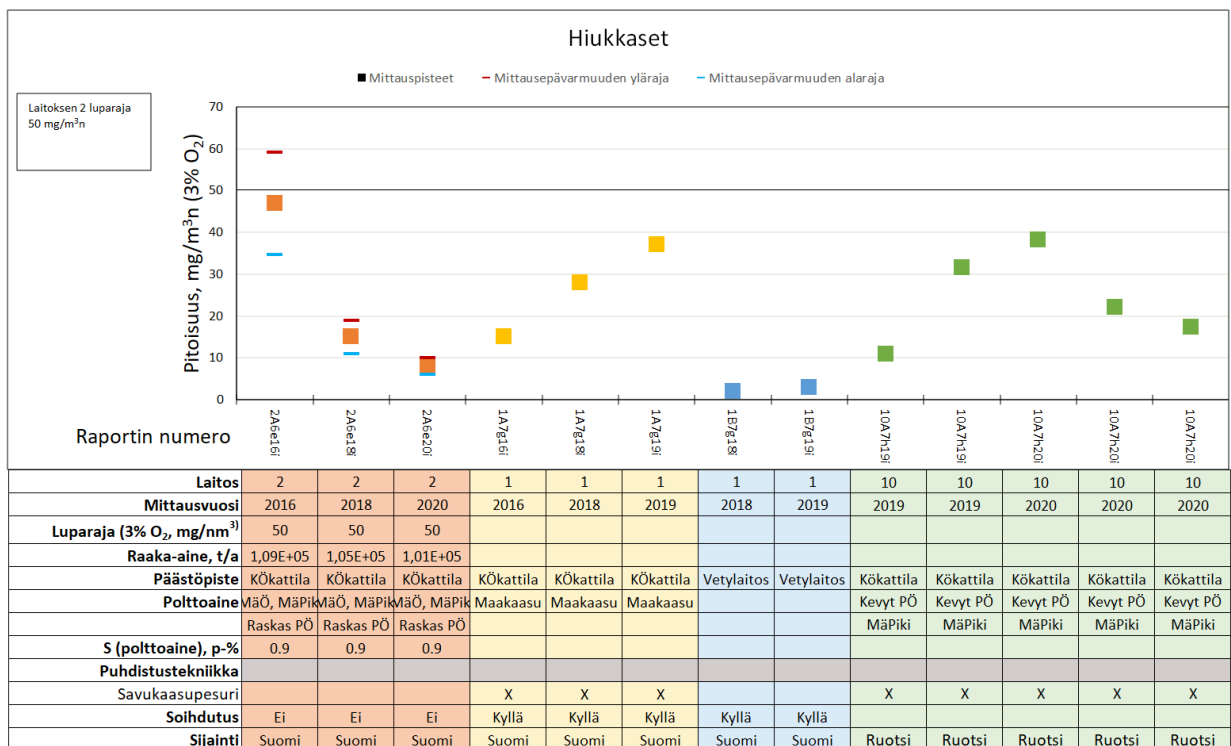
Kuvassa 19 on esitetty soodakattiloiden typenoksidipäästöt ilmaan sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT päästötasot ovat 120–200 mg/m³n (6 % O₂). Laitosten 4, 5, 6, 8, 7 ja 9 päästöt ovat pääosin pysyneet BAT-rajojen sisällä. Vuonna 2015 laitoksen 8 päästöt olivat pitoisuudessa 238 mg/m³n (6 % O₂) ja laitoksen 7 olivat pitoisuudessa 215 mg/m³n (6 % O₂). Laitoksella 4 on vuonna 2018 tehty muutoksia soodakattiloiden polttojärjestelmiin, vuonna 2019 soodakattila 11 sähkösuotimia on huollettu ja vuonna 2020 soodakattila 10 tukipolttoaineeksi on lisätty maakaasu. Laitoksella 8 on vuonna 2017 uusittu soodakattiloiden päästömittauslaitteisto ja vuonna 2018 savukaasupesuri. Vuonna 2020 laitoksen 8 soodakattiloiden sähkösuodattimia on modifioitu. Laitoksella 7 on uusittu hajukaasukattila ja päästömittarit vuonna 2015.



Kuva 19. Soodakattiloiden typenoksidipäästöt ilmaan sellutehtaista.

4.1.4 Hiukkaset

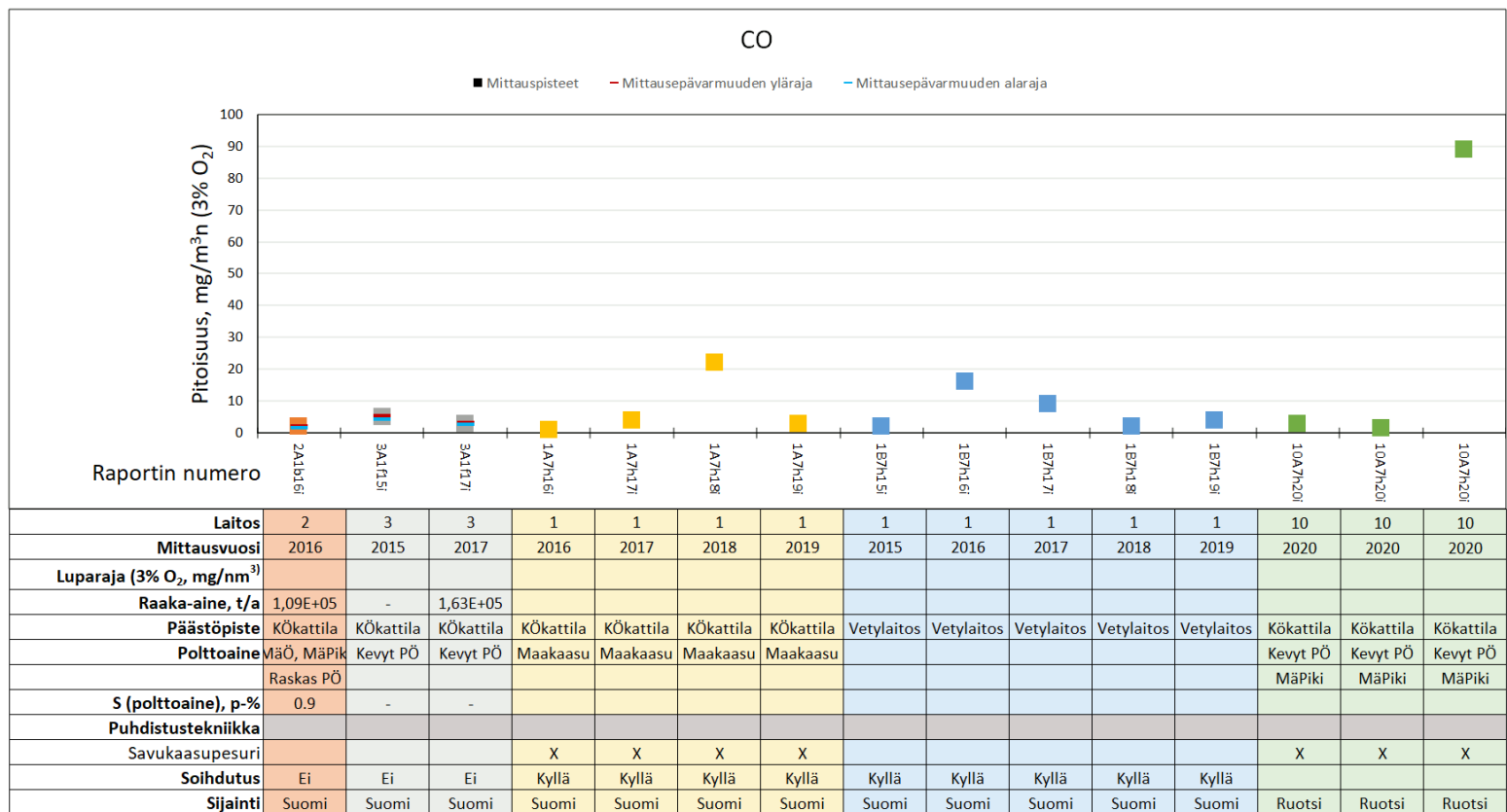
Kuvassa 20 on esitetty hiukkaspäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitoksen 2 luparaja on 50 mg/m³n (3 % O₂). Laitosten 2, 1 ja 10 päästöt ovat pysyneet laitoksen 2 luparajan alapuolella. Laitoksen 2 päästöt ovat vähentyneet vuoden 2016 pitoisuudesta 47 mg/m³n (3 % O₂) vuosina 2018 pitoisuuteen 15 mg/m³n (3 % O₂) ja 2020 pitoisuuteen 8 mg/m³n (3 % O₂). Laitoksella 2 on vuonna 2017 vaihdettu polttoaine raskaasta polttoöljystä polttoainesekoitukseen, ja laitoksella otettiin vuonna 2019 uusi hajukaasujärjestelmä käyttöön. Laitoksen kuumaöljykattilan päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2016–2019 pitoisuusvälillä 15–37 mg/m³n (3 % O₂). Laitoksen 1 vetylaitoksen päästöt ovat vuosina 2018–2019 pysyneet 2–3 mg/m³n (3 % O₂) pitoisuudessa. Laitoksen 10 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2019–2020 pitoisuuksilla 11–38 mg/m³n (3 % O₂).



Kuva 20. Hiukkaspäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

4.1.5 CO

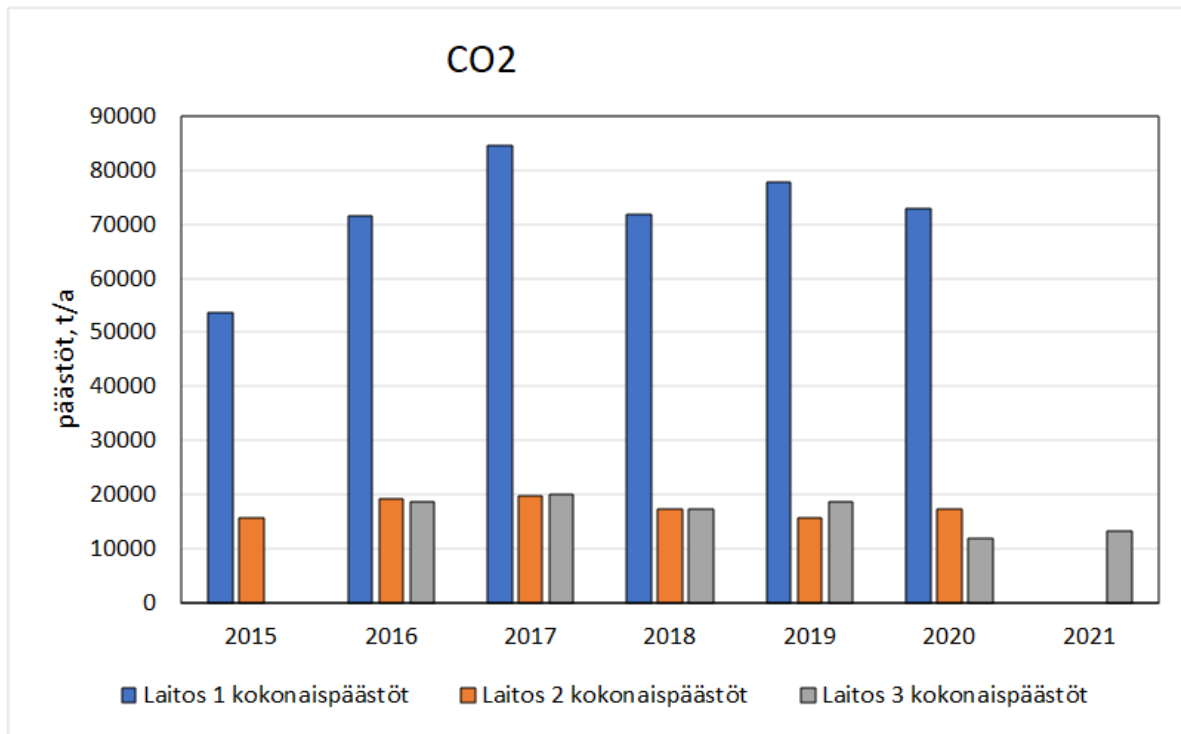
Kuvassa 22 on esitetty hiilimonoksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitosten 2, 3, 1 ja 10 päästöt ovat vaihdelleet pitoisuusvälillä 2–22 mg/m³n (3 % O₂). Poikkeuksena laitoksen 10 vuoden 2020 mittaustulos, joka on 89 mg/m³n (3 % O₂). Laitoksella 2 on vuonna 2017 vaihdettu polttoaine raskaasta polttoöljystä polttoainesekoitukseen, ja siellä otettiin vuonna 2019 uusi hajukaasujärjestelmä käyttöön. Laitoksella 1 vuonna 2018 otettiin käyttöön polttokaasupesuri soihdutuksessa ja vuonna 2020 vetylaitoksen ja kuumaöljykattilan energiatehokkuutta parannettiin.



Kuva 22. Hiilimonoksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

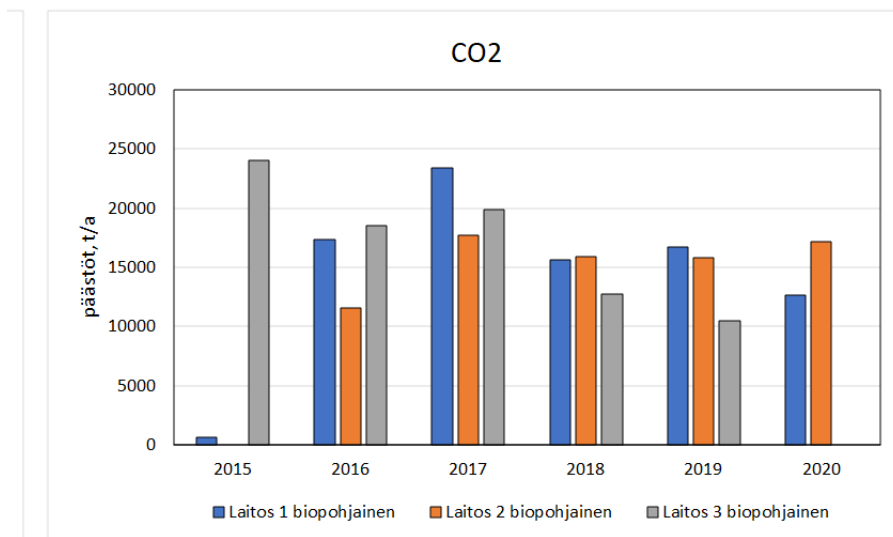
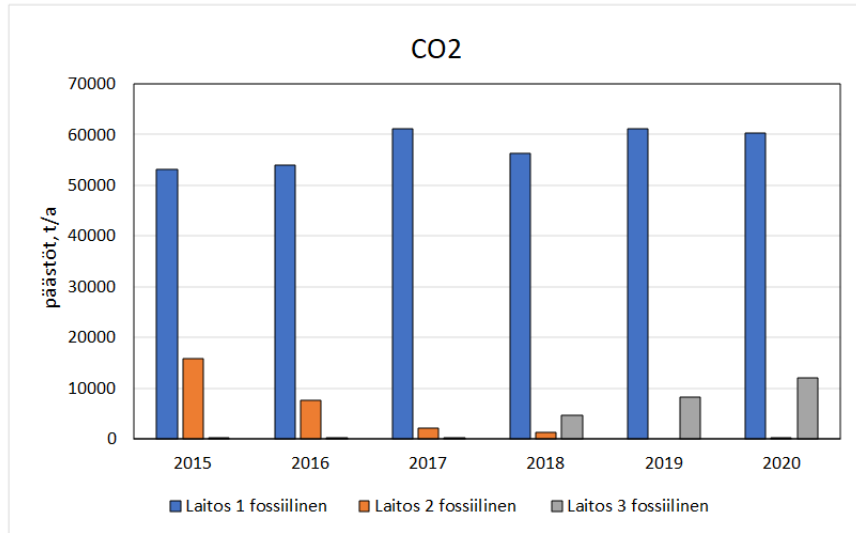
4.1.6 CO₂

Kuvassa 25 on esitetty hiilidioksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitoksella 1 vuonna 2018 otettiin käyttöön polttokaasupesuri soihdutuksessa ja vuonna 2020 vetylaitoksen ja kuumaöljykattilan energiatehokkuutta parannettiin. Laitoksella 2 on vuonna 2017 vaihdettu polttoaine raskaasta polttoöljystä polttoainesekoitukseen, ja laitoksella otettiin vuonna 2019 uusi hajukaasujärjestelmä käyttöön.



Kuva 25. Hiilidioksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 26 on esitetty biopohjaiset ja fossiiliset hiilidioksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Fossiilinen hiilidioksidi on peräisin laitoksella käytetystä maakaasusta ja biopohjainen hiilidioksidi käytetyistä biopolttoaineista.

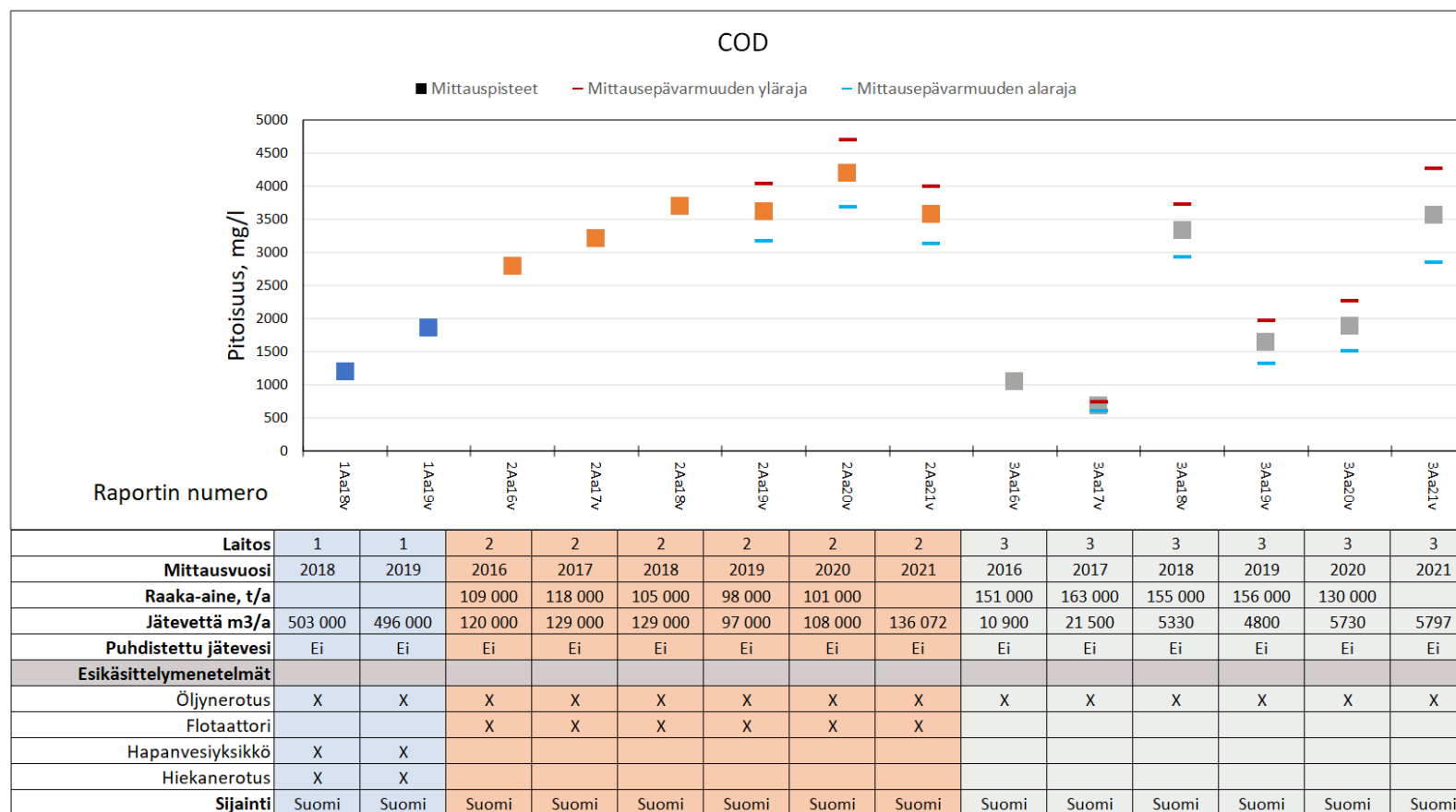


Kuva 26. Hiilidioksidipäästöt ilmaan mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Kuvassa on eriteltyä biopohjainen ja fossiilinen hiilidioksidi. Fossiilinen hiilidioksidi on laitoksella käytetystä maakaasusta ja biopohjainen hiilidioksidi käytetyistä biopolttoaineista.

4.2 Päästöt veteen

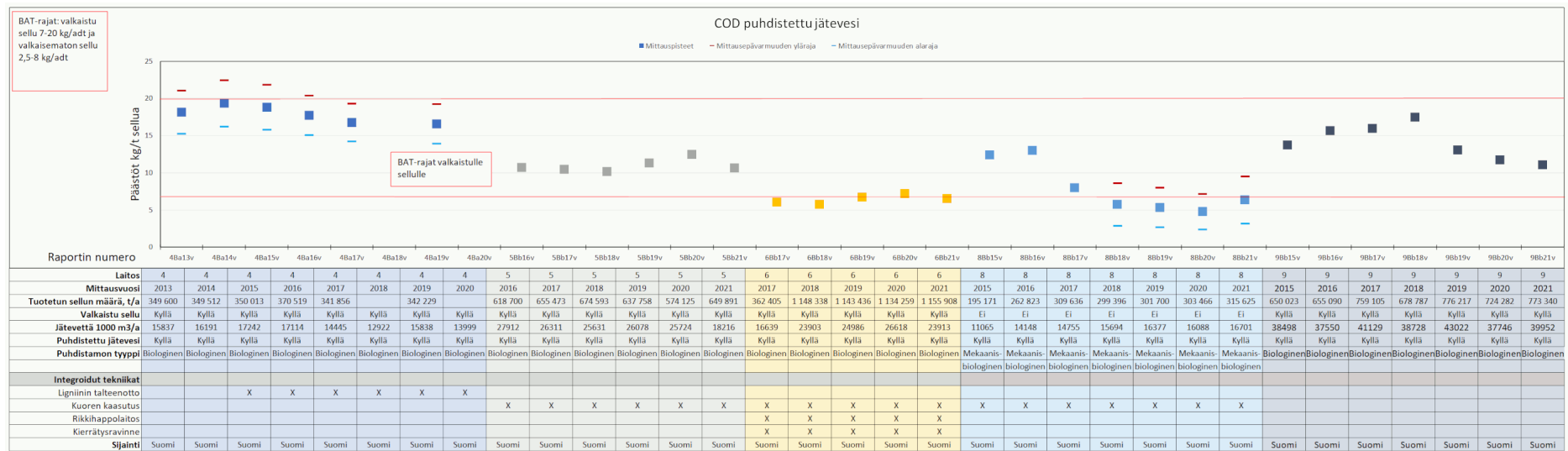
4.2.1 COD

Kuvassa 27 on esitetty COD-päästöt mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitosten 1, 2 ja 3 päästöt ovat vaihdelleet pitoisuusvälillä 1200–4200 mg/L.



Kuva 27. COD-päästöt mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

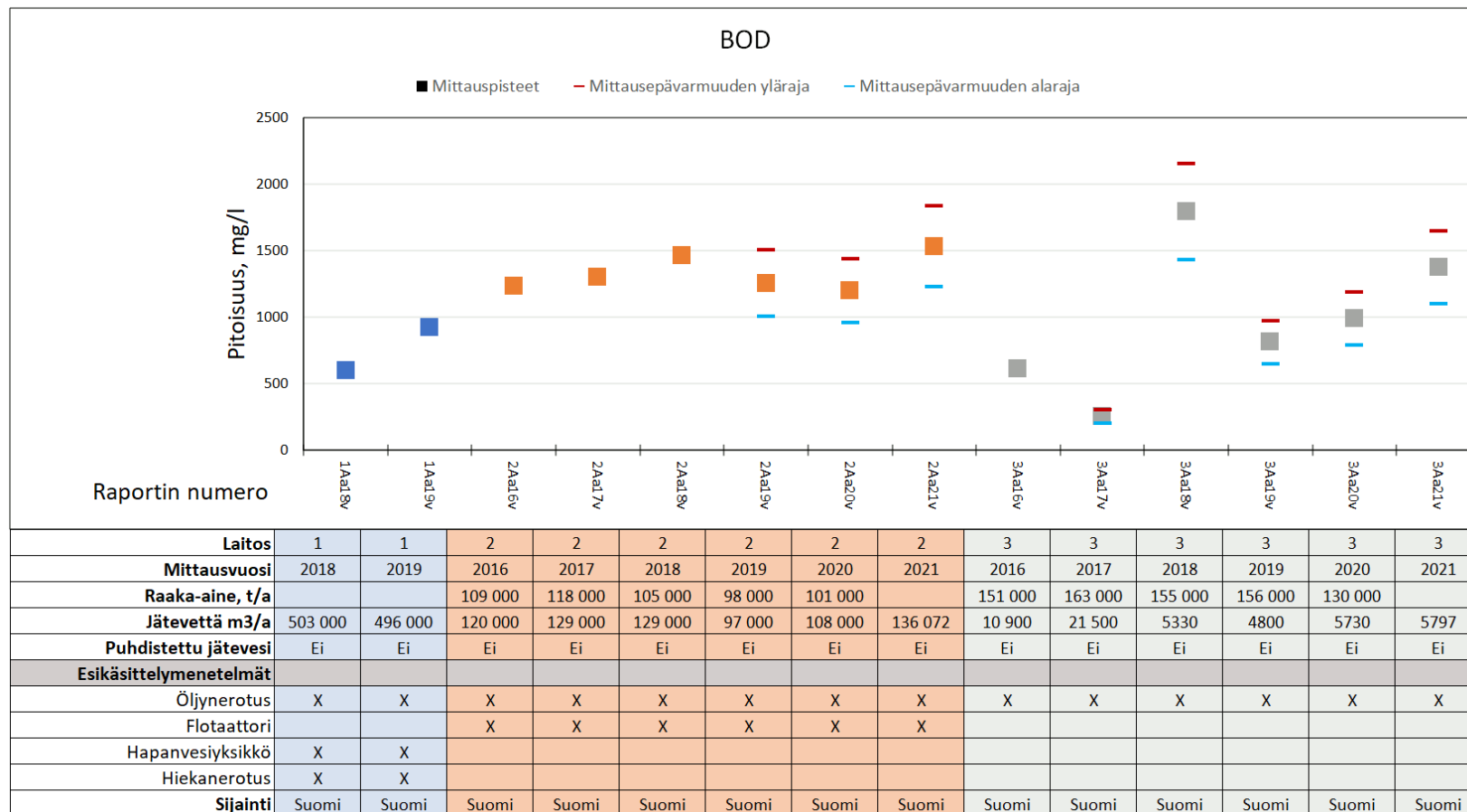
Kuvassa 28 on esitetty puhdistetun jäteveden COD-päästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT-päästötasot valkaistulle sellulle on 7–20 kg/ADt ja valkaisuamattomalle sellulle 2,5–8 kg/ADt. Laitosten 4, 5, 6 ja 9 päästöt ovat pysyneet valkaistun sellun BAT-päästörajoissa. Laitoksen 8 päästöt on ylittänyt valkaisuamattoman sellun BAT-ylärajan vuosina 2015 ja 2016, mutta muuten pysynyt BAT-päästötasojen sisällä. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun ja vuonna 2014 optimoitu kuitulinjojen ajomalleja COD-päästöjen laskemiseksi. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen, vuonna 2017 jätevedenpuhdistamolla on otettu jatkuvatoiminen COD-päästöjen mittausta käyttöön ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on kunnostettu esiselkeyttämiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 28. COD-päästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

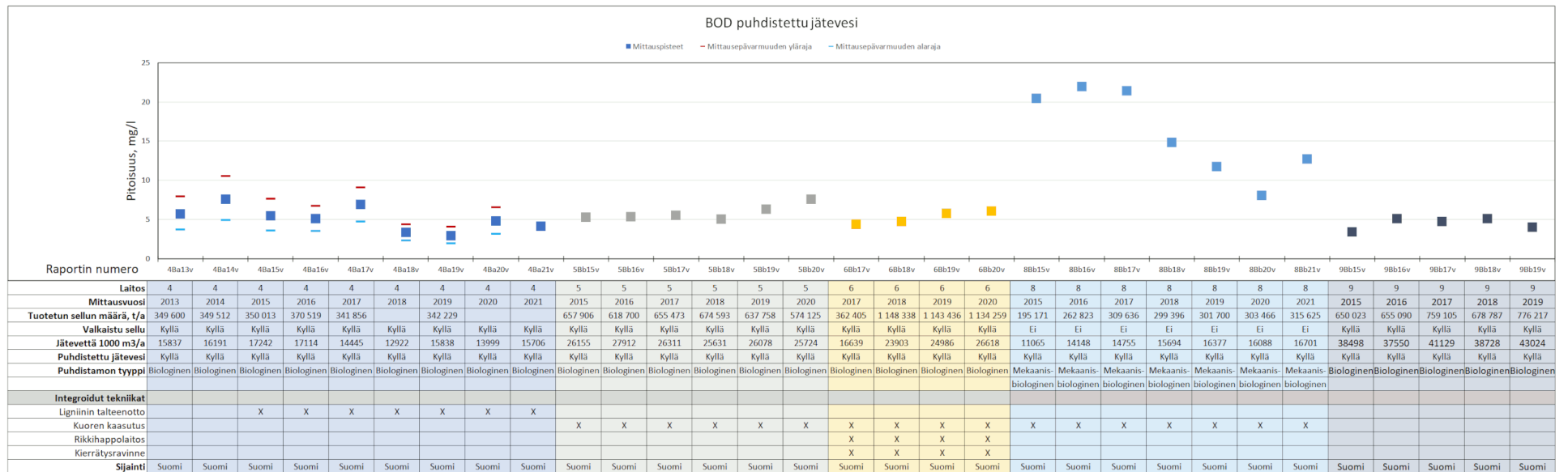
4.2.2 BOD

Kuvassa 29 on esitetty BOD-päästöt mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitosten 1, 2 ja 3 päästöt ovat vaihdelleet pitoisuusvälillä 600–1800 mg/L.



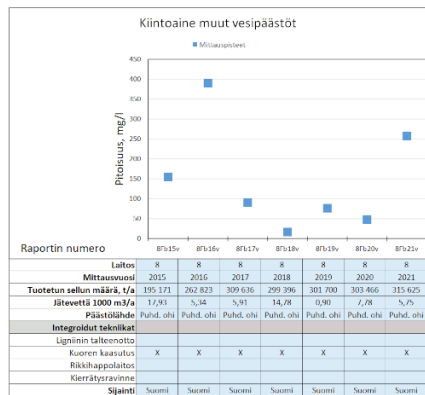
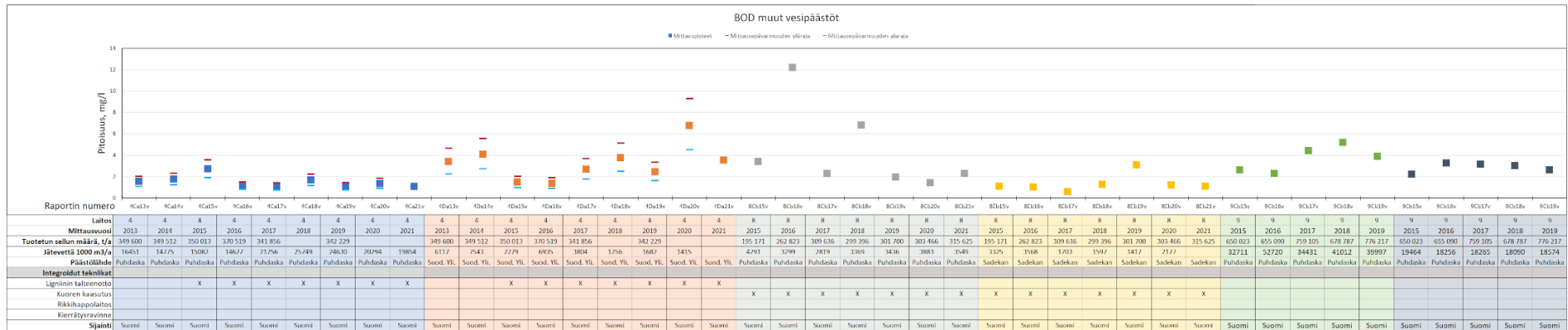
Kuva 29. BOD-päästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 30 on esitetty puhdistetun jäteveden BOD-päästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitosten 4,5,6 ja 9 päästöt ovat vaihdelleet pitoisuusvälillä 3–8 mg/L. Laitoksen 8 päästöt ovat pääosin laskeneet vuodesta 2015, jolloin päästöjen pitoisuus oli 20 mg/L vuoteen 2021, jolloin pitoisuus oli 13 mg/L. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttämiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 30. BOD-päästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

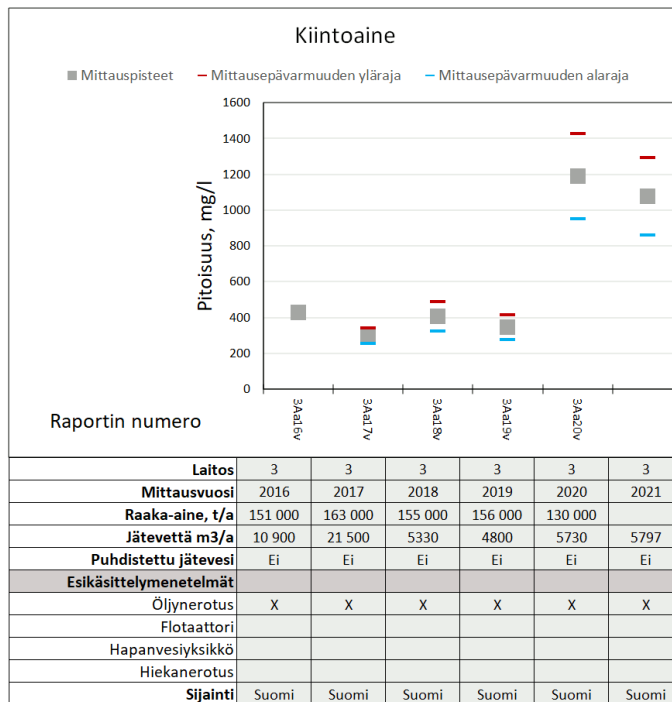
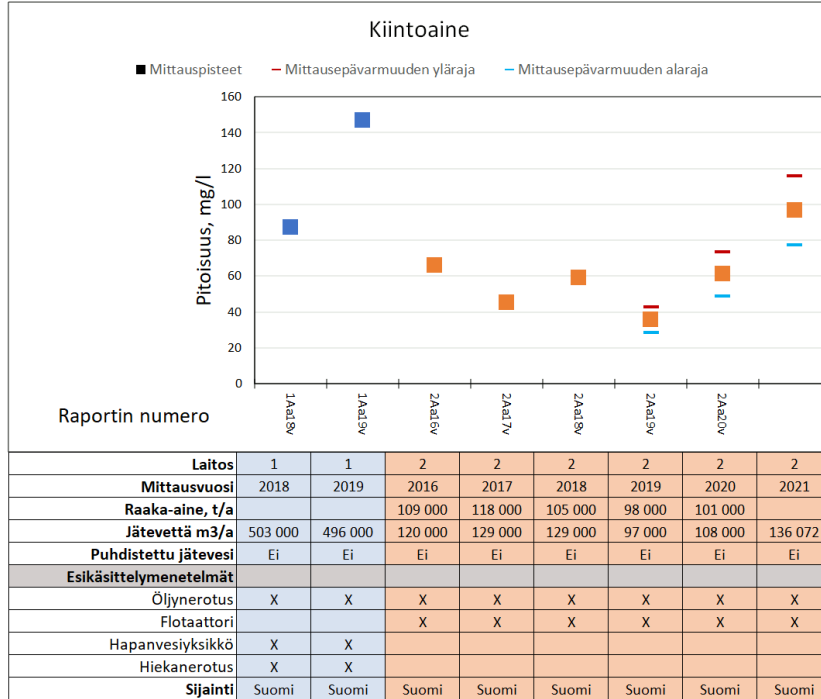
Kuvassa 31 on esitetty muut BOD-päästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitosten 4, 8 ja 9 päästöt ovat vaihdelleet välillä 20–60 mg/L. Laitoksen 8 puhdistamon ohituksen BOD-pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 70–1900 mg/L. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttämiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 31. Muut BOD-päästöt veteen sellutehtaiden jätevedestä.

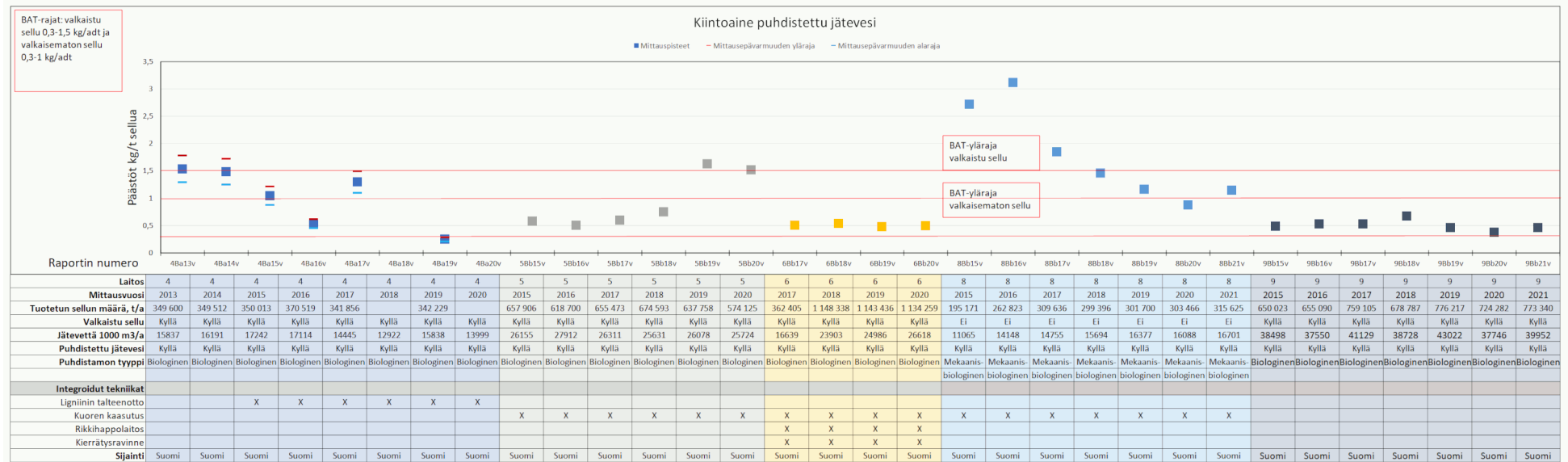
4.2.3 Kiintoaine

Kuvassa 32 on esitetty kiintoainepäästöt mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitoksen 1 päästöt ovat vaihdelleet pitoisuuksilla 90–150 mg/L. Laitoksen 2 pitoisuudet ovat vaihdelleet 35–100 mg/L. Laitoksen 3 pitoisuudet ovat vaihdelleet 300–1200 mg/L.



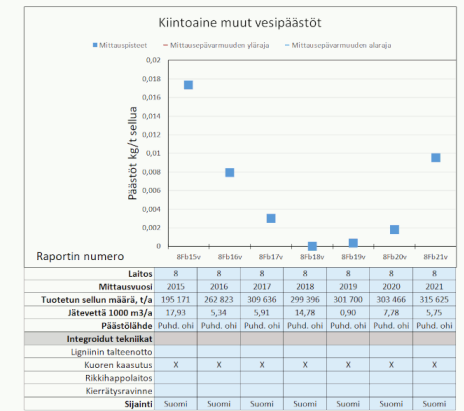
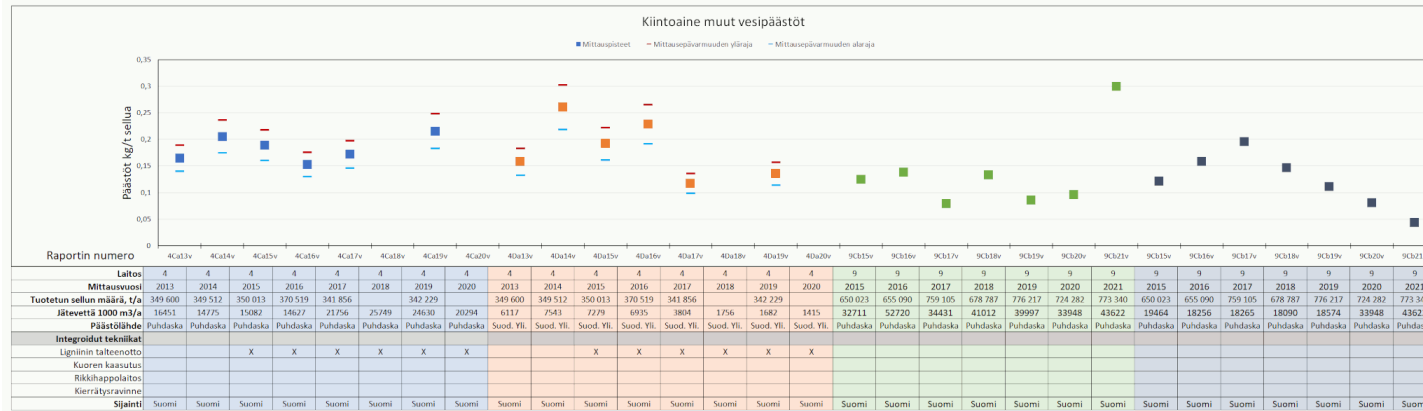
Kuva 32. Kiintoainepäästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 33 on esitetty puhdistetun jäteveden kiintoainepäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT-tasot ovat valkaistulle sellulle 0,3–1,5 kg/adt ja valkaisemattomalle sellulle 0,3–1 kg/ADt. Laitoksen 4 ja 5 päästöt ovat vaihdelleet valkaistun sellun BAT-rajojen sisällä. Laitosten 6 ja 9 päästöt ovat olleet BAT-alarajalla. Laitoksen 8 päästöt ovat pääosin ylittäneet valkaisemattoman sellun BAT-ylärajan. Vuosina 2015–2017 päästöt ovat olleet 1,8–3,1 kg/ADt. Laitoksen 8 päästöt olivat vuonna 2018 1,5 kg/ADt, vuonna 2019 1,2 kg/ADt, vuonna 2020 0,9 kg/ADt ja 2021 1,1 kg/adt. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttämiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 33. Kiintoainepäästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

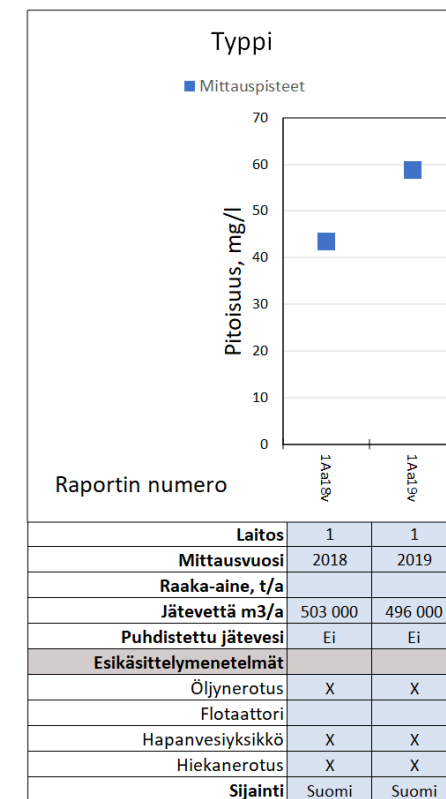
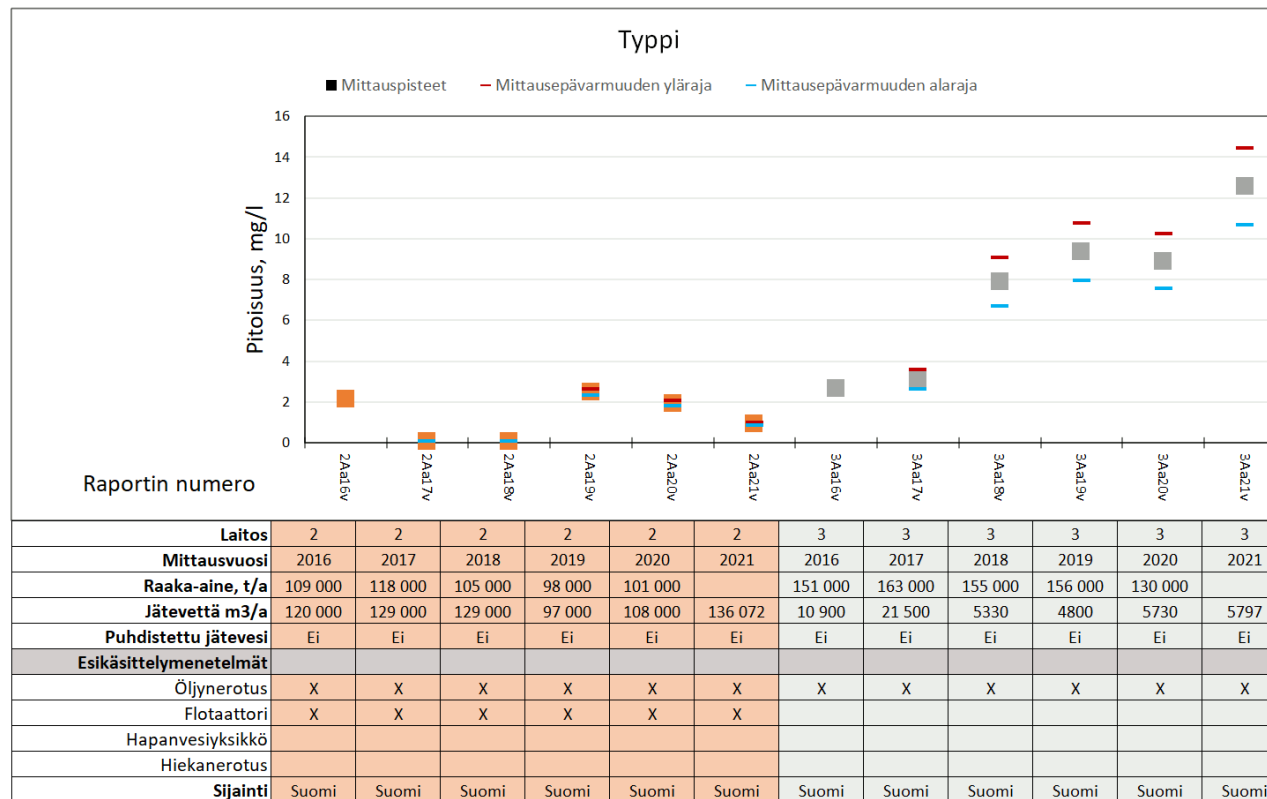
Kuvassa 34 on esitetty muut kiintoainepäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitoksen 4 päästöt ovat vaihdelleet välillä 0,11–0,26 kg/ADt. Laitoksen 9 päästöt ovat olleet pääosin välillä 0,04–0,20 kg/ADt. Vuonna 2019 laitoksen 9 päästöt ovat olleet 0,29 kg/ADt. Vuosina 2015–2021 laitoksen 8 päästöt ovat olleet 0,02 kg/ADt tai sen alapuolella. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttimiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 34. Muut kiintoainepäästöt veteen sellutehtaiden jätevedestä.

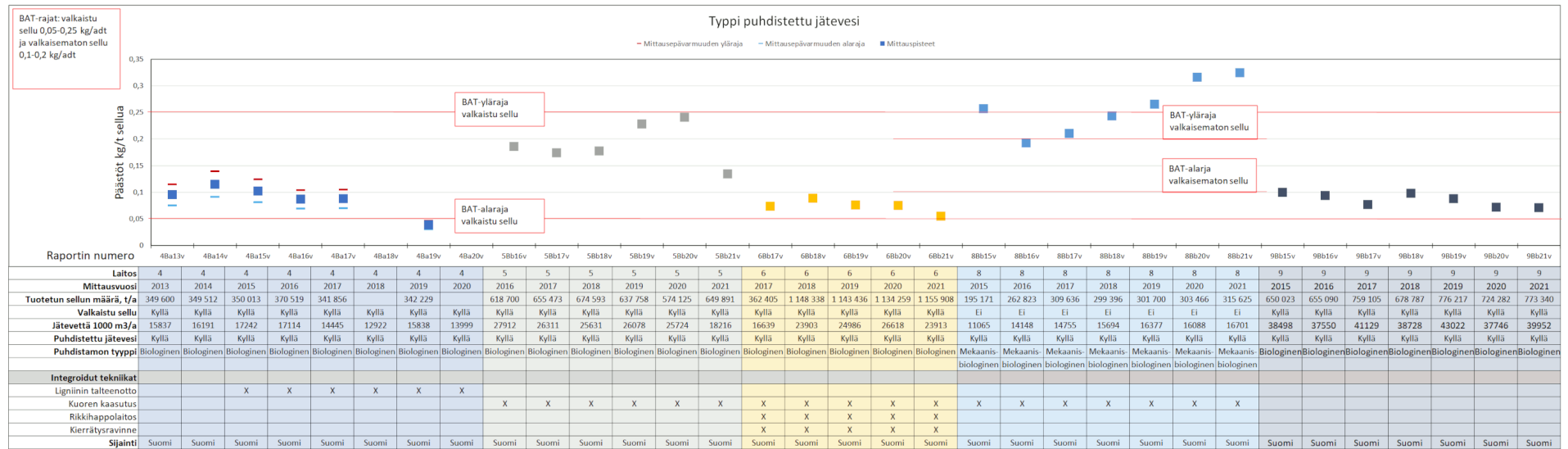
4.2.4 Kokonaistyyppi

Kuvassa 35 on esitetty kokonaistyyppipäästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitoksen 2 päästöt ovat olleet vuosina 2016–2021 välillä 0,06–2,47 mg/L. Laitoksen 3 päästöt ovat olleet vuosina 2016–2021 välillä 2,65–9,38 mg/L. Laitoksen 1 päästöt ovat olleet vuonna 2018 43,51 mg/L ja vuonna 2019 58,82 mg/L.



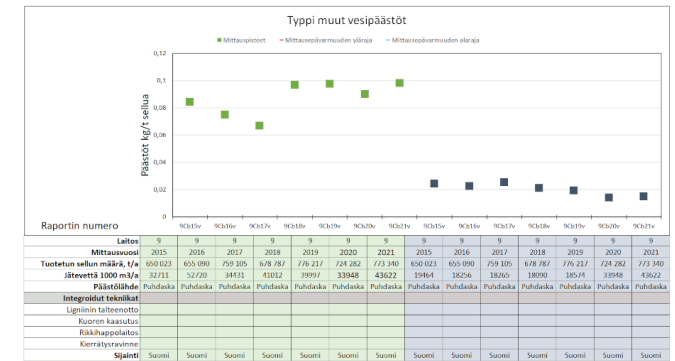
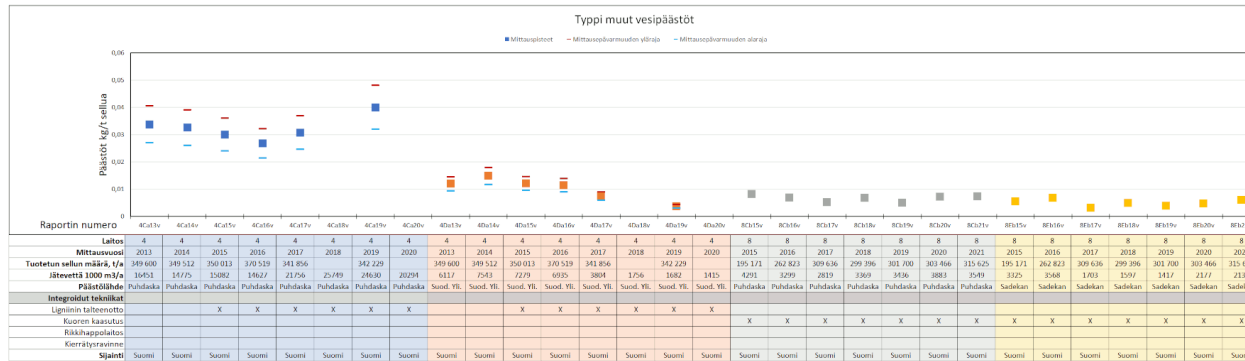
Kuva 35. Kokonaistyyppipäästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 36 on esitetty puhdistetun jäteveden kiintoainepäästöt veteen sulfaattisellulla valmistavilta laitoksilta. BAT-tasot ovat valkaistulle sellulle 0,05–0,25 kg/ADt ja valkaisuamattomalle sellulle 0,1–0,2 kg/ADt. Laitosten 4, 6 ja 9 päästöt ovat olleet pääosin valkaistun sellun alarajalla. Laitoksen 5 päästöt ovat vaihdelleet enemmän ja olleet myös lähellä valkaistun sellun BAT-ylärajan. Laitoksen 8 päästöt ovat pääosin ylittäneet valkaisuamattoman sellun BAT-ylärajan. Vuonna 2016 laitoksen 8 päästöt olivat 0,19 kg/ADt, joka valkaisuamattoman sellun BAT-tasojen sisällä. Vuonna 2015 ja vuosina 2017–2021 laitoksen 8 päästöt ovat vaihdelleet 0,21–0,32 kg/ADt välillä. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös esiselkeyttimiä kunnostettu vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 puhdistamon pumppuja on uusittu.



Kuva 36. Kokonaistyyppipäästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

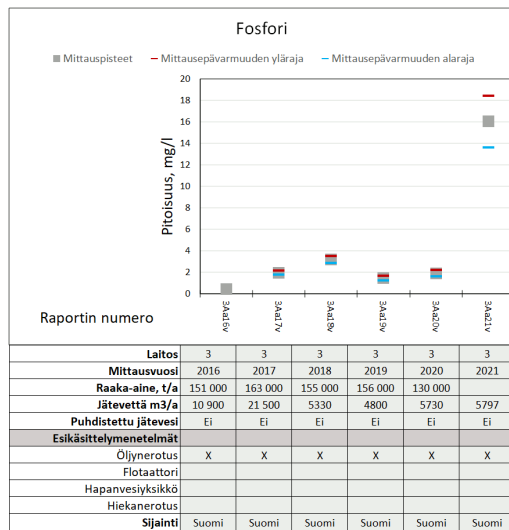
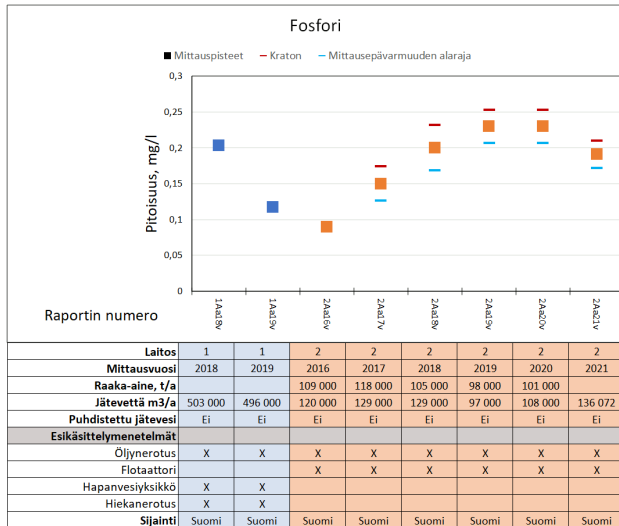
Kuvassa 37 on esitetty muut typipäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitoksen 4 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2013–2020 välillä 0,004–0,040 kg/ADt. Laitoksen 8 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2021 välillä 0,003–0,008 kg/adt. Laitoksen 9 vaihdelleet vuosina 2013–2021 välillä 0,014–0,098 kg/adt. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttimiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 37. Muut typipäästöt veteen sellutehtaiden jätevedestä.

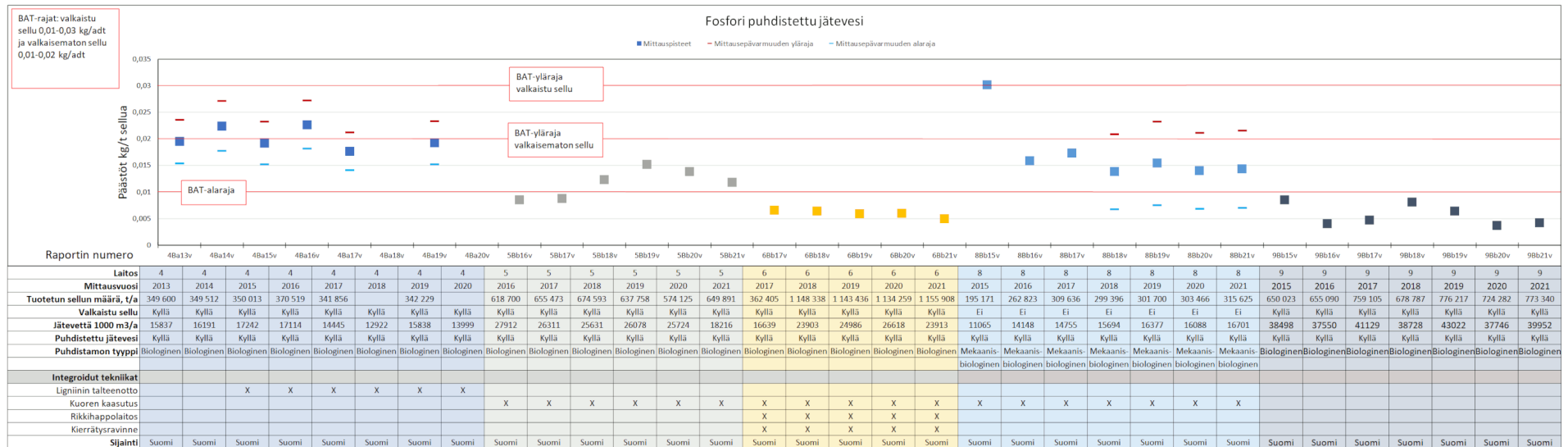
4.2.5 Kokonaisfosfori

Kuvassa 38 on esitetty kokonaisfosforipäästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa. Laitoksen 1 päästöt ovat olleet vuosina 2018–2019 0,20 ja 0,11 mg/L. Laitoksen 2 päästöt ovat olleet vuosina 2016–2021 välillä 0,09–0,23 mg/L. Laitoksen 3 päästöt ovat olleet vuosina 2016–2021 välillä 0,46–16,04 mg/L.



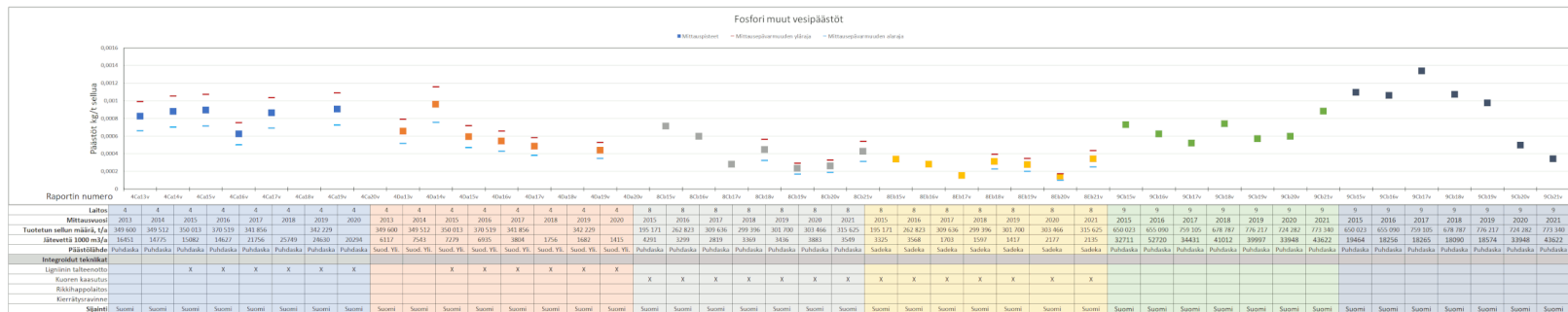
Kuva 38. Kokonaisfosforipäästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

Kuvassa 39 on esitetty puhdistetun jäteveden kokonaisfosforipäästöt veteen sulfaattisellulla valmistavilta laitoksilta. BAT-tasot ovat valkaistulle sellulle 0,01–0,03 kg/ADt ja valkaisemattomalle sellulle 0,01–0,02 kg/ADt. Laitoksen 4 päästöt ovat vaihdelleet valkaistun sellun BAT-tason sisällä. Laitosten 5, 6 ja 9 päästöt ovat olleet pääosin valkaistun sellun BAT-alarajalla tai sen alapuolella. Laitoksen 8 päästöt ovat vaihdelleet valkaisemattoman sellun BAT-tasojen sisällä. Poikkeuksena on laitoksen 8 vuoden 2015 mitattu päästö 0,03 kg/ADt. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen, vuonna 2017 jätevedenpuhdistamolla on otettu jatkuvatoiminen fosforipäästöjen mittaus käyttöön ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttämiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.

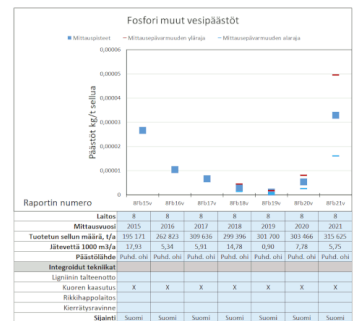


Kuva 39. Kokonaisfosforipäästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

Kuvassa 40 on esitetty muut tyyppipäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitoksen 4 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2013–2020 välillä 0,0004–0,0010 kg/ADt. Laitoksen 8 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2021 välillä 0,0001–0,0007 kg/ADt. Laitoksen 8 puhdistamon ohi menevän veden fosforipitoisuus on ollut vuosina 2015–2021 alle 0,00035 kg/ADt. Laitoksen 9 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2021 välillä 0,0003–0,0013 kg/ADt. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen, vuonna 2017 jätevedenpuhdistamolla on otettu jatkuvatoiminen fosforipäästöjen mittausta käyttöön ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttäjiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.

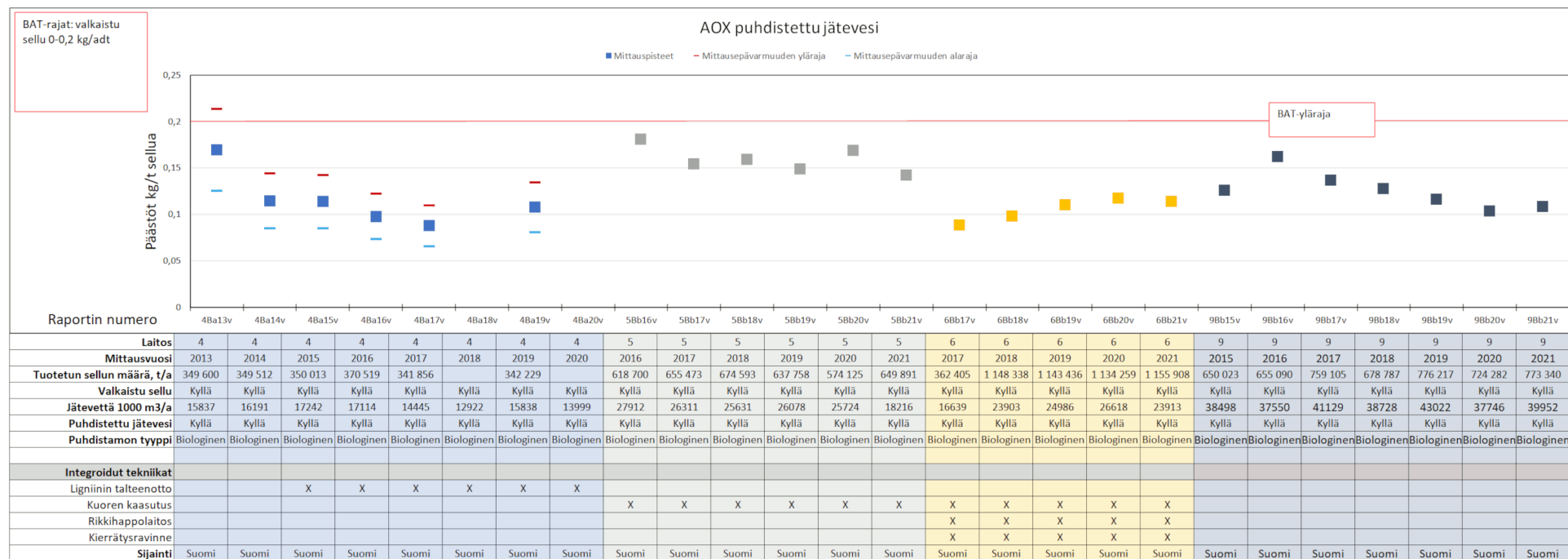


Kuva 40. Muut fosforipäästöt veteen sellutehtaiden jätevedestä.



4.2.6 AOX

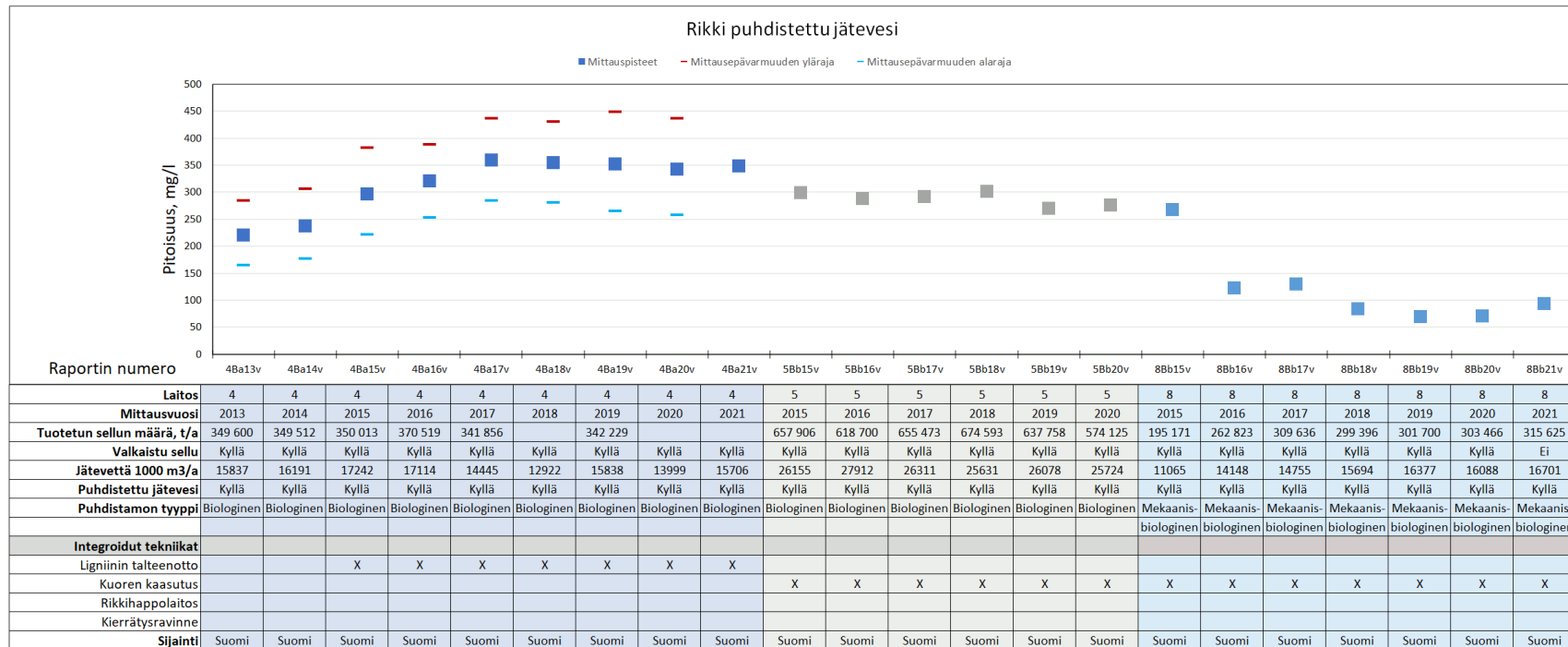
Kuvassa 41 on esitetty puhdistetun jäteveden AOX-päästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. BAT-tasot ovat valkaistulle sellulle 0–0,2 kg/ADt. Laitosten 4, 5, 6 ja 9 päästöt ovat pysyneet BAT-rajojen sisäpuolella ja vaihdelleet välillä 0,09–0,18 kg/ADt. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuoje-luun ja vuonna 2014 optimoitu kuitulinjojen ajomalleja AOX-päästöjen vähentämiseksi.



Kuva 41. AOX-päästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

4.2.7 Rikki

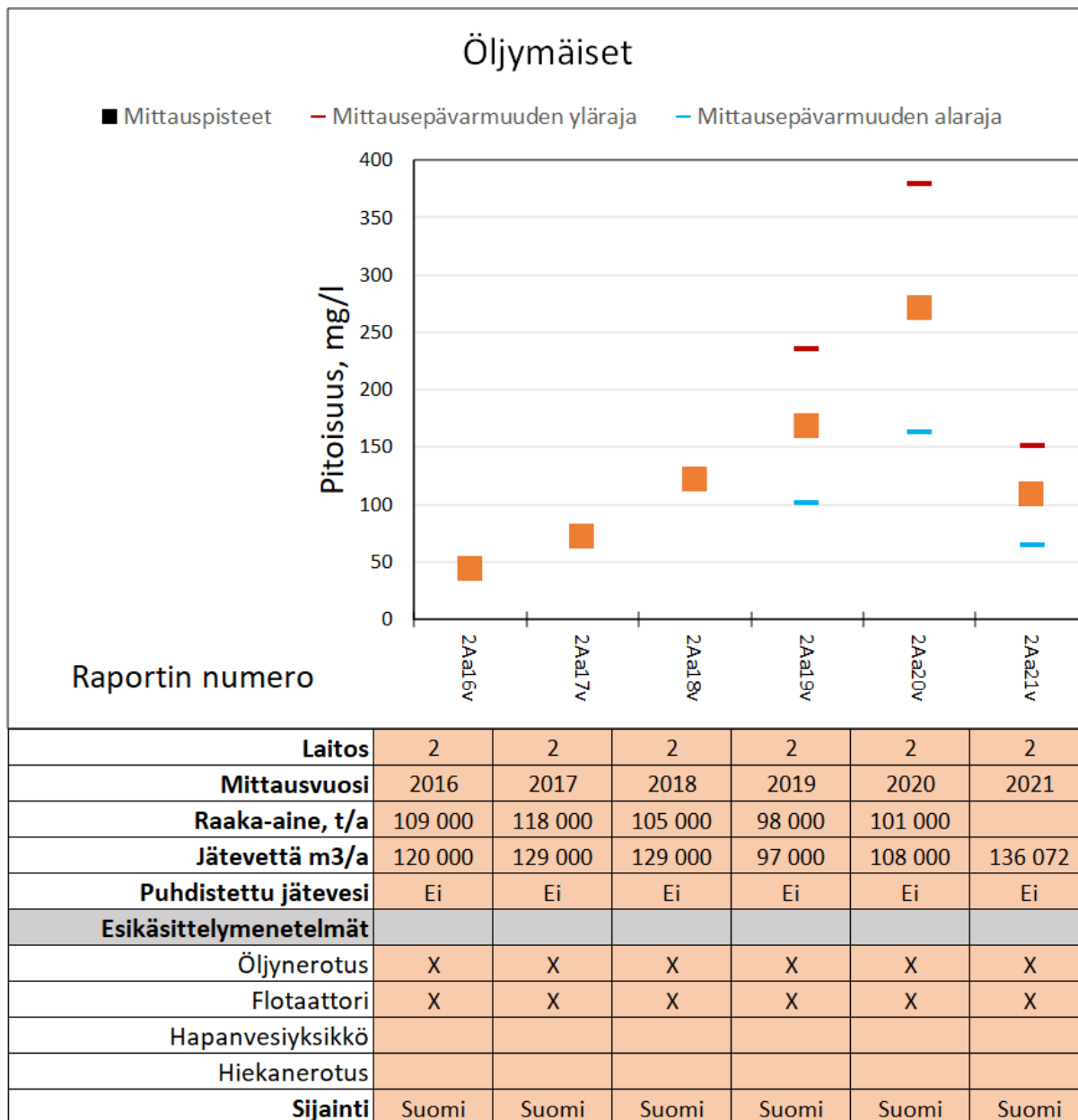
Kuvassa 42 on esitetty puhdistetun jäteveden rikkipäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitoksen 4 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2013–2021 pitoisuuksilla 220–320 mg/L. Laitoksen 5 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2020 pitoisuuksilla 270–300 mg/L. Laitoksen 8 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2021 välillä 70–270 mg/L. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun. Laitoksella 8 on uusittu vuonna 2015 raakaveden käsittelylaitos, vuonna 2016 on investoitu jätevedenpuhdistamon lietteen puhallukseen ja esiselkeytykseen ja vuonna 2018 biologisen puhdistuksen ilmastusta on tehostettu. Laitoksella 8 on myös kunnostettu esiselkeyttämiä vuosina 2018–2020 ja vuosina 2019–2020 on uusittu puhdistamon pumppuja.



Kuva 42. Rikkipäästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

4.2.8 Öljymäiset aineet

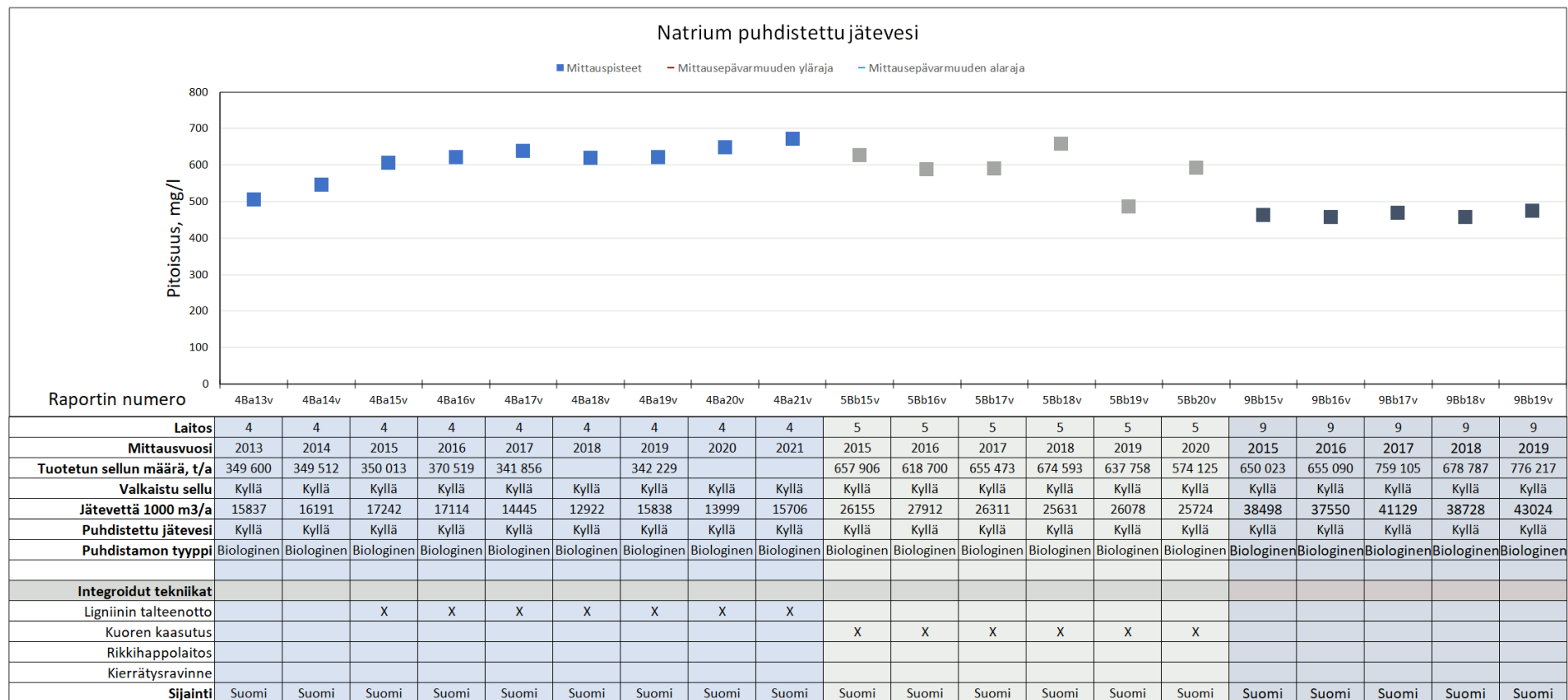
Kuvassa 43 on esitetty öljymäiset päästöt veteen mäntyöljyä jalostavasta laitoksesta. Laitoksella 2 on öljynerotus ennen veden johtamista puhdistamolle. Laitoksen 2 öljymäiset päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2016–2021 välillä 40–270 mg/L.



Kuva 43. Öljymäiset päästöt veteen mäntyöljyä jalostavissa laitoksissa.

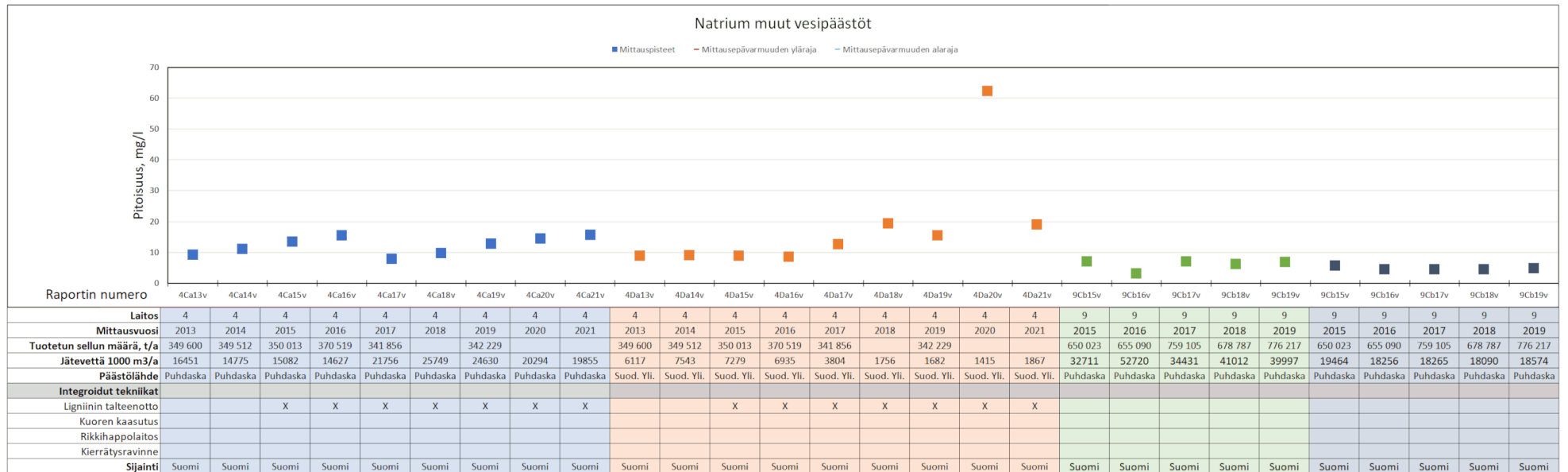
4.2.9 Natrium

Kuvassa 44 on esitetty puhdistetun jäteveden natriumpäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitoksen 4 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2013–2021 välillä 510–670 mg/L. Laitoksen 5 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2020 välillä 490–660 mg/L. Laitoksen 9 päästöt ovat vaihdelleet vuosina 2015–2019 välillä 460–470 mg/L. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun.



Kuva 44. Natriumpäästöt veteen sellutehtaiden puhdistetusta jätevedestä.

Kuvassa 45 on esitetty muut natriumpäästöt veteen sulfaattisellua valmistavilta laitoksilta. Laitoksen 4 päästöt ovat vuosina 2013–2021 vaihdelleet pääosin välillä 7,9–19,3 mg/L. Poikkeuksena on vuoden 2020 pitoisuus 62,3 mg/L. Laitoksen 9 päästöt ovat olleet vuosina 2015–2019 välillä 3,1–6,9 mg/L. Laitoksella 4 on vuonna 2013 investoitu vesiensuojeluun.



Kuva 45. Muut natriumpäästöt veteen sellutehtaiden jätevedestä.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

5.1 Hankkeen tavoitteet ja niiden toteutuminen

Hankkeen tavoitteena oli vastata tiedontarpeeseen uusista biotuotetoiminnan BAT-tekniikoista, niillä saavutettavista kulutus- ja päästötasoista sekä tekniikoiden käyttöönoton vaikutuksista päästöjen muodostumiseen ja laatuun. Tavoitteena oli tuottaa tietoa käynnissä ja suunnitteilla olevien puubiomassaan perustuvien biotuotelaitosten tuotteista ja tuotannon volyyymistä sekä prosessiteknisistä ratkaisuista. Hankkeessa pyrittiin tunnistamaan uusien biojalostusprosessien suoria ja epäsuoria vaikutuksia kemiallisen metsäteollisuuden päästöihin. Hankkeessa tuotettiin biotuotelaitosten prosesseja ja päästöjä koskevaa tietoa EU:n teollisuuspäästädirektiivin BAT-tekniikoita koskevien vertailuasiakirjojen (BREF) valmistelun tueksi sekä lupaharkinnan ja valvonnan tausta-aineistoksi.

Tekniikan kuvauksissa käsiteltiin ligniinin talteenotto, kuoren kaasutus, rikkihapon valmistus, mäntyöljyn jalostus, biokonversio, tekstiilikuidun valmistus, membraanitekniikka ja vihreän vedyn valmistus. Tekniikan kuvauksiin saatiin tietoja neljältä toiminnanharjoittajalta, jonka lisäksi tietoja hankittiin kirjallisuuslähteistä. Julkisen tiedon rajallisuudesta johtuen tekniikan kuvauksiin ei saatu laajaa aineistoa.

Päästötietoja kerättiin kymmenestä laitoksesta Suomesta ja Ruotsista. Ilmaan vapautuvista päästökomponenteista on esitetty rikkidioksidi, pelkistyneet rikkiyhdisteet (TRS), typenoksidit (NO_x), hiukkaset, hiilimonoksidi ja -dioksidi. Päästökomponeenteista veteen on käsitelty kemiallinen hapenkulutus (COD), biologinen hapenkulutus (BOD), kiintoaine, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, absorboituneet orgaaniset halogeenit (AOX), rikki, öljymäiset aineet ja natrium.

5.2 Tekniikoilla saavutettavat ympäristöhyödyt ja kokonaisympäristövaikutukset

Ligniinin talteenotolla, kuoren kaasutuksella ja rikkihapon valmistuksella voi olla vaikutuksia emotehtaan taseisiin, mutta mäntyöljyn jalostus, biokonversio, tekstiilikuidun valmistus, membraanitekniikka ja vihreän vedyn valmistus voivat toimia itsenäisinä prosesseina, joilla ei ole vaikutusta emotehtaan taseisiin. Alla on esitetty yhteenveto eri tekniikoilla saavutettavista ympäristöhyödyistä ja kokonaisympäristövaikutuksista.

Ligniinin talteenotto

- + ligniinillä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita ja fossiilisesta raaka-aineesta valmistettuja tuotteita
- + ligniinillä on monipuoliset käyttömahdollisuudet hiiltä pitkäksi aikaa sitovissa tuotteissa
- poistetun ligniinin määrä vaikuttaa sellutehtaan energia- ja ainetaseeseen ja mustalipeän ominaisuuksiin
- prosessissa käytetään rikkihappoa, mikä voi lisätä rikkipäästöjä
- ligniinin talteenotto lisää sellutehtaan kemikaalikuormaa rikkihapon, hiilidioksidin ja lipeän osalta

Kuoren kaasutus

- + tuotekaasu korvaa fossiilisia polttoaineita
- + SO_2 -päästöt vähenevät, jos tuotekaasulla korvataan rikkipitoista raskasta polttoöljyä
- + kaasutuksen myötä kuori hyödynnetään tehtaalla, joten ylimääräinen kuoren kuljetustarve poistuu
- + kuoren kaasutuksessa saavutetaan parempi energiahyötysuhde kuin kuoren suorapoltossa
- + kaasuttamalla saavutetaan riittävän korkea palamislämpötila, jotta sitä voidaan käyttää meesauunin polttoaineena
- käytettäessä tuotekaasua polttoaineena meesauunissa savukaasumäärät kasvavat ja meesauunin tuotantokapasiteetti saattaa pienentyä

- käytettäessä tuotekaasua polttoaineena meesauunin typpipäästöt kasvavat
- tuotekaasun mukana meesauuniin pääsee kuoresta peräisin olevia vierasaineita, minkä takia kalkki-kierron avaamistarve kasvaa noin 5–10 %
- menetelmä vaatii enemmän prosessitekniisiä ratkaisuja kuin esimerkiksi kuoren suorapoltto tai muut polttoaineratkaisut

Rikkihapon valmistus

- + rikkihapon valmistaminen kaasuista pienentää ilmaan vapautuvia rikkipäästöjä
- + parantaa tehtaan kemikaalikiertoa

Mäntyöljyn jalostus

- + mäntyöljyllä jalostetuilla tuotteilla korvataan fossiilisia raaka-aineita muovituotteiden ja polttoaineiden valmistuksessa

Biokonversio

- + fossiilisen polttoaineen vähentäminen
- + vaihtoehto biopolttoaineiden tuotantoon

Tekstiilikuidun valmistus

- + liuottimien ja veden kierrätysmahdollisuudet vähentävät prosessissa muodostuvan jätteen määrää, ja voivat mahdollistaa suljetumman kemikaalikierron laitostasolla
- + Norratex-tekstiilikuitu: monipuoliset raaka-ainemahdollisuudet, perinteisen viskoosin valmistuksessa käytettyä rikkihiiltä ei tarvita
- osa liuottimista on ympäristölle vaarallisia

Membraanitekniikka

- + mahdollista vähentää vesistöön pääsevän fosforin määrää ilman saostuskemikaaleja
- + päästöt vesistöihin laskevat, kun vettä kierrätetään tehtaalla enemmän ja jäteveden määrä laskee
- + membraaneilla erotellut yhdisteet voidaan kerätä talteen ja käyttää uudelleen tai kehittää niistä sivutuotteita
- membraanien vaatima paine-ero edellyttää pumppujen käyttöä, mikä lisää sähkön kulutusta
- membraanien foulaantuminen (likaantuminen) vaatii ilmastusta ja puhdistuskemikaaleja, mikä voi lisätä sähkön kulutusta ja kemikaalien tarvetta sekä jäteveden määrää
- konsentraatin muodostama jäte
- mahdollinen mikromuovin lähde

Vihreän vedyn valmistus

- + uusiutuvalla energialla vedestä elektrolyysillä tuotettu vety ei tuota hiilidioksidipäästöjä
- sähkön kulutus kasvaa

Lähteet

- Ashok, P., Larroche, C., Dussap, C.-G., Gnansounou, E., Khanal, S.K., Ricke, S. (2019). Biomass, Biofuels, Biochemicals - Biofuels - Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels (2nd Edition). Elsevier.
- Basile, A., Cassan, A. & Rastogi, N. 2015. Advances in Membrane Technologies for Water Treatment: Materials, Processes and Applications. Cambridge, England: Elsevier. 624 s. ISBN: 978-1-78242-126-9
- Berghel, J., Frodeson, S., Granström, K., Renström, R., Ståhl, M., Nordgren, D., Tomani, P., 2013. The effects of kraft lignin additives on wood fuel pellet quality, energy use and self life. Fuel Processing Technology. 112, 64-69.
- Bertuccioli, L., Chan, A., Hart, D., Lehner, F., Madden, B., 2014. Study on development of water electrolysis in the EU- Final report. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking.
- BioEnerg Oy, 2020. Porin biokonversiolaitoksen ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Bio-energo_Oy_biokonversiolaitos_Pori. Viitattu 13.7.2021.
- Carmo, M., Fritz, D.L., Mergel, J., Stolten, D., 2013. A comprehensive review on PEM water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy, 38, 4901–4934.
- David, M, Ocampo-Martínez, C., Sánchez-Peña, R., 2019. Advances in alkaline water electrolyzers: A review. Journal of Energy Storage, 23, 392-403.
- Diaz-Baca, J., Fatehi, P., 2021. Process development for tall oil lignin production. Bioresource Technology. 329, 124891. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124891>
- ECHA. (2021). 1-ethyl-3-methylimidazol-3-ium;acetate. Saatavilla: <https://echa.europa.eu/fi/registration-dossier/-/registered-dossier/25928/7/7/2>
- ESAVI/13/04.08/2014. Päätös asiasta ympäristönsuojelulain mukainen hakemus, joka koskee Sunilan tehtaalle rakennettavaa ligniinin talteenottolinjaa sekä hakemus toiminnan aloittamiseksi muutoksenhausta huolimatta, Kotka.
- Figoli, A., Cassano, A. & Basile, A. 2016. Membrane Technologies for Biorefining. Amsterdam, Netherlands, Woodhead Publishing. 482 s. ISBN: 978-0-08-100452-4
- IEA Bioenergy, 2021. Task 42: Biorefining in a Circular Economy. Saatavilla: <https://task42.ieabioenergy.com/>. Viitattu 5.7.2021.
- IEA Bioenergy, 2009. Biorefineries: adding value to the sustainable utilisation of biomass, International Energy Agency.
- ISAVI/4379/2014. Varkauden tehtaan ympäristöluvan muutos ja toiminnanaloittamislupa, Varkaus, Joroinen ja Rantasalmi.
- Jardim, J.M., Hart, P.W., Lucia, L.A., Jameel, H., Chang, H. The Effect of the Kraft Pulping Process, Wood Species, and pH on Lignin Recovery from Black Liquor. Fibers 2022, 10, 16. <https://doi.org/10.3390/fib10020016>.
- Kumar, S.S., Himabindu, V., 2019. Hydrogen production by PEM water electrolysis - A review. Materials Science for Energy Technologies, 2, 442–454.
- Laatikainen, T. 2022. Uusi suuri lupaus tekstiiliteollisuuteen. Tekniikka ja Talous 11.2.2022. 6. Viitattu 11.2.2022.
- Lee, H., Lee, B., Byun, M., Lim, H., 2020. Economic and environmental analysis for PEM water electrolysis based on replacement moment and renewable electricity resources. Energy Conversion and Management, 224, 113477.
- Molino, A., Larocca, V., Chianese, S., Musmarra, D., 2018. Biofuels production by biomass gasification: a review. Energies, 11, 811. <https://doi.org/10.3390/en11040811>.
- Ng, D. K. S., Ng, K. S., Ng, R. T., 2017. Integrated Biorefineries in: Abraham, M. A. ed. Encyclopedia of Sustainable Technologies. ISBN: 9780128047927
- Michud, A., Hummel, M., Sixta, H., 2016. Influence of process parameters on the structure formation of man-made cellulosic fibers from ionic liquid solution. Journal of Applied Polymer Science.
- Mulder, M. 1996. Basic Principles of Membrane Technology. Dordrecht, Netherlands, Springer. 575 s. ISBN: 978-0-7923-4248-9
- Oksanen, J., 2021. Henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2021.
- Periyasamy A.P., Militky J. 2020. Sustainability in Regenerated Textile Fibers. Kirjassa: Muthu S.S., Gardetti M.A. (eds) Sustainability in the Textile and Apparel Industries. Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry. Springer, Cham.

- PSAVI/41/04.08/2013. Lupapäätös St1 Biofuels Oy:n bioetanolitehtaan ympäristölupaa ja toiminnanaloittamislupa, Kajaani.
- Sasaki, K., Li, H.-W., Hayashi, A., Yamabe, J., Ogura, T., 2016. Hydrogen energy engineering: A Japanese perspective. Tokio: Springer. 137-
- SFS-EN 16575. BIOPOHJAISET TUOTTEET. SANASTO. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 22.4.2014.
- Stepan, A. M., Michud, A., Hellstén, S., Hummel, M. and Sixta, H., 2016 'IONCELL-P&F: Pulp Fractionation and Fiber Spinning with Ionic Liquids', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(29), 8225–8233.
- SYKE. 2022a. Vertailuasiakirjat eli BREFit aikatauluineen. (www-sivu). Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Paras_tekniikka_BAT/Vertailuasiakirjat Viitattu 26.4.2022
- SYKE. 2022b. Tietojenvaihdon organisointi. (www-sivu). Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Paras_tekniikka_BAT/Tietojenvaihdon_organisointi Viitattu 26.4.2022.
- Temmes, A., Peck, P., 2020. Do forest biorefineries fit with working principles of a circular bioeconomy? A case of Finnish and Swedish initiatives. *Forest Policy and Economics*, 110, 101896.
- Tewari, P. K. 2016. Nanocomposite membrane technology: fundamentals and applications. Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group. 297 s. ISBN: 978-1-4665-7683-4
- Tomani, P., 2010. The lignoboost process. *Cellulose Chemistry and Technology*. 44, 53-58.
- Torres, L.A.Z., Woiciechowski, A.L., Oliveira de Andrade Tanobe, V., Karp, S.G., Lorenci, L.C.G., Faulds, C., Soccol, C.R. 2020. Lignin as a potential source of high-added value compounds: A review. *Journal of Cleaner Production* 263 (2020) 121499. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121499>
- UPM. 2022. UPM Biopolttoaineet. [www-sivu]. Saatavilla: <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-biopolttoaineet/>
- Ursúa, A., Gandía, L.M., Sanchis, P., 2012. Hydrogen production from water electrolysis: Current status and future trends. *Proceedings of the IEEE*, 100, 410-426.
- Valmet, 2021. LignoBoost- the process. Saatavilla: <https://www.valmet.com/pulp/other-value-adding-processes/lignin-extraction/lignoboost-process/>. Viitattu 6.7.2021
- Valmet. 2022. LignoBoost plants in operation. Saatavilla: <https://www.valmet.com/pulp/other-value-adding-processes/lignin-separation/>. Viitattu 26.4.2022.
- Vasić, K., Knez, Ž., Leitgeb, M., 2021. Bioethanol production by enzymatic hydrolysis from different lignocellulosic sources. *Molecules*, 26, 753.
- Vastavuo, M.-M. 2019. Environmental performance of renewable naphtha from crude tall oil in polymer production. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Kemian tekniikan korkeakoulu. Espoo.
- Viikari, L., Vehmaanperä, J., Koivula, A., 2012. Lignocellulosic ethanol: From science to industry. *Biomass and Bioenergy*, 46, 13–24.
- Wendler, F., Loredana-Nicoleta, T., Meister, F., (2012). Thermostability of imidazolium ionic liquids as direct solvents for cellulose. *Thermochimica Acta*, vol. 528, p. 76-84.
- Xia, X., Gong, M., Wang, C., Wang, B., Zhang, Y., Wang, H. (2015). Dynamic modeling of dry-jet wet spinning of cellulose/[BMIM]Cl solution: complete deformation in the air-gap region. *Cellulose*. Vol.22(3), 1963-1976.
- Zhang, T.C. 2012. Membrane technology and environmental applications. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. 729 s. ISBN: 978-0-7844-7689-5
- Zhou, L., Kang, Z., Nie, Y., Li, L., (2021). Fabrication of Regenerated Cellulose Fibers with Good Strength and Biocompatibility from Green Spinning Process of Ionic Liquid. *Macromolecular materials and engineering*. Vol.306(4).

KUVAILEHTI

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 79/2022				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Paula Vehmaanperä, Kerttu Oksanen, Timo Ålander, Lauri Tuominen, Konsta Hiltunen, Pekka Ojanen, Mika Toikka, Kati Häme, Erja Monto, Juha Rantala Suomen ympäristökeskus Timo Jouttijärvi, Kaj Forsius, Emmi Vähä		Julkaisu-aika Syyskuu 2022		
		Kustantaja /Julkaisija Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
		Hankkeen rahoittaja /toimeksiantaja Ympäristöministeriö		
Julkaisun nimi Puupohjaisiin raaka-aineisiin perustuvien biotuotelaitosten uudet tekniikat, päästötasot ja tekniikoiden kokonaisympäristövaikutukset				
Tiivistelmä Raportissa esitetään tietoa käynnissä ja suunnitteilla olevien puuperäistä raaka-ainetta käyttävien biotuotelaitosten tuotteista, tuotannon volyyminä, prosessiteknisistä ratkaisuista ja päästötasoista. Tietoa voi hyödyntää EU:n teollisuuspäästödirektiivin (2010/75/EU) BAT-tekniikoita koskevien vertailuasiakirjojen (BREF) valmistelussa sekä lupaharkinnan ja valvonnan tausta-aineistona. Raportissa pyritään tunnistamaan uusien biojalostusprosessien suoria ja epäsuoria kokonaisympäristövaikutuksia kemiallisen metsäteollisuuden päästöihin. Laitoskohtaiset päästötiedot päästökomponeentittain on esitetty sekä taulukkomuodossa että graafisina kuvaajina. Päästö- ja tuotantotiedot perustuvat toiminnanharjoittajien viranomaisille luovuttamiin ympäristövalvontaraportteihin, ja tekniikkakuvaukset tutkimuskirjallisuuteen ja toiminnanharjoittajien toimittamiin tietoihin. Raportissa on käsitelty ainoastaan uusia puuperäisen raaka-aineen jalostuksen teknologioita, jotka ovat vakiintumassa tai vakiintuneita. Tuotantotekniikoiden kuvaukset on rajattu uusiin tehdashankkeisiin ja prosesseihin, jotka toimivat joko itsenäisesti tai integroituna perinteiseen sellutehtaaseen. Vertailun vuoksi päästötietoja ja tuotantokapasiteetteja esitetään sekä uusista puupohjaisen raaka-aineen jalostusprosesseista että perinteisistä sellutehtaista.				
Asiasanat (YSA:n mukaan) Avainsanat: BAT, BREF, metsäteollisuus, biotuotelaitos, prosessitekniikka, päästöt, ympäristönsuojelui				
ISBN (Painettu)	ISBN (PDF) 978-952-398-102-7	ISSN-L 2242-2846	ISSN (painettu) 2242-2846	ISSN (verkkopainettu) 2242-2854
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN: 978-952-398-102-7		Kieli Teksti
Sivumäärä Teksti				
Kustannuspaikka ja -aika Kouvola		Painotalo		

PRESENTATIONSBLAD

Publikationens serie och nummer Rapporter 79/2022					
Ansvarsområde Miljö och naturresurser					
Författare NTM-centralen i Sydöstra Finland Paula Vehmaanperä, Kerttu Oksanen, Timo Ålander, Lauri Tuominen, Konsta Hiltunen, Pekka Ojanen, Mika Toikka, Kati Häme, Erja Monto, Juha Rantala. Finlands miljöcentral Timo Jouttijärvi, Kaj Forsius, Emmi Vähä		Publiceringsdatum Syyskuu 2022			
		Utgivare / Förläggare Närings-, trafik- och miljöcentralen i Sydöstra Finland			
		Projektets finansier/uppslagsgivare Miljöministeriet			
Publikationens titel Nya tekniker, utsläppsnivåer och övergripande miljöeffekter av biproduktionsläggningar baserade på träbaserade råvaror					
<p>Sammandrag</p> <p>Rapporten presenterar information om produkter, produktionsvolym, processtekniska lösningar och utsläppsnivåer från i bruk varande och planerade biproduktionsläggningar som använder träbaserade råvaror. Informationen kan användas i utarbetandet av BAT-referensdokument (BREF) under EU:s industriutsläppsdirektiv (2010/75/EU) samt som bakgrundsmaterial för tillståndsprövning och övervakning. Rapporten syftar till att identifiera de direkta och indirekta övergripande miljöeffekterna av nya biproduktionsprocesser på utsläppen från den kemiska skogsindustrin. Anläggningsspecifika utsläppsdata per utsläppskomponent presenteras både i tabellform och grafiskt. Utsläpps- och produktionsdata baseras på de miljöövervakningsrapporter som verksamhetsutövarna lämnat till myndigheterna och de tekniska beskrivningarna baseras på forskningslitteratur samt information som tillhandahållits av verksamhetsutövarna.</p> <p>Rapporten behandlar endast nya träråvarubaserade förädlingstekniker som håller på att etableras eller etablerats. Beskrivningarna av produktionsteknikerna är begränsade till nya biproduktionsbruk och -processer som fungerar antingen oberoende eller integrerade i ett traditionellt massabruk. För jämförelsens skull presenteras utsläppsdata och produktionskapacitet för både nya träbaserade råvaruförädlingsprocesser och traditionella massabruk.</p>					
Nyckelord (enligt Allärs) Nyckelord: BAT, BREF, skogsindustri, biproduktionsanläggning, processteknik, utsläpp, miljövard i					
ISBN (tryckt)	ISBN (PDF) 978-952-398-102-7	ISSN-L 2242-2854	ISSN (tryckt) 2242-2846	ISSN (webbpublikation) 2242-2854	
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN: 978-952-398-102-7		Språk Teksti	Sidantal Teksti
Förläggningsort och datum Kouvola			Tryckeri		

DOCUMENTATION PAGE

Publication series and numbers Reports 79/2022					
Area(s) of responsibility Environment and Natural Resources					
Author(s) Paula Vehmaanperä, Kerttu Oksanen, Timo Ålander, Lauri Tuominen, Konsta Hiltunen, Pekka Ojanen, Mika Toikka, Kati Häme, Erja Monto, Juha Rantala. Finnish Environment Institute: Timo Jouttijärvi, Kaj Forsius, Emmi Vähä		Date Syyskuu 2022			
		Publisher Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Southeast Finland			
		Financier/commissioner Ministry of the Environment			
Title of publication New technologies, emission levels and overall environmental effects of wood-based bioproduct plants					
Abstract Information on the products, production volume, process technical solutions and emission levels of operating and planned bio-product plants using wood-based raw materials are presented in this report. The information can be utilised in the preparation of reference documents (BREF) for BAT technologies of the EU Industrial Emissions Directive (2010/75/EU) and as supporting material for permit consideration and supervision. The report aims to identify the direct and indirect overall environmental effects of new biorefining processes on emissions from the chemical forest-based industry. Plant-specific emission data by emission component is presented both in tabular form and graphically. Emission and production data are based on environmental monitoring reports submitted by operators to the authorities, and technical descriptions are based on research literature and information provided by operators The report only includes new wood-based raw material processing technologies that are established or becoming established. Descriptions of production techniques are limited to new mill projects and processes that operate either independently or integrated into a traditional pulp mill. For the sake of comparison, emission data and production capacities are presented for both new wood-based raw material processing processes and traditional pulp mills.					
Keywords BAT, BREF, forest-based industry, bioproduct plant, process technology, emissions, environmental protection					
ISBN (print)	ISBN (PDF) 978-952-398-102-7	ISSN-L 2242-2846	ISSN (print) 2242-2846	ISSN (online) 2242-2854	
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN: 978-952-398-102-7		Language Teksti	Number of pages Teksti
Place of publication and date Kouvola			Printing place		

Raportissa esitetään tietoa käynnissä ja suunnitteilla olevien puuperäistä raaka-ainetta käyttävien biotuotelaitosten tuotteista, tuotannon volyyymistä, prosessiteknisistä ratkaisuista ja päästötasoista. Tietoa voi hyödyntää EU:n teollisuuspäästädirektiivin (2010/75/EU) BAT-tekniikoita koskevien vertailuasiakirjojen (BREF) valmistelussa sekä lupaharkinnan ja valvonnan tausta-aineistona. Raportissa pyritään tunnistamaan uusien biojalostusprosessien suoria ja epäsuoria kokonaisympäristövaikutuksia kemiallisen metsäteollisuuden päästöihin. Laitoskohtaiset päästötiedot päästökomponentteittain on esitetty sekä taulukkomuodossa että graafisina kuvaajina. Päästö- ja tuotantotiedot perustuvat toiminnanharjoittajien viranomaisille luovuttamiin ympäristövalvontaraportteihin, ja tekniikkakuvaukset tutkimuskirjallisuuteen ja toiminnanharjoittajien toimittamiin tietoihin.

Raportissa on käsitelty ainoastaan uusia puuperäisen raaka-aineen jalostuksen teknologioita, jotka ovat vakiintumassa tai vakiintuneita. Tuotantotekniikoiden kuvaukset on rajattu uusiin tehdashankkeisiin ja prosesseihin, jotka toimivat joko itsenäisesti tai integroituna perinteiseen sellutehtaaseen. Vertailun vuoksi päästötietoja ja tuotantokapasiteetteja esitetään sekä uusista puupohjaisen raaka-aineen jalostusprosesseista että perinteisistä sellutehtaista.

RAPORTTEJA 79 | 2022

PUUPOHJAIISIIN RAAKA-AINEISIIN PERUSTUVIEN BIOTUOTELAITOSTEN UUDET TEKNIIKAT, PÄÄSTÖTASOT JA TEKNIKOIDEN KOKONAISVAIKUTUKSET

Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-398-102-7 (PDF)

ISSN-L 2242-2846

ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)

URN:ISBN: 978-952-398-102-7

www.doria.fi/ely-keskus | www.ely-keskus.fi