

FIBERTECH26

26-27.8.2026 SAVONLINNA

'EMISSION FREE- PULPING' PROJEKTI

Kristian Melin, Apulaisprofessori

Biojalostamoihin liittyvä prosessi ja tehdassuunnittelu

Lahden Kampus

LUT Yliopisto

Kristian.Melin@lut.fi



MIKÄ ON EMISSION FREE PULPING (EFP) PROJEKTI?

- » Tavoite: vähentää merkittävästi biomassan polttoa ja kasvattaa kuitutuotteen saantoa noin 50 %:sta ->70 %:iin.
 - Iso tulevaisuuden haaste, jota ratkaistaan yhdessä alan yhteistyöllä
- » EFP on 5-vuotinen kansainvälinen tutkimusohjelma.
- » VTT Koordinoi, RISE:lla vetovastuu tutkimussubstanssi
 - Business Finland on myöntänyt ohjelmalle 3-vuotisen 5,1 miljoonan euron rahoituksen
 - Ensimmäisen vaiheen Co-Research-projekti 01/01/2024 - 31/12/2026

Lisätietoja: <https://www.emissionfreepulping.com/>



NYKYTILANNE KEMIALLISEN SELLUN TUOTANNOSSA

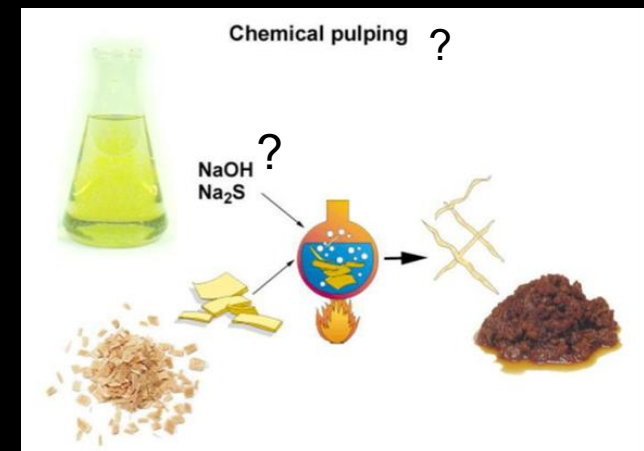


Lähde: circulareconomy.europa.eu
2023. Äänekosken Biotuotetehdas

- Saanto Kraft-sulfaattiprosessissa on kotimaisille havu- ja lehtipuille vain noin 40–50 p-% ja eukalyptukselle hieman yli 50 p-%:ia
- Vain noin puolet puusta päätyy kuiduksi ja suurin osa päätyy polttoon, paitsi sivutuotteet mäntyöljy ja tärpätti
- Kraft-prosessissa tuotettua sellutonnia kohden vapautuu noin 1,6-2,4 tonnia biogeenistä CO₂:ta
 - Isossa 1,5 milj. sellutonnia /v. tuottavassa tehtaassa biogeeniset CO₂ päästöt 4 milj. tonnia/v

MIKSI TULISI VÄHENTÄÄ BIOGEEENISIÄ CO₂-PÄÄSTÖJÄ JA NOSTAA KUITUSAANTOA ?

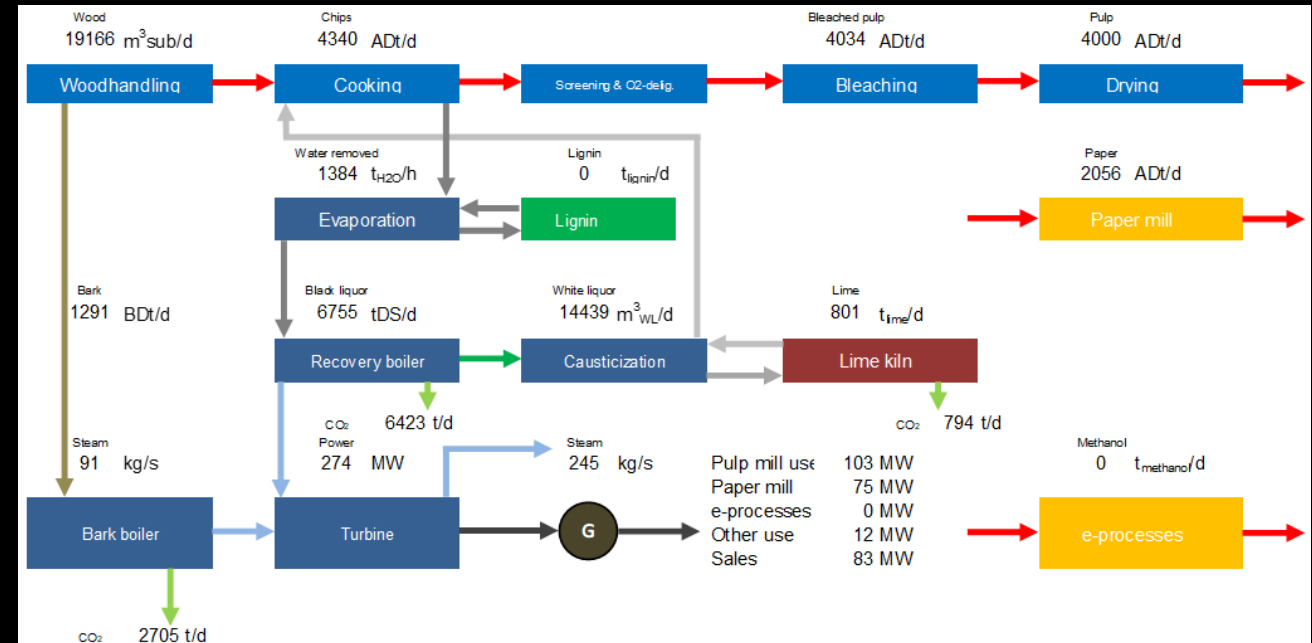
- Kuitupuun kysyntä on lisääntynyt mm. Ukrainan sodan alkamisen jälkeen
- poltosta tuotetun uusiutuvan sähkön merkitys on viimeaikoina vähentynyt energiatehokkuuden parantuessa,
 - uusiutuvaa sähköä saadaan tuotettua etenkin tuulivoimalla nykyään ainakin ajoittain hyvin kilpailukykyiseen hintaan
- Nykytehtaissa fossiilisia päästöjä on saatu tehokkaasti vähennettyä, mutta biogeenisiä CO₂-päästöjä ei ole yhtä helppo vähentää
 - Onko mahdollista, että pitkällä tähtäimellä biogeenisiin päästöihin tulee rajoituksia?
 - Voidaanko löytää ratkaisu pitkällä tähtäimellä jolla saavutettaisiin sekä matalat biogeeniset CO₂-päästöt että korkea kuitusaanto



TUTKIMUKSEN MENETELMÄ, KEINOT MILLÄ VOIDAAN VAIKUTTA A BIOGEENISTEN CO₂-PÄÄSTÖJEN MÄÄRÄÄN-

» Lipiäinen et al. (2026) tutkivat eri keinojen vaikutusta biogeenisiin CO₂-päästöihin:

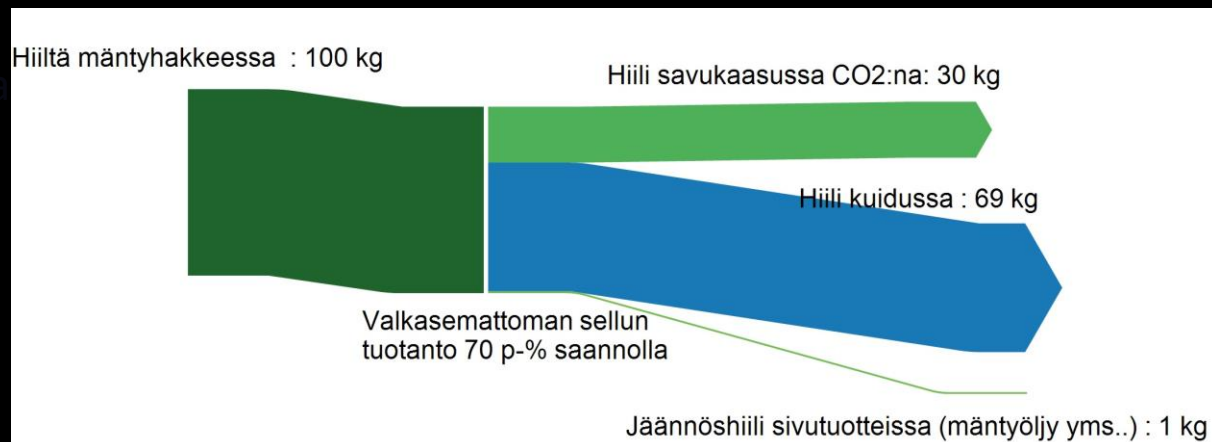
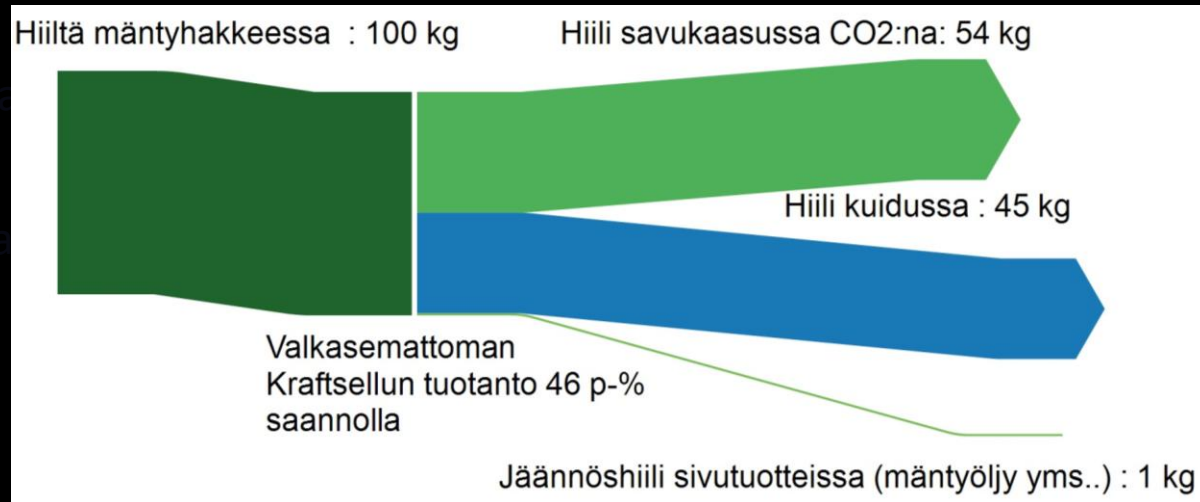
- Tarkastelun kohteena oli moderni valkaistua sellua Pohjois-Euroopassa tuottava integroitu kraft-sellutehdas.
 - Vuotuinen tuotanto 1,4 Mt sellua ja 0,7 Mt paperia
 - Kuori poltettiin kuorikattilassa
 - 80 % käytetystä raaka-aineesta oli havupuuta ja loput lehtipuuta
- Mallinnettiin 'Mill-Flow'-ohjelmalla prosessi ja tarkasteltiin seuraavien tapausten biogeenisiä CO₂-päästöjä:
 - Ligniinin erotus mustalipeästä 20 ja 50 %.
 - Meesauunin korvaaminen sähkökalsinoinnilla
 - CO₂ talteenotto ja e-metanolin tuotanto



TARKASTELUN TULOKSET

Perustapaus	Perustapaus	Ligniinin erotus	Sähköistetty Meesauuni	eMetanoli
Vuotuinen käyttöaika	8400	8400	8400	8400
Sellutuotanto[Mt/v]	1,4	1,4	1,4	1,4
Paperintuotanto [Mt/v]	0,72	0,72	0,72	0,72
Soodakattilan syöttömäärä kuiva-aineena [tKa/p]	6755	6517	6755	6755
Netto höyryn tuotanto [kg/s]	276	247	276	276
Soodakattilan CO ₂ -päästöt [Mt/v]	2,25	2,04	2,25	2,25
Meesauunin Lämmöntarve[MW]	55,6	55,6	55,6	55,6
Meesauunin CO ₂ -päästöt [Mt/v]	0,28	0,28	0,18	0,28
Tehtaan Voimantuotanto[GWh/v]	2297	2007	2291	2312
Tehtaan sähkönkulutus [GWh/v]	1598	1601	2064	2448
Sellutehtaan Lisätuotteet	-	171 kt _{lignin}	-	74 kt _{MeOH}
Tehtaan Kokonaispäästöt [Mt/v]	3,47	3,26	3,38	3,37
Muutos CO ₂ -päästöissä [%]	-	-6%	-3%	-3%

MIKÄ VAIKUTUS SAANNON NOSTOLLA ON ?



- Lipiäisen sen: tutkimuksessa havaittiin, että vain 2 %:n nosto saanto 47→49 % vähensi biogeenisiä CO₂-päästöjä 6 %, eli yhtä paljon, kuin jos erotetaan 20 % ligniinistä
- Lisäksi tarkastelimme hiilen jakaantumista kuidun, savukaasun ja sivutuotteiden välille kuitusaannoilla 47 ja 70 %
- Oletimme, että syöttö on mäntyä joka sisältää 46 % hiiltä
- Luvut ovat alustava arvio, sillä saannon vaikutusta kuidun koostumukseen ei huomioitu

	Unit	Kraft	Hardwood	Euca	GW	CTMP	TMP	CMP	NSSC	Sulphite
		Softwood		Euca						
Yield	%	44-46 ^{1,5}	47-49 ¹	51-54 ¹	95-98.5 ¹	90-94 ¹	93-97.5 ¹	80-90 ¹	75-90 ¹	46-58 ⁵
Energy										
Electricity consumption	kWh/ADt	400-800 ^{2,5}	390-760 ^{2,5}	370-722 ^{2,5}	1400-1700 ⁵	2500-1000 ¹⁷	2100-2900 ⁵	1000-500 ¹⁷	400 ⁵	800 ¹
Heat consumption	GJ/ADt	7.5-15 ^{2,5,7}	7-14 ^{2,5,7}	6.7-13.3 ^{2,5}	0-0.7 ⁵	0 ⁵	-3.1...-4.3 ⁵	0 ⁵	3.8 ⁵	13.5 ¹
Other inputs										
Wood consumption	m ³ /ADt	4.9-5.3 ⁷	4.1 ⁷	3.9-4.2 ⁸	2.4-2.6 ¹	2.8-3.0 ¹	2.3-2.8 ¹	3.0-3.2	2.6-3.7 ⁶	4.0-5.0 ⁵
(bark free)	BDt/ADt	2.2-2.3	2.0-2.1	1.9-2.1	1.1-1.02	1.1-1.06	1.1-1.03	1.3-1.1	1.3-1.1	1.7-2.2
Emissions to water										
Waste water	m ³ /ADt	15-40 ¹	15-40 ¹	15-40 ¹	9-16 ¹	9-16 ¹	9-16 ¹	9-16 ¹	11-20 ¹	25-70 ¹
Emissions to air										
NOx	kg/ADt	1-2	1-2.1	1-2.1	-	0.25	-	-	0.3-0.4	0.96-1.9 ¹
Pulp properties										
Tear index	mNm ² /g	12-20 ⁶	7-11.5 ⁶	4.2-9 ^{13,14}	3-5.5 ⁶	9-11 ⁶	6.5-8.5 ⁶	4.1 ¹⁶	4.8	Up tp 7.5 ¹⁷
Tensile strength	Nm/g	45-100 ⁶	40-80 ⁶	26-84 ¹⁴	10-35 ⁶	20-70 ⁶	20-50 ⁶	20-70 ^{6,17}	20-50	Up tp 90 ¹⁷
Other inputs										
Wood consumption	m ³ /ADt	4.9-5.3 ⁷	4.1 ⁷	3.9-4.2 ⁸	2.4-2.6 ¹	2.8-3.0 ¹	2.3-2.8 ¹	3.0-3.2	2.6-3.7 ⁶	4.0-5.0 ⁵
Chemicals, bleached pulp										
NaClO ₃	kg/ADt	15-50 ¹	15-50 ¹	15-50	-	-	-	-	-	-
EDTA or DTPA	kg/ADt	0-4 ¹	0-4 ¹	0-4	0-5 ¹	0-5 ¹	0-5 ¹	0-5	-	0-3 ¹
Emissions to water										
Waste water	m ³ /ADt	15-40 ¹	15-40 ¹	15-40 ¹	9-16 ¹	9-16 ¹	9-16 ¹	9-16 ¹	11-20 ¹	25-70 ¹
COD	kg/ADt	2.5-8 ¹	2.5-8 ¹	2.5-8 ¹	0.9-4.5 ¹	12-20 ¹	0.9-4.5 ¹	12-20 ¹	3.2-11 ¹	10-30 ¹
Nitrogen	kg/ADt	0.1-0.2 ¹	0.1-0.2 ¹	0.1-0.2 ¹	0.03-0.1 ¹	0.15-0.18 ¹	0.03-0.1 ¹	0.15-0.18 ¹	0.1-0.2 ¹	0.15-0.3 ¹
Phosphorus	kg/ADt	0.01-0.02 ¹	0.01-0.02 ¹	0.01-0.02 ¹	0.001-0.01 ¹	0.001-0.01 ¹	0.001-0.01 ¹	0.001-0.01 ¹	0.01-0.02 ¹	0.01-0.05 ¹
Emissions to air										
NOx	kg/ADt	1-2	1-2.1	1-2.1	-	0.25	-	-	0.3-0.4	0.96-1.9 ¹
Sulfur	kg/ADt	0.037-0.29	0.037-0.29	0.037-0.29	-	-	-	-		0.77-1.11 ¹
Fossil CO ₂	kg/ADt	78 ³	115	115 ⁴	-	54	-		460	
Pulp properties										
Tear index	mNm ² /g	12-20 ⁶	7-11.5 ⁶	4.2-9 ^{13,14}	3-5.5 ⁶	9-11 ⁶	6.5-8.5 ⁶	4.1 ¹⁶		Up tp 7.5 ¹⁷
Tensile strength	Nm/g	45-100 ⁶	40-80 ⁶	26-84 ¹⁴	10-35 ⁶	20-70 ⁶	20-50 ⁶	20-70 ^{6,17}		Up tp 90 ¹⁷
Scattering coefficient	m ² /kg	11-27.5 ⁶	18.5-35 ⁶	18.5-35 ⁶	54.5-71.5 ⁶	19-37.5 ⁶	48-58.5 ⁶	19-37.5 ^{6,17}		
Fibre length	mm	2-6 ¹²	0.8-1.6 ¹²	1.0 ¹⁵			1-1.5 ¹¹			
Water use					5-20 ¹	9.5-30 ¹	4-20 ¹			

NYKYTILANNE KAUPALLISTEN SELLUNTUOTANTO- PROSESSIEN PÄÄSTÖT JA SUORITUSKYKY

- Korkea saanto saavutetaan nykyisilläkin mekaanisilla tai kemimekaanisilla prosesseilla, mutta kuitujen laatu on huonompi, jolloin niiden käyttökohde on tyypillisesti erilainen
- EFP:ssä tavoitteena on säilyttää kuitujen ominaisuudet nykyistä parempina korkealla kuitusaannolla

EFP PROJEKTIN SISÄLTÖ

- Teema 1: Uudet analyttiset työkalut ja menetelmät -> uutta tietoa puurakenteesta
 - > optimaaliset kuidutuksen menetelmät
 - 2 postdocia, 4 tohtorintutkintoa KTH, Aalto-yliopisto (Aalto), Oulun yliopisto (UO), Åbo Akademi (ÅA)
- Teema 2: Uudet käsittelymenetelmät – tutkimusta menetelmän ilmiöistä
 - perustutkimus, liittyen kuitujen vapauttamiseen korkealla kuitusaannolla ja minimi kemikaali- ja käyttöhyödykekulutuksella esim. hapen avulla
 - Kemikaalien aineensiirto ja puun yhdisteiden liukeneminen
 - 6 tohtorin tutkintoa, UO, Aalto, ÅA, VTT, KTH, Chalmers, RISE
- Teema 3: Menetelmät jotka hyödyntävät aluksi mekaanista kuidutusta ja yhdistävät siihen kemiallista käsittelyä ->korkeaan kuitusaantoon mm. O₂+ karbonaatti
 - 5 tohtorintutkintoa UO, Aalto, VTT, Mid-Sweden University (MiUn), RISE
- Teema 4: Menetelmät jotka hyödyntävät aluksi kemiallista käsittelyä-> korkea kuitusaanto, esim. glykoli+CO₂, DES + vaihtoehtoisia talteenottoprosesseja
 - 1 postdoc 5 tohtorintutkintoa Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), Helsingin yliopisto (UH), KTH, VTT, RISE
- Teema 5: Referenssikonseptien ja uusien prosessikonseptien mallinnus ja niiden potentiaalin arviointi sekä AI ja datan käsittely
 - 3 postdoc-ohjelmaa 1 tohtorintutkinto LUT, UH tietojenkäsittelytiede, Aalto, RISE



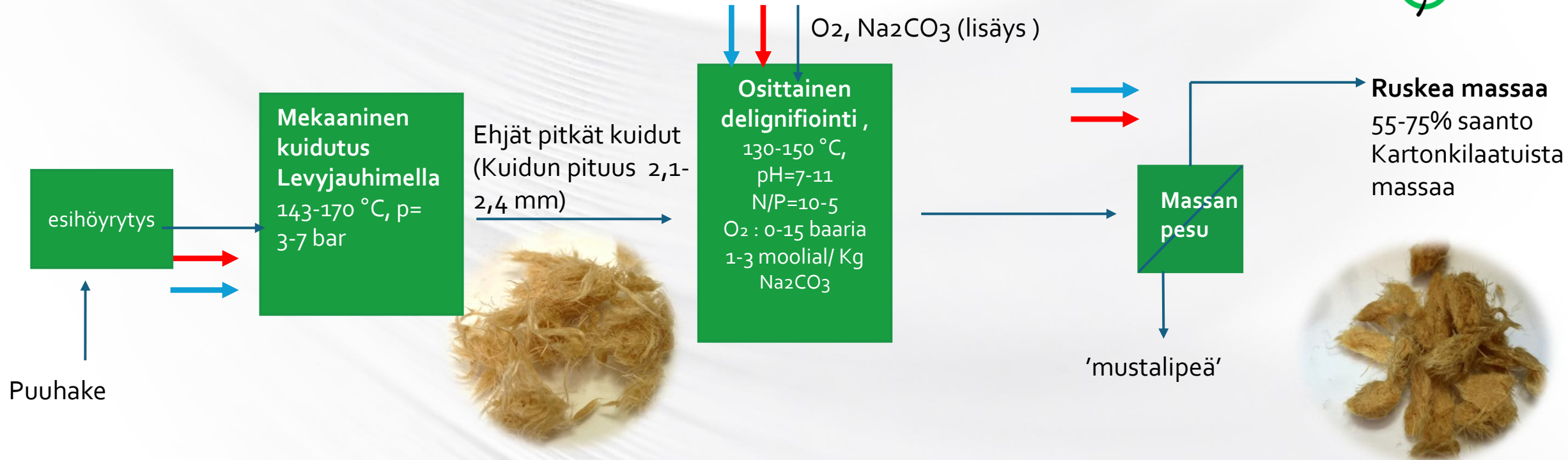
Fibre Liberation First (FLF) kuidutusprosessi

Uusi VTT:n kehittämä ja Jari Sirviön ryhmän tutkima konsepti, jonka tavoitteena on valmistaa korkeasaantosellua (60–80 %) jolla on korkealla lujuuspotentiaali



1. Energiatehokas mekaaninen puuhakkeen kuidutus (defibrilaatio) ehjien ja pitkien kuitujen vapauttamiseksi
2. Kohdennettu kemiallinen käsittely vapautetuille kuiduille, massan sidospotentiaalin lisäämiseksi helposti kierrätettävillä kemikaaleilla
3. Arvokkaan liukoisen ligniinin talteenotto kokonaissaannon parantamiseksi

Keskeiset tulokset VTT:n tutkimuksesta



Konsepti mahdollistaa

Puun tehokkaan käytön materiaalina tuottamalla korkealla saannolla massaa ja hapettunutta ligniiniä sivutuotteena -> Raaka-aineelle optimaaliset mekaanisen käsittelyn olosuhteet hyödyntävät kuitujen pääominaisuuksia

Tehokas kuidutuksen ympäristövaikutusten rajaaminen, käyttämällä helposti kierrätettäviä kemikaaleja

- CO₂-päästöjen vähentäminen yksinkertaistetuilla talteenottoprosesseilla sekä minimoimalla puun polttoa
- Sellumassan tuotanto ilman haitallisia epäpuhtauksia käyttämällä rikitöntä kemialla

YHTEENVETO JA JATKOSUUNNITELMAT

- » Sellutehtaan biogeenisiä CO₂-päästöjä voidaan vähentää:
 - mm. saostamalla mustalipeästä ligniiniä,
 - korvaamalla meesauuni sähkökalsinoinnilla
 - ottamalla CO₂:sen talteen esim. soodakattilan savukaasuista ja valmistamalla siitä esim. metanolia
 - Näillä keinoilla kuitenkin vaikutus on verrattain pieni, ellei hyödynnetä merkittävää osa sellutehtaan CO₂-päästöistä
->vaatii mittavan määrän sähköä, jos CO₂ konvertoidaan vedyn avulla kemikaaliksi tai polttoaineeksi
 - Vaihtoehtoisesti voidaan keskittyä kuitu tai kokonaissaannon parantamiseen
 - Tämä vähentää sekä raaka-aineen kulutusta, että biogeenisiä CO₂-päästöjä tehokkaasti
- » Korkea kuitusaanto yksistään on helppo saavuttaa nykyisissä kemimekaanisissa tai mekaanisissa kuidutusprosesseissa huomommalla sellumassan laadulla, ja prosessin ulkopuolella tuotetun sähkön käytöllä.
- » EFP:n tavoitteena on saada sekä hyvä kuitusaanto >70 %, mutta myös hyvät kuidun ominaisuudet
 - Tutkitaan laboratorimittakaavassa uusia menetelmiä ja niiden suorituskykyä mm. kuitusaantoa ja kuidun ominaisuuksia.
 - Mallinnetaan prosessit aluksi yksinkertaistetusti ja parhaimmat prosessit tarkemmin käyttäen mm. Aspenmalleija,
 - Niissä tehtaan virrat ja yksikköoperaatio ovat kuvattu täyden teollisuusmittakaavan toteutusta vastaavasti
 - Arvioidaan prosessien suorituskyky mm. päästöt ja energiankulutus
 - Tulokset tullaan julkaisemaan tieteellisinä artikkeleina



Kiitoksia yleisölle mielenkiinnosta!

Suuret kiitokset LUT-tiimille erityisesti Satu
Lipiäiselle, Katja Kupariselle ja Esa
Vakkilaiselle,

sekä muulle EFP-konsortiolle

Suuret kiitokset Business Finlandille Co-
Research rahoituksesta

Kysymyksiä?

Puh: +358 (0) 50 349 7383

Kristian.Melin@lut.fi

