

# Modulaarinen ja monivaiheinen biojalostamo

Ylä- ja Itä-Kainuun vihreän siirtymän  
osaamiskeskushanke  
Latvus Kainuu

Teksti ja kuvat: Samuli Rinne (ellei toisin  
mainita)

22.1.2026

# Lähtökohdat

1. Arvon maksimointi: Biomassasta otetaan ”kaikki irti”
  - Korkean arvon yhdisteet erotetaan ensin
  - Huonolaatuisimmat jakeet energiaksi
2. Uutuusarvo: Prosessi-integraatio
  - = monta prosessia peräkkäin
  - Logistiikkakustannusten ja energian kulutuksen minimointi
  - Valmistetaan monia tuotteita → maksimoidaan markkinajoustavuus
3. Energiaomavaraisuus
  - Kun noin kolmannes sisään tulevasta biomassasta käytetään sähkön- ja lämmöntuotantoon, prosessi on energiaomavarainen
  - Ei riippuvuutta sähköverkkoon
4. Ekologinen ja taloudellinen kannattavuus
  - Arvon maksimointi ja jätteen minimointi on win-win ympäristölle ja taloudelle
  - Etenkin, jos fossiiliselle on riittävä hiilen päästömaksu (>50 e/t CO<sub>2</sub>).
5. Patentointimahdollisuus prosessin yksityiskohdille

Biomassasta on moneksi. Kuvassa erilaisia tuotteita, joista osan voi saada samasta biomassasta peräkkäisillä prosessoinneilla.



# Biomassan mahdollisia jalosteita I

## **Selluloosa** (glukoosipolymeeri)

- → hydrolyysi → **glukoosi**
- Glukoosi → **etanoli** → etyleeni → polyeteeni, polyeteeniglykolit, PET biopohjaisesti
- Glukoosi → **maitohappo** → polylaktidi (PLA)
- Glukoosi → **sorbitoli** → isosorbidi, biomuovit
- Glukoosi → **biohajoavat polymeerit** (PHB ym.)
- Glukoosi → **fermentaatiotuotteet**: asetoni, butanoli, glyseroli

## **Hemiselluloosa** (ksyloosi, mannoosi, arabinoosi, galaktoosi ym.)

- → hydrolyysi → **pentooosi- ja heksoosisokerit**
- Ksyloosi → **ksylitoli** (makeutusaine)
- Ksyloosi → **furfuraali** → biohartsit, liimat, bioöljyt
- Mannoosi → fermentaatio → orgaaniset hapot, alkoholit
- Arabinoosi, galaktoosi → erikoissokerit, bioteknologian välituotteet

# Biomassan mahdollisia jalosteita II

## **Ligniini** (aromaattinen polymeeri)

→ hajoitus / depolymerointi → **fenoliset yhdisteet**

- Fenolit → **biohartsit, liimat** (fenoliformaldehydin korvaajat)
- Aromaatit → **vanilliini** (aromi- ja kemianteollisuus)
- Aromaatit → **biopohjaiset hiilivedyt** (BTX: bentseeni, tolueeni, ksyleeni – pilotointi)
- Hiilto → **biohiili / aktiivihiili** → metallurgia, suodatus, hiilivarasto, ravinteiden sitoja...

## **Uuteaineet** (hartsit, tanniinit, terpeenit, rasvat, öljyt, flavonoidit)

- **Hartsit- ja tärpähtituotteet** → liimat, maalit, hajusteet
- **Sterolit, terpeenit** → farmaseuttiset yhdisteet, aromit
- **Rasvat, öljyt** → biodiesel, kosmetiikka
- **Tanniinit** → nahkateollisuus, biohartsit
- **Flavonoidit, fenolit** → antioksidantit, lääketeollisuus

# Biomassan mahdollisia jalosteita III

## Tuhkan mineraalit (Ca, K, Mg, P, Na, Si)

- **Kalium, kalsium, magnesium** → lannoitteet, maanparannus
- **Fosfori** → lannoite (struviitti, kalsiumfosfaatti)
- **Piidioksidi** → lisäaineet, geopolymeerit
- **Metallit (Fe, Mn, Zn)** → hivenaineet, katalyytit

## Lopulta:

- Energiasisältö hyödynnetään **sähkön- ja lämmöntuotannossa**
- Ja osittain hiillon kautta **biohiilenä**
- Poltossa ja hiilossa vapautuva CO<sub>2</sub> voidaan ottaa talteen kaasuna ja viedä loppusijoitukseen tai jalostaa edelleen kemikaaleiksi

# Biomassoista tehtävissä olevien tuotteiden markkina- hintoja

Ylä- ja Itä-Kainuun  
vihreän siirtymän  
osaamiskeskus -hanke

22.1.2026

<b>Etanoli (bio/teoll.)</b>	Polttoaine, liuotin	600–800 €/t (n. 0,6–0,8 €/l)
<b>Glyseroli</b>	Kosmetiikka, rehu, biodiesel sivutuote	400–700 €/t (teollinen laatu halvempi, puhdas elintarvike 1000 €/t)
<b>Butanoli</b>	Liuotin, muovit	1300–1800 €/t
<b>Maitohappo</b>	Biopohjainen muovi (PLA), elintarvike	1200–1600 €/t
<b>Sitruunahappo</b>	Elintarvike, lääkkeet	1000–1500 €/t
<b>Etikkahappo</b>	Liima-, muovi-, kemianteollisuus	500–900 €/t
<b>Asetoni</b>	Liuotin, kemianteollisuus	800–1200 €/t
<b>Furfuraali</b>	Hartsit, liuottimet	1500–2000 €/t
<b>Ksylitoli (ei suoraan mainittu, mutta ksylosista)</b>	Makeutusaine	4000–6000 €/t
<b>Hiiva (rehuteollisuus)</b>	Proteiinituote	800–1200 €/t
<b>Etyleeni (petrokemian perusraaka- aine)</b>	Muovit	900–1200 €/t
<b>Klooriformi</b>	Nykyisin vähemmän käytetty, ongelmallinen	n. 700–900 €/t
<b>Metanoli (mainitaan epäsuorasti)</b>	Polttoaine, liuotin	300–450 €/t

# Bio- ja aktiivihiilen markkinapotentiaaliarvio Euroopassa

## Sektorit

## Teoreettinen maksimi (Mt biohiiltä/v)

Maatalous & maaperä

4

Rakentaminen

3

Vesien ja maan puhdistaminen

1

Metallurgia

6

CDR-krediitit

5

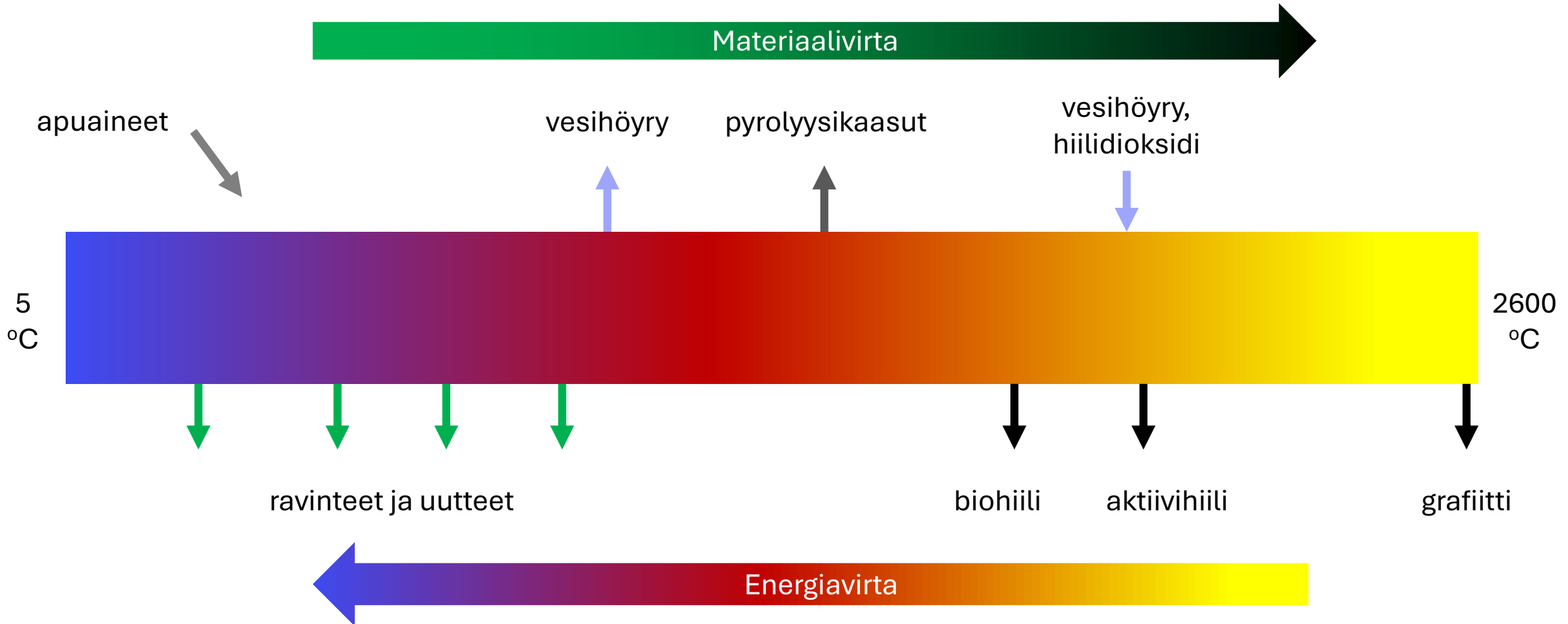
CHP / energiasektori

2

**Yhteensä (teoreettinen yläraja)**

**21 Mt/v**

# Biojalostamon periaate. Lämpötilat prosessissa.

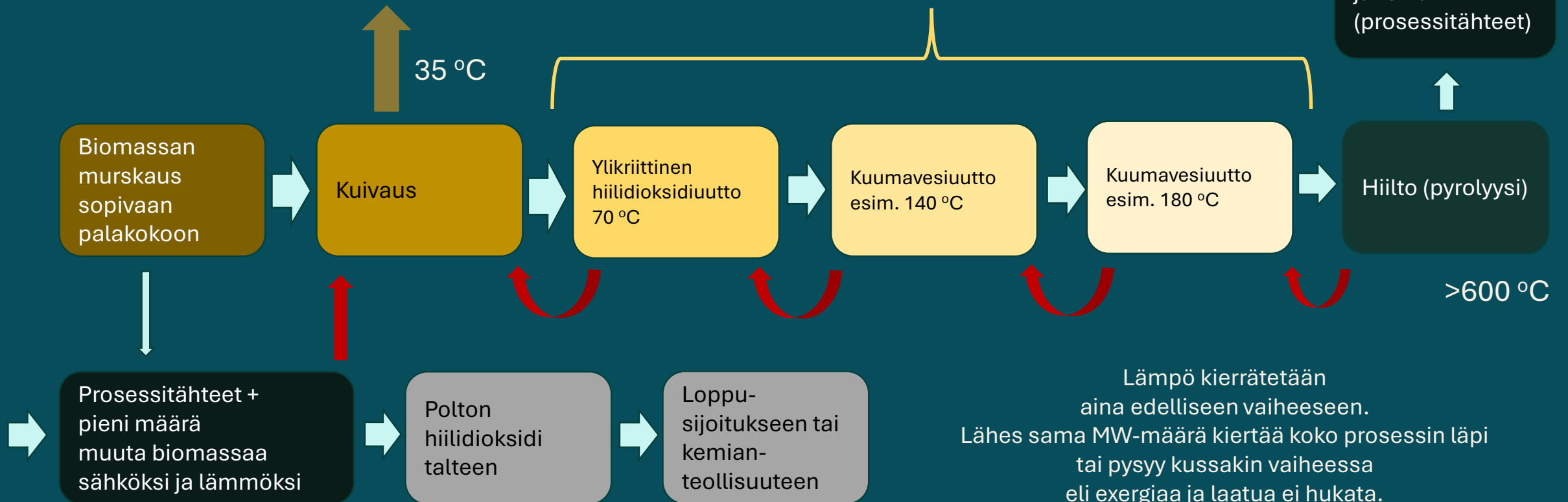


# Modulaarinen ja mukautuva biolajostamo: vaiheittainen prosessointi

- Biomassan murskaus sopivaan palakokoon
- Kuivaus
- Ylikriittinen hiilidioksidiuutto 70 °C
- Kuumavesiuutto esim. 140 °C
- Kuumavesiuutto esim. 180 °C
- Utteiden väkevöinti ja hiillettävän uuttojäännöksen kuivaus
- Hiilto (pyrolyysi)
- Pyrolyysikaasun ja tervan jatkojalostus
- Jäävät prosessitähteet (hienoaines, kaasu, neste) sähköksi ja lämmöksi
- Polton hiilidioksidi talteen

# Moniporras- biojalostamon periaate:

Uuttovaiheet lisäävät kokonaisinvestointia melko vähän verrattuna pelkkään hiltoon.  
Raaka-aineen tarve ei lisäännä välttämättä lainkaan.  
Prosessin alku- ja loppupää ovat samat uuton ollessa mukana tai ei.



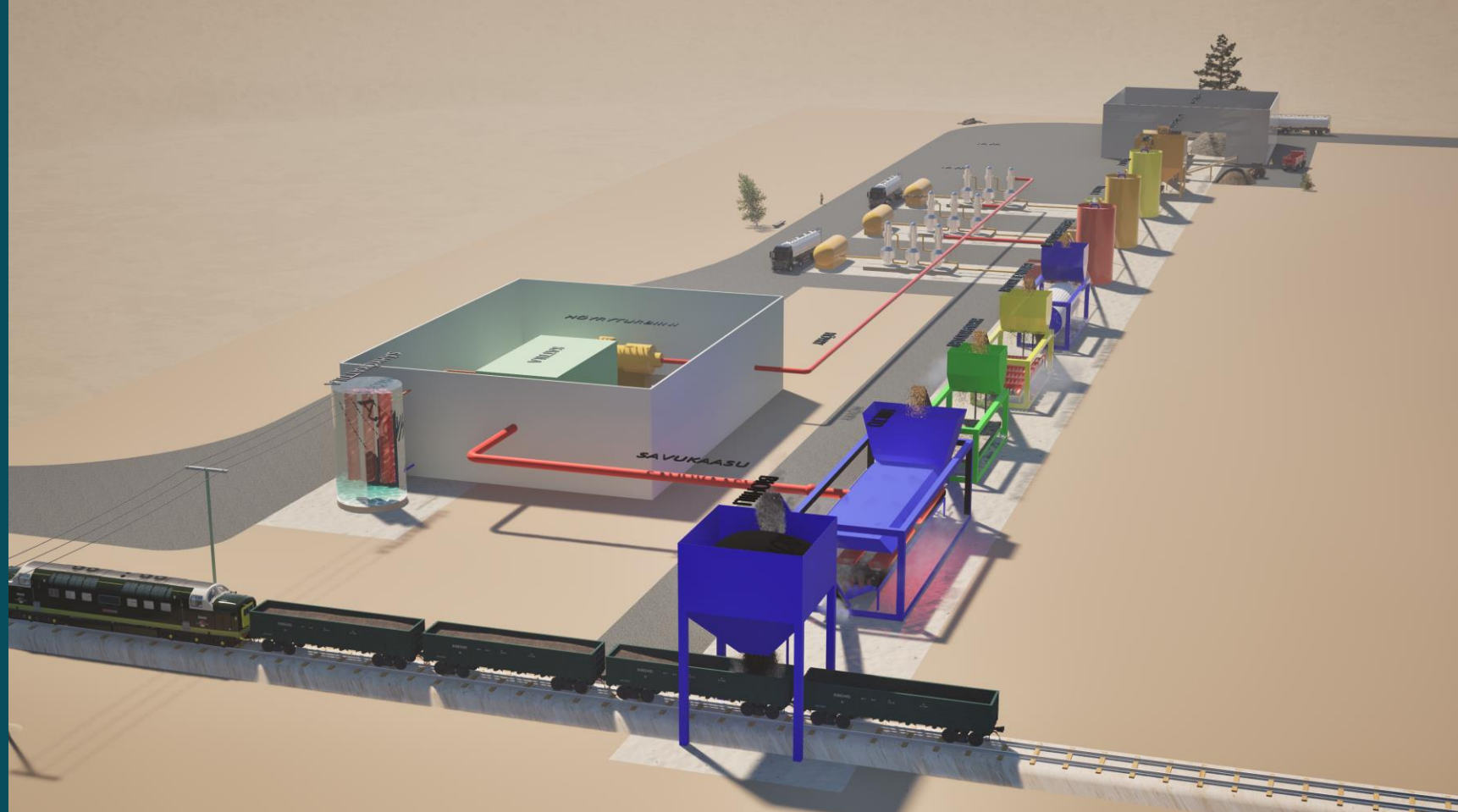
# Moniporras- biojalostamo

50...100 000 t DM/a sisään

Investointi arviolta 60-150 Me

Kehityshanke (?):

- digitaalinen kaksonen
- uutto- ja hiiltokeet  
**peräkkäin**



Uutteet (esim. hemiselluloosa, tanniinit, betuliini, sokerit)  
Biohiili (maanparannus- ja teollisuuslaadut sekä aktiivihiili)  
Prosessihöyry, kaukolämpö ja sähkö  
Tuhka ja ravinteet (K, Ca, P, Si, N)

Arvioitu saanto

10-25 % materiaalista

20-30 % materiaalista

40 % energiasta

< 5 %

Arvioitu arvo /  
tDM syötettä

150–500

100–250

30–60

5–15

# Yksi näkemys biojalosta mosta

Voimakkaasti  
yksinkertaistettu,  
mutta  
periaatteeltaan  
oikeannäköinen.



# Modulaarinen ja mukautuva biojalostamo: alustavasti arvioituja, likimääräisiä tunnuslukuja

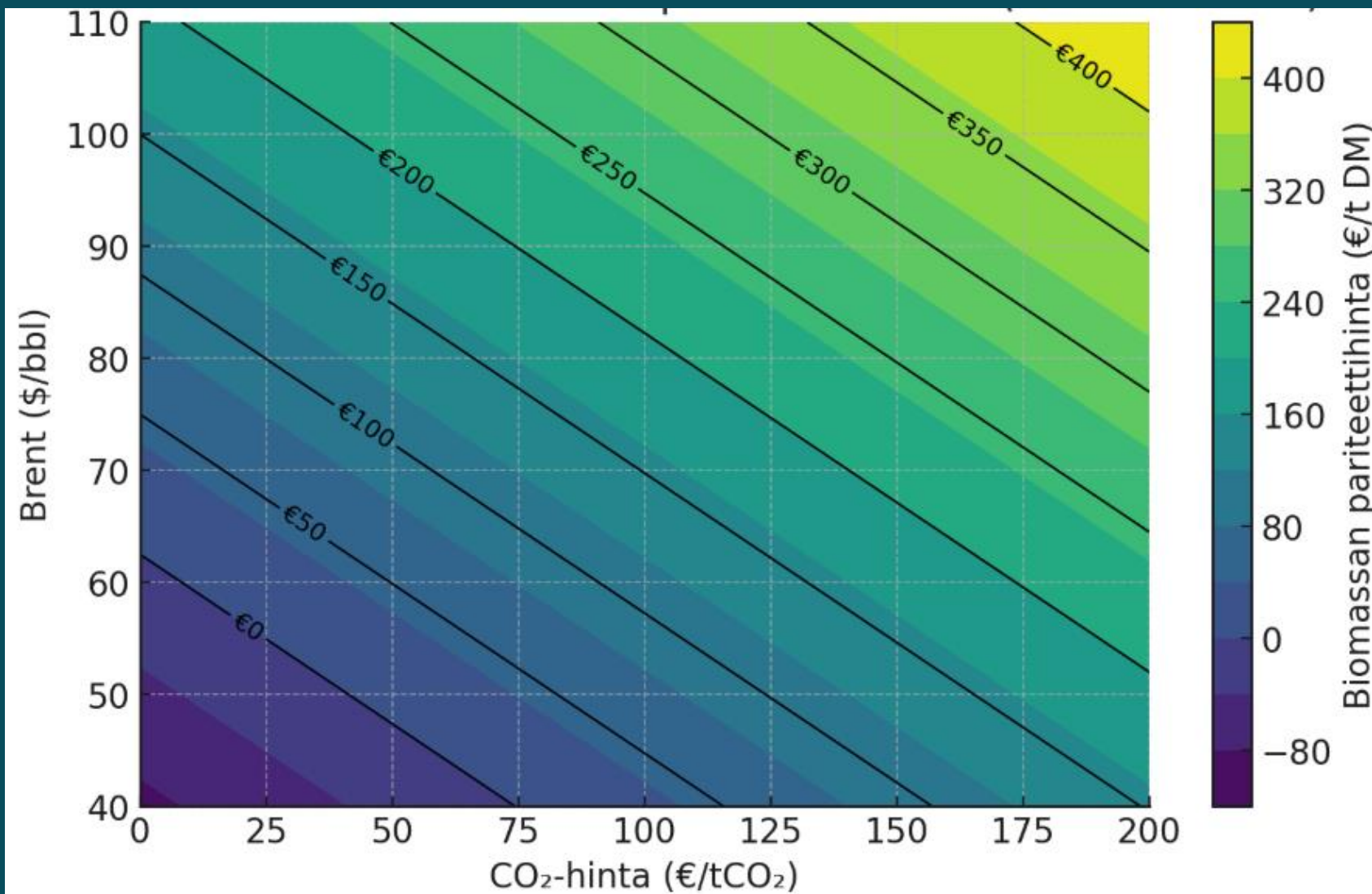
Kapasiteetti (kt DM/a)	CAPEX A: Uutto+CHP (M€)	CAPEX B: Uutto+Pyro+ ORC (M€)	CAPEX C: B + BECCS (M€)	OPEX A (M€/a)	OPEX B (M€/a)	OPEX C (M€/a)	Henkilöstö (FTE)	Syöttöenergia, jos kaikki syöte käytettäisiin energiaksi (GWh/a)	Sähkö B (GWh/a)	Lämpö B (GWh/a)	Sähkäteho B (MW)	Lämpöteho B (MW)	CO <sub>2</sub> -talteenotto C (t/a)	Sp. CAPEX B (€/tDM/a)
1	3,7	5,7	8,8	0,4	0,6	0,9	14	5	,6	1,9	0,1	0,2	1100	5700
3	8	12	18	0,8	1,2	1,8	19	14	1,7	5,6	0,2	0,6	3300	4000
10	18	27	39	1,8	2,7	3,9	28	47	5,6	19	0,6	2,2	10900	2700
30	38	57	81	3,8	5,7	8,1	39	140	17	56	1,9	6,4	33000	1900
60	62	91	130	6,2	9	13	48	280	34	110	3,9	13	65000	1500
120	100	150	200	10	15	20	59	560	68	230	7,7	26	131000	1200
250	170	240	330	17	24	33	73	1200	140	470	16	54	273000	1000
500	270	390	520	27	39	52	90	2400	280	940	32	107	545000	800

# Lisäbiomassareservit



- Kestävimpiä mahdollisia korjuukohteita:
  - niityt ja hakamaat
  - vieraslajien torjunta
  - harjujen paahdeympäristöt
- Potentiaali näistä Kainuussa 50...100 GWh/a
- Korjuu ja biomassan käsittely näistä vaatii vielä teknistä kehittämistä
- Omistajia em. maa-alueilla on myös paljon
- Metsähakkeen kestävä potentiaali Kainuussa n. 600 GWh/a
- Ekologisesti kannattaa siirtyä kohti hakkuutähdettä ja jättää enemmän runkopuuta metsään
- Hakkuutähteen korjuu pääosin vain VT-kasvupaikoilta ja rehevämmltä
- Ravinnetappiota voidaan korvata tuhkalannoituksella ja uutena ideana biomassasta ”karkeauutetulla” ravinneliuoksella

# Raakaöljyn (\$/bbl) ja päästöoikeuden hinnan vaikutus biojalostamon kannattavuuteen suuntaa-antavasti



Esim. jos öljy maksaa 70 \$/bbl ja päästöoikeuden hinta on 100 e/t, biomassasta voidaan maksaa korkeintaan 150 e/kuivattonni (n. 30 e/MWh), jotta prosessi olisi kilpailukykyinen öljystä valmistettavien tuotteiden kanssa.

# Sähkön- ja lämmöntuotanto laitoksella

- lämpöä tarvitaan uutettavan massan lämmittämiseen, kuivaukseen ennen uuttoa (jos CO<sub>2</sub>-uutto) ja lämpöahiöiden kattamiseen sekä kaukolämmön priimaamiseen
- uutteiden väkevöinti MVR-lämpöpumpulla, mahdollisesti myös uuttojäännöksen kuivaus
- sähköä tarvitaan vesipumppuihin, puhaltimiin, valaistukseen ja MVR-lämpöpumppuun sekä kompressorilämpöpumppuun, jos hukkalämpöä halutaan priimata sillä kaukolämmöksi
- jos optimointi onnistuu, koko prosessi toimii hiillosta sivutuotteena saatavilla kaasuilla (sis. sähkön)
  
- CHP-kytkentä = turbiinin jätelämpö prosessiin
- vaihtoehtoja ORC / ruuviekspanderi /vesihöyryturbiini
- dieselmoottori vara- ja huippuvoimana
  
- lisäjoustoä tarvittaessa korkeälämpötilavaraajasta (halpa sähkö / ylijäämälämpö)
- sähköliitäntä keskijännitteestä, ei tarvitse kantaverkkoa ja voi toimia myös irrallaan sähköverkosta
- sähköntuotannossa ja –kulutuksessa hiukan pelivaraa -> pörssi- tai säätösähkömarkkina

# Investointi ja lisäarvo

	Investointi, Me / sisäänsyötetty DM t/h	Jalostusarvon nosto e/t DM, verrattuna pelkkään lämpöön
Pelkkä lämmöntuotanto	4	0
CHP (1 osa sähköä, 2 lämpöä)	5	20...70
Biokaasu	15	70
Sellutehdas	5	400
Biojalostamo, monituotteinen	10	700

# Miten pienikokoisen biomassan arvo maksimoidaan?

1. Jätetään monimuotoisuuden kannalta riittävä määrä järeää puuta korjaamatta
2. Kerätään sellaisilta paikoilta, joista korjuu edistää luonnon monimuotoisuutta eli etenkin perinnebiotoopeilta ja tienvarsilta
3. Loppubiomassana käytetään halvan sähkön ansiosta ylimääräiseksi jäävää purua, kuorta ja 25% osuutta havupuiden hakkuutähteistä (=sähkökattilat korvaavat lämmöntuotannossa osan biosta)
4. Tuotetaan biomassasta uutteita ja biohiiltä
5. Vuorotellaan biomassan ja sähkön käyttöä hintasuhteiden mukaan
6. Prosessista vapautuva hiilidioksidi otetaan talteen ja joko loppusijoitetaan tai käytetään kemianteollisuuteen
7. Tuhka ja puristeneste (=ravinteet) viedään sinne, missä se lisää kasvua eikä vähennä monimuotoisuutta

# Mahdollisen kehityshankkeen tehtäviä

- Kokonaisuuden todentaminen TRL5-tasolla
- Peräkkäisten osaprosessien toimivuuden todentaminen laboratoriossa
- Digitaalinen kaksonen
- Dokumentoitu kannattavuus- ja ympäristöarvio (LCA)
- Valmius siirtyä pilottilaitoksen toteutukseen
- >2 varmennetulla markkinalla toimivaa tuotepolkua,  
positiivinen kassavirta myös heikossa markkinatilanteessa  
+ 2-3 lisäfraktiota, joiden potentiaali on korkea

# Biojalostamokonseptien vertailua

Ominaisuus	Pyrolyysi (hiilto)	Dendronic®	Monivaiheinen uutto 70–140–180 +hiilto
Lämpötilaportaat	Yksi korkea (400–500 °C)	Yksi kemiallinen (alle 200 °C)	Useita (70, 140, 180, 300–500 °C)
Tuotteet	Biohiili, lämpö, kaasut	Selluloosa, ligniini, furfuraali	Sokerit, uuteaineet, hemiselluloosa, furfuraali, ligniini, biohiili, energia
Energiaintegraatio	Hukkalämpö kaukolämpöön	Kokonaisenergiatase, ei pinch-optimointia. Hukkalämpö mahdollisesti kaukolämmöksi.	Täysi kaskadimalli: CHP, pinch-analyysi, lämmön portaittainen kierrätys
Markkina-arvo	Keskitaso (biohiili)	Korkea (ligniini, furfuraali, selluloosa)	Monituotekirjo, voi optimoida tilanteen mukaan
Markkinariski	Biohiilen kysyntä epävarma	Rajallinen määrä tuotteita	Laaja tuotekirjo, voi säätää
Soveltuvuus Kainuuseen	Yksinkertainen toteuttaa	Kallis, mutta houkuttelee sijoittajia	Innovatiivinen, voisi yhdistää kaikki: arvoaineet + hiilensidonta + energia
CAPEX €/t DM/a	400–600	~1 600	700–900
OPEX	Matala	Korkea	Kohtalainen
Skaalaustarve (sisään DM)	10–20 kt/a riittää	Väh. 50 kt/a	Optimi 60–80 kt/a

# Esimerkki investointien työllistävydestä

## Työvoimakerroin per 1 M€ (suuntaa-antava)

Sektorit	Rakentaminen, suora	Rakentaminen, alueelliset epäsuorat +indusoidut	Käyttö, suora	Käyttö, alueelliset epäsuorat +indusoidut
<b>Aurinkovoimala</b>	2,1	+1,4 = <b>3,5</b>	0,03	+0,04 = <b>0,07</b>
<b>Tuulivoima</b>	0,6	+0,7 = <b>1,3</b>	0,07	+0,08 = <b>0,15</b>
<b>Datakeskus</b>	0,5	+0,5 = <b>1</b>	0,05	+0,2 = <b>0,25</b>
<b>Biojalostamo</b>	0,8	+1,4 = <b>2,2</b>	0,4	+0,5 = <b>0,9</b>

## 2. Vedyn ja hiilidioksidin jalostuslaitos

Tuottaa esim. metanolia kemianteollisuuden raaka-aineeksi. Metanolista, vedystä ja ilman typestä voidaan valmistaa laajasti erilaisia peruskemikaaleja.

Huom! Eri asia kuin edellä kuvattu biojalostamo.

# Laskennallisia arvioita bio-/vihreä vety- pohjaiselle kemiantehtaalle

- Tuotteet
  - e-metanoli kemianteollisuuteen ja polttoaineeksi), 150 kt/a
  - urea lannoitteeksi ym., 250 kt/a
  - DME (dimetyylieetteri) polttoaineeksi dieselmoottoreihin, 40 kt/a
- Käyttää kaiken Kainuun bioperäisen hiilidioksidin (n. 450 kt/a). Voidaan integroida myös em. uutto-hiilto-biojalostamon yhteyteen, joskin sen CO<sub>2</sub>-tuotto sopivassa mittakaavassa (100 000 t kuiva-ainetta vuodessa sisään) on vain luokkaa 40 kt/a.
- Elektrolyserin asennettu sähköteho 500 MW
- Paikallinen tuuli- ja aurinkovoima riittää teoriassa noin puoleen vaaditusta sähköstä. Ko. energiamuotojen vaihtelevuuden takia tarvittava tuontisähköteho on ajoittain lähes mainittu 500 MW, ellei muuta omaa tuotantoa ole merkittävästi.
- Laitoksen arvioitu hinta 2 mrd euroa
- Kannattavuus edellyttää päästöoikeuden hintaa >> 200 e/t (nyt 80) tai ”vihreää preemiota”

# Mutta toisaalta...

- Fossiilisten raaka-aineiden käyttöä on pakko rajoittaa ennemmin tai myöhemmin. Mieluiten ”nyt”.
- Jos (lähes) kaikki Suomessa tarvittavat ja nykyään vientiin menevät kemikaalit ja lannoitteet tehtäisiin bioperäisestä hiilestä, vedystä ja ilmasta erotetusta typestä ym.
  - investointi olisi erittäin karkeasti arvioiden 10-15 mrd e/a seuraavan 10...20 v ajan
  - ”hintana” olisi arviolta 300...500 euroa vuodessa/henkilö päästöoikeuden hinnasta riippuen (100...200 e/t), mutta tällä osaltaan vältetään suurempia harmeja
  - BKT kasvaisi arviolta 0,5...1 %, pitkällä aikavälillä jopa 5...10%, joskin arvio on varsin epävarma
  - työllisyys lisääntyisi jopa 100 000 työpaikalla vuodessa
  - maailmanpoliittiset vaikutukset olisivat mitä ilmeisimmin myönteiset ja Suomi voisi näyttää, että raaka-aineomavaraisuus ja demokratia voivat olla liittolaisia, ei vastakohtia.

# Jalostamoiden vertailu

	<b>Vedyn ja hiilidioksidin jalostuslaitos</b>	<b>Moniporrasbiojalostamo</b>
<b>Pääasiallinen panos</b>	Sähkö (-> H <sub>2</sub> ) + bioperäinen CO <sub>2</sub>	Biomassa
<b>CO<sub>2</sub>-vaikutus</b>	Neutraali (kierto)	Negatiivinen (sidonta hiileen)
<b>Sähkönkulutus</b>	8–14 MWh/t tuotetta	0,2–0,5 MWh <sub>e</sub> /t sisäänsyötetty DM
<b>Pääomaintensiteetti</b>	Suuri	Kohtalainen
<b>Sähkörüippuvuus</b>	Tarvitsee paljon ulkopuolista sähköä, oma tuotanto vain osa	Vähäinen, voi olla täysin sähköomavarainen
<b>Markkinavalmius</b>	Vaatii toistaiseksi tukea, mutta pitkällä aikajänteellä kannattaa	Lähellä markkinoita, mutta kokeita tarvitaan ”reseptiikkaan”
<b>Alueellinen soveltuvuus</b>	Rannikot, suurteollisuus (suuret volyymit)	Ei merkittäviä rajoitteita, Kainuun tyyppinen ekosysteemi