EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE

COFREEN
Reed for Bioenergy and Construction

CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007–2013

Supported by
INTELLIGENT ENERGY
EUROPE

TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

COFREEN
Reed for Bioenergy and Construction

1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Pilliroo energeetilise kasutamise tehnoloogiad ja seadmed

Ülo Kask,
Soojustehnika instituut
Muhu 25.03.2103

Teemad

- Biomass ja selle liigid
- Biomassi energiaks muundamise tehnoloogiad
  - Termiline muundamine, põletamine
  - Biokeemiline muundamine , anaeroobne kääritamine
- Energiamuundamise seadmed

Biomass ja selle liigid

- Biomass üldises tähenduses on biotsünoosi (organismide eluskooslus) isendite elusaine hulk, väljendatuna toor- või kuivmassi ühikuis isendite elupaiga pinna- või mahuühiku kohta (t/ha, g/m^3 jne).

- Energeetikas on praegu veel arusaam, et biomassist saadavaid tahkeid kütuseid (*biomass-based fuels*) nimetakse ***biomassiks*** *(biomass)* ja biomassist saadavaid vedelkütuseid (*biomass-derived fuels*) ***biokütuseks*** *(bio fuels).*

Biomass ja selle liigid II

- Biomassi ja biokütuse definitsioonideks pakutakse (Alakangas, E…2000): **biomass** hõlmab kogu kasvavat orgaanilist ainet, nagu puit- ja rohttaimed, turvas ja vetikad. Tööstuses tekkivad puitjäätmed (koor, saepuru, oksad jne), must leelis, nagu ka küttepuit ja vanapaber klassifitseeritakse kui puitpõhine biomass. Turvas liigitatakse aeglaselt taastuva biomassi hulka.

- **Biomass** – taastuv orgaaniline aine. See sisaldab metsa ja saetööstuse jäätmeid, põllumajanduslikke saake (põlluvilju) ja nende jäätmeid, puitu ja puidujäätmeid, loomseid jäätmeid, kariloomade pidamise jäätmeid (sõnnik, läga), vetikaid, kiirkasvatatavaid puit- ja rohttaimi ning biolagunevaid olme- ja tööstusjäätmeid. Siia loetakse ka aeglaselt taastuvana kütteturvas.

- **Biomass** – bioloogilist päritolu materjal, mida on vähesel määral, kuid mitte keemiliselt või bioloogiliselt töödeldud.

- Pakutakse veel üldist mõistet – *biomasskütus* – biomassist pärinev ehk *biomasspõhine kütus*, mis võib omakorda olla muundatud tahkeks, vedelaks või gaasiliseks biokütuseks.

Biomass – taastuv energiaallikas?

- ***Biomassi* ja sellest saadavat b*iokütust*** võib mingil piiritletud territooriumil (nt Muhu vallas) lugeda ***taastuvaks energiaallikaks***, kui selle varumine seal ei ületa juurdekasvu. Teisisõnu, biokütust saab pidada taastuvaks, kui seda kasutatakse mingil territooriumil (üldiselt riigis) juurdekasvust (tekkest) vähem või enam-vähem juurdekasvu piires.

- Taastuvuse määrab juurdekasvu ja tarbimise suhe, mitte kasvukiirus.

- Juurdekasvust enam kogutud biokütust ei saa lugeda taastuvaks. Seega ei ole termin biokütus sünonüümiks terminile taastuv ehk rääkides biokütusest, ei saa seda alati ja igal juhul pidada taastuvaks kütuseks.

Biokütuste klassifitseerimine

- Tahkete biokütuste klassifitseerimine algab päritolu määramisest, mille alusel kütused jaotatakse järgmisteks gruppideks:
  - Puit(du)põhine biomass;
  - rohtne biomass (sh pilliroog);
  - puuviljade biomass;
  - lisanditega ja segatud biokütused.

Biomassi lähteallikad

- Puitpõhine biomass (puitkütused, energiamets (-võsa)
- Energiakultuurid (samuti rohttaimed kasutamata põllumaal)
- Niidu- ja luhataimed, pilliroog (poollooduslikel rohumaadel ja märgaladel)
- Vesiviljelus (s.h vetikakasvatus)
- Põllumajandusjäägid (põhk, pealsed)
- Loomakasvatusjäätmed (sõnnik, loomsete kudede jäätmed)
- Biojäätmed majapidamisest, kaubandusest teenindusest (tahked, vedelad)
- Biolagunevad tööstusjäätmed (-jäägid)

Pilliroog kütusena

- Pilliroo potentsiaalse küttematerjalina laialdasema kasutamise mõte hakkas teadaolevalt idanema 1990ndatel aastatel Läänemaal (Lihula, Matsalu). Siis toodi ka TTÜsse katsetusteks esimesed pilliroobriketid.

- Juba enne II Maailmasõda ja 1970-1980ndatel aastatel valmistati pilliroo matte hoonete soojustamiseks (nn roliiti), selle mõõtulõikamise jääke võidi kasutada ka kütteks.

Töid pilliroo kütusena kasutamiseks

- Matsalu Looduskaitseala töötajad eesotsas Aleksei Lotman'iga esitavad idee – kasutada Matsalu märgala rohtset biomassi Lihula linna kütmiseks. Põhjus - Matsalu maastikud hakkasid kiiresti linnustikule ebasoodsas suunas muutuma e. võsastuma. 1990ndate II pool.

- Valmib Taastuvenergiakeskuse „Taasen“ (projektijuht Tõnu Lausmaa) koostatud põhjalikum uuring „Matsalu märgala biomass biokütusena. 1999.

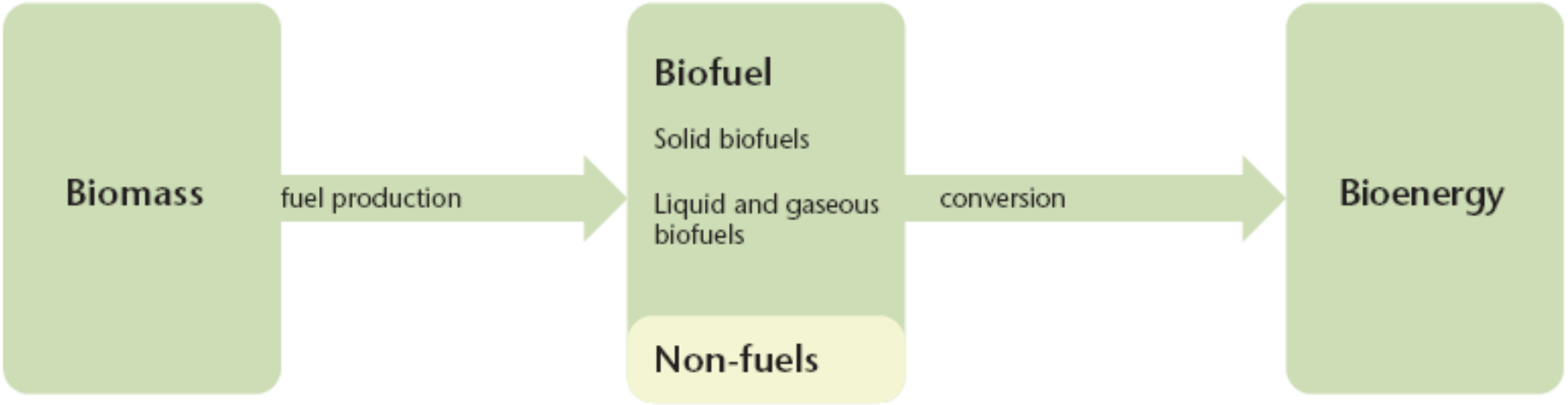
- Kaks uuringut projekti **„Eluterve ja jätkusuutlik keskkond Lihula vallas - Matsalu märgala pilliroo ja muu biomassi kasutamine Lihula linna energiavarustuseks“ 01.03.2005 – 01.03.2006”** raames:

  - 1. Eeluuring "Matsalu Märgala roo ja muu biomassi kasutamise võimalused energiatootmisel Lihulas" Ülo Mets.

  - 2. Tehnoloogia tehnilis-majanduslik uurimustöö “Pilliroo põletamiseks sobivaima soojuse ja elektri koostootmise tehnoloogia uuringu läbiviimine ning tehnoloogia tarnijate pakkumiskonkursi dokumentatsiooni ettevalmistamine”. TTÜ Soojustehnika Instituut. 2005-2006.

Biomassi energiaks muundamise tehnoloogiad

Biokütuse tootmise ja kasutamise lihtsustatud ahel



Biomassi energeetilise kasutamise ahel

Kasva(ta)mine, kogumine/koristamine

Töötlemine, transport, ladustamine

Muundamine

Termokeemiline, Füüsilis-keemiline, Biokeemiline, Bakteriaalne

Söestamine	Peenestamine	Aeroobne lagundamine
Gaasistamine	Pressimine	Anaeroobne käärimine
Pürolüüs	Esterdamine	Fermenteerimine (C_2H_5OH)

Tahked, vedelad ja gaasilised produktid (kütused)

Põletamine

Termo-mehaaniline muundamine

Soojus, elekter, mootorikütused

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Pilliroo eelneva töötlemise ja energeetilise kasutamise võimalused

- Pilliroo füüsilis-mehaaniline töötlemine (lõikamine peenestamine, pressimine, pelletite ja brikettide tegemine jms) ning seejärel põletamine tavaküttekolletes (*fire places*) ja/või energeetilistes kolletes.

- Pilliroo termokeemiline töötlemine (lagundamine kõrgel temperatuuril) ja laguproduktide põletamine (generaatorgaas, biosüsi, röstitud pelletid, bioõli) energeetilistes seadmetes või sisepõlemismootorites.

- Pilliroo (toore, silo) biokeemiline töötlemine (biogaas, bioetanool).

Pilliroo füüsilis-mehaaniline töötlemine ja põletamine tavaküttekolletes ja energeetilistes kolletes

Pilliroo briketid ja pelletid,

Austria firma KWB põleti

Põletusseadmeid

- Austria firma KWB stokerpõleti, sobib nii hakkpuidu, puitpelletite kui ka rohtse biomassi pelletite põletamiseks.

Pilliroo füüsilis-mehaaniline töötlemine ja põletamine tavaküttekolletes ja energeetilistes kolletes II

Peenestatud pilliroog – sobiv hakkpuidu hulka segamiseks

Pilliroogu peenestatakse viljajääkide hulka

Pilliroo füüsilis-mehaaniline töötlemine ja põletamine tavaküttekolletes ja energeetilistes kolletes III

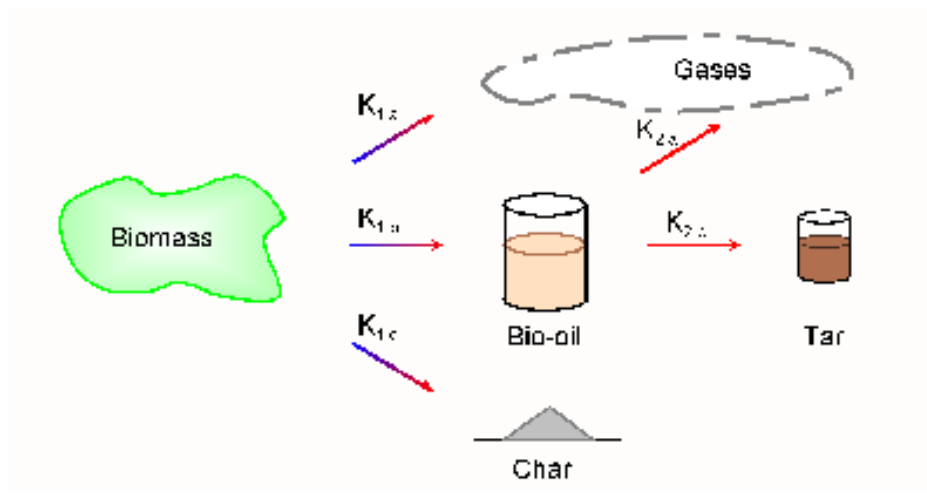
Biomassi (pilliroo) termokeemiline muundamine (*Termo-chemical conversion*)

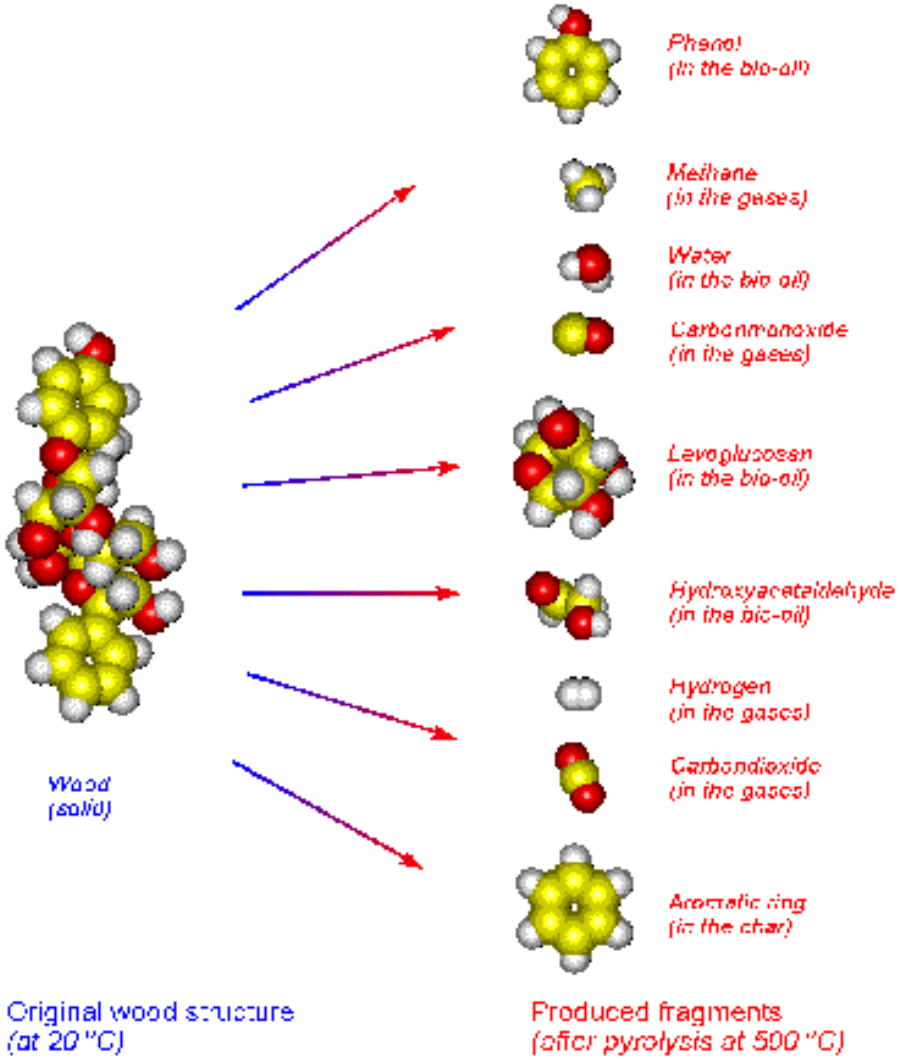
- **Termokeemiline muundamise** hulka kuuluvad protsessid (gaasistamine, pürolüüs ja söestamine), mille käigus tahked (bio)kütused (siin: pilliroog) muudetakse teisesteks (sekundaarseteks) tahketeks, vedelates ja gaasilisteks energiakandjateks kasutades sealjuures esmalt soojust.

- $2C + O_2 \longrightarrow 2CO$
- $CO + H_2O \longleftrightarrow CO_2 + H_2$

Paremal joonisel on näidatud puidu lagunemise produktide laia valikut

Kui biomassi lagundatakse kõrgendatud temperatuuril tekivad kolm peamist produkti: gaas, bio-õli ja süsi.





Gaasistamine (*gasification*)

- **Gaasistamise** käigus muudetakse tahke biomass (biokütus) eelistatult gaasiliseks energiakandjaks.

- Gaasistamist võib vaadelda põlemise sarnase protsessina, mille käigus juhitakse protsessi vähem hapnikku kui täielikuks põletamiseks vaja (liigõhutegur on 0,2-0,4, st antakse kuni 60% täielikuks põlemiseks vajalikust õhuhulgast). Maksimaalne energia muundatakse gaasi energiaks.
- Gaasistamise eesmärk on purustada keerulisemad ühendid põletatavateks gaasideks - H_2 ja CO.

Gaasi kvaliteet ja kasutusalad

- Biomassi gaasistamisel saadav gaas on nn keskmise kvaliteediga gaas, mille kütteväärtus on piires 10-18 MJ/m^3.
- See gaas on otse põletatav sisepõlemismootorites (Otto ja Diesel mootorites), mis käitavad SEK, soojuspumpade kompressoreid või liiklusvahendeid.
- See on puhastatav juhtimiseks gaasivõrku või muundatav metanooliks.

Pürolüüs (*pyrolysis*)

- **Pürolüüs** – kuivdestillatsioon ehk krakkimine, utmine - aine muundamine (termokeemiline lagunemine) kõrgel temperatuuril ehk aine lagundamine lihtsamate ühenditeni kuumutamise teel vähese hapniku juuresolekul.

- Pürolüüsi käigus töödeldakse biomassi eesmärgiga saada maksimaalset vedelate fraktsioonide osa. (Liigõhutegur ~0,1). Energia peamiselt õlides ja söes).

Pürolüüs 2

- **Pürolüüs toimub** tüüpiliselt temperatuuridel üle 430 °C (800 °F). Sõna tuleb kreeka keelsetest sõnadest ja *pyr* “tuli" and *lysis* “eraldamine".
- Pürolüüs on termolüüsi erijuhtum ja peamiselt kasutatakse seda protsessi orgaaniliste ainete lagundamiseks ja üks osa protsessist on söestamine (koksistamine - *charring*).
- Puidu pürolüüs algab temperatuuril 200–300 °C (390–570 °F). Üldiselt saadakse orgaanilise aine pürolüüsi tulemusel gaasi, vedelprodukte ja tahket jääki, mis valdavalt koosneb süsinikust.
- Ekstreemsel juhul kui kogu jääk on ainult süsinik, nim protsessi karboniseerimiseks ehk söestamiseks.

Söestamine (*carbonisation*)

- Söestamise eesmärk on saada biomassist maksimaalselt tahket produkti ehk puusütt (grillsüsi, biosüsi) ja see toimub samuti kõrgel temperatuuril ja täielikuks põlemiseks vajalikust õhuhulgast väiksema õhuhulga juures.

- Söestamine ei erine oluliselt gaasistamisest ja pürolüüsist, vaid eesmärgist – saada max söestunud fraktsiooni.

Torrefitseerimine ehk röstimine

- **Torrefitseerimine** on biomassi (nt pilliroo) nn pehme, mahe pürolüüs, kus temperatuur jääb vahemikku 200-320 °C.
- Röstimise käigus roo omadused muutuvad ja saadav produkt saab sobivamad omadused otseseks põletamiseks või gaasistamiseks.

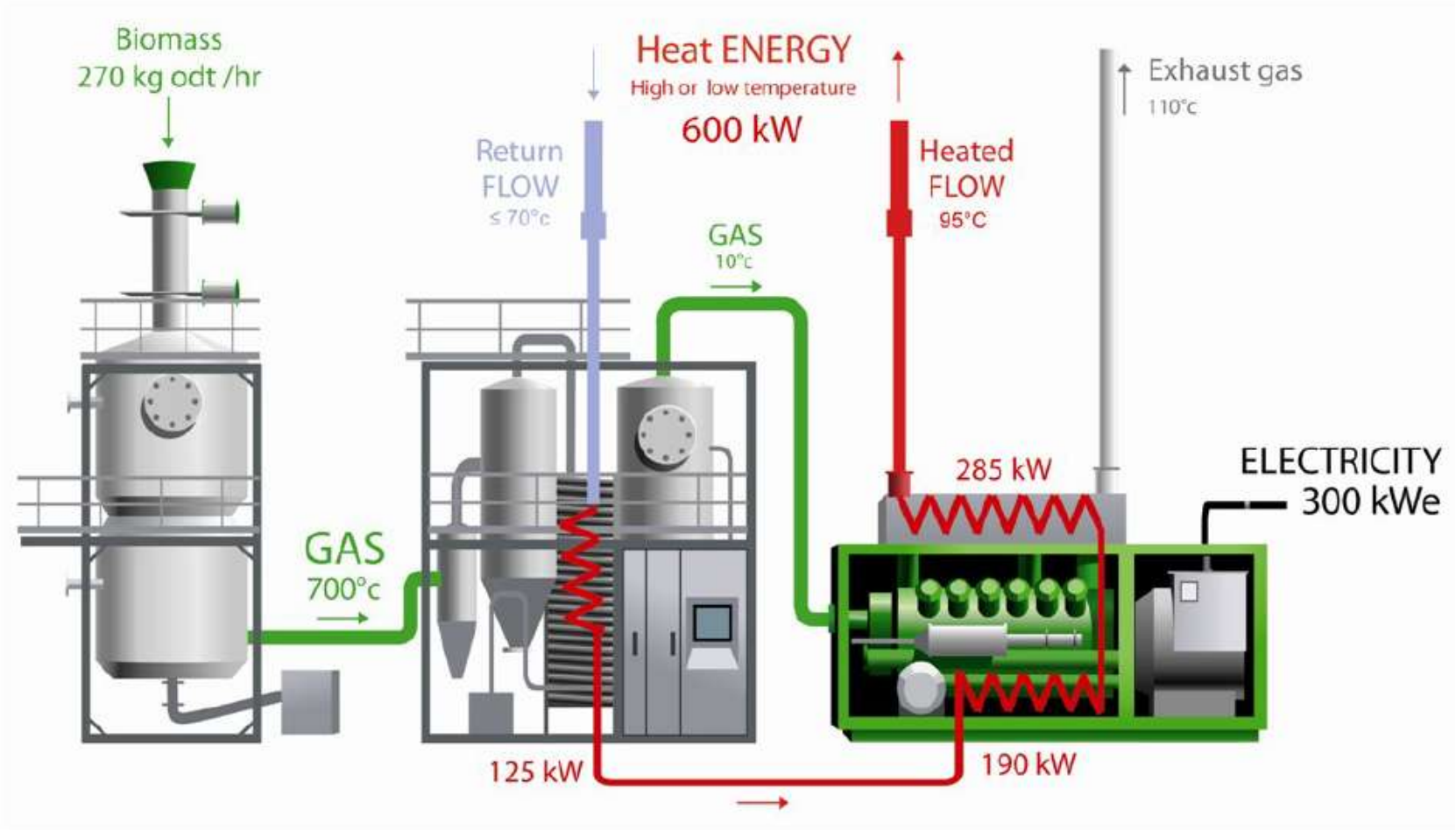
- Seega röstitud biomass saab järgmised eelised röstimata ees:
  - Suurem energiatihedus,
  - Kergem peenestada (jahvatada),
  - Veekindel, seega ka kergem käidelda ja transportida,
  - Välditud bioloogiline aktiivsus.

- Energiatihedus 18 - 20 GJ/m^3 võrreldes puiduga 10 - 11 GJ/m^3, vähendab 40 - 50% transpordikulusid.

Tahkete kütuste omadused võrdlemiseks

	Wood	Wood pellets	Torrefaction pellets	Charcoal	Coal
Moisture content (% wt)	30 – 45	7 – 10	1 – 5	1 – 5	10 – 15
Calorific value (MJ/kg)	9 – 12	15 – 16	20 – 24	30 – 32	23 – 28
Volatiles (% db)	70 – 75	70 – 75	55 – 65	10 – 12	15 – 30
Fixed carbon (% db)	20 – 25	20 – 25	28 – 35	85 – 87	50 – 55
Bulk density (kg/l)	0.2 – 0.25	0.55 – 0.75	0.75 – 0.85	~ 0.20	0.8 – 0.85
Volumetric energy density (GJ/m^3)	2.0 – 3.0	7.5 – 10.4	15.0 – 18.7	6 – 6.4	18.4 – 23.8
Dust	Average	Limited	Limited	High	Limited
Hydroscopic properties	Hydrophilic	Hydrophilic	hydrophobic	hydrophobic	hydrophobic
Biological degradation	Yes	Yes	No	No	No
Milling requirements	Special	Special	Classic	Classic	Classic
Handling properties	Special	Easy	Easy	Easy	Easy
Product consistency	Limited	High	High	High	High
Transport cost	High	Average	Low	Average	Low

Soojuse ja elektri koostootmise võimalusi



Global efficiency = 75% (25% electricity, 50% heat)

Biomassi gaasistamine võiks tulevikus olla majanduslikult atraktiivne võimalus pidevaks soojuse ja elektri koostootmiseks väikestes detsentraliseeritud energiavarustussüsteemides.

Väikesed gaasigeneraatorid

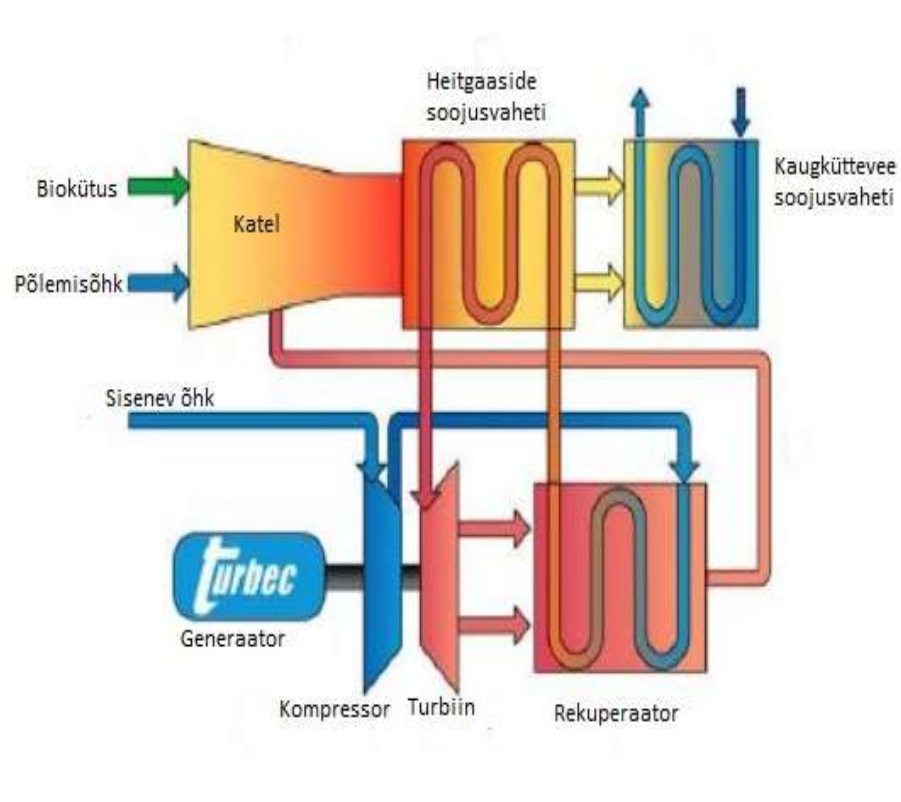
Kasutab puitjäätmeid või peenbiomassi – töötab väljaspool elektrivõrke

Pelleteid kasutav väike puugaasi-generaator

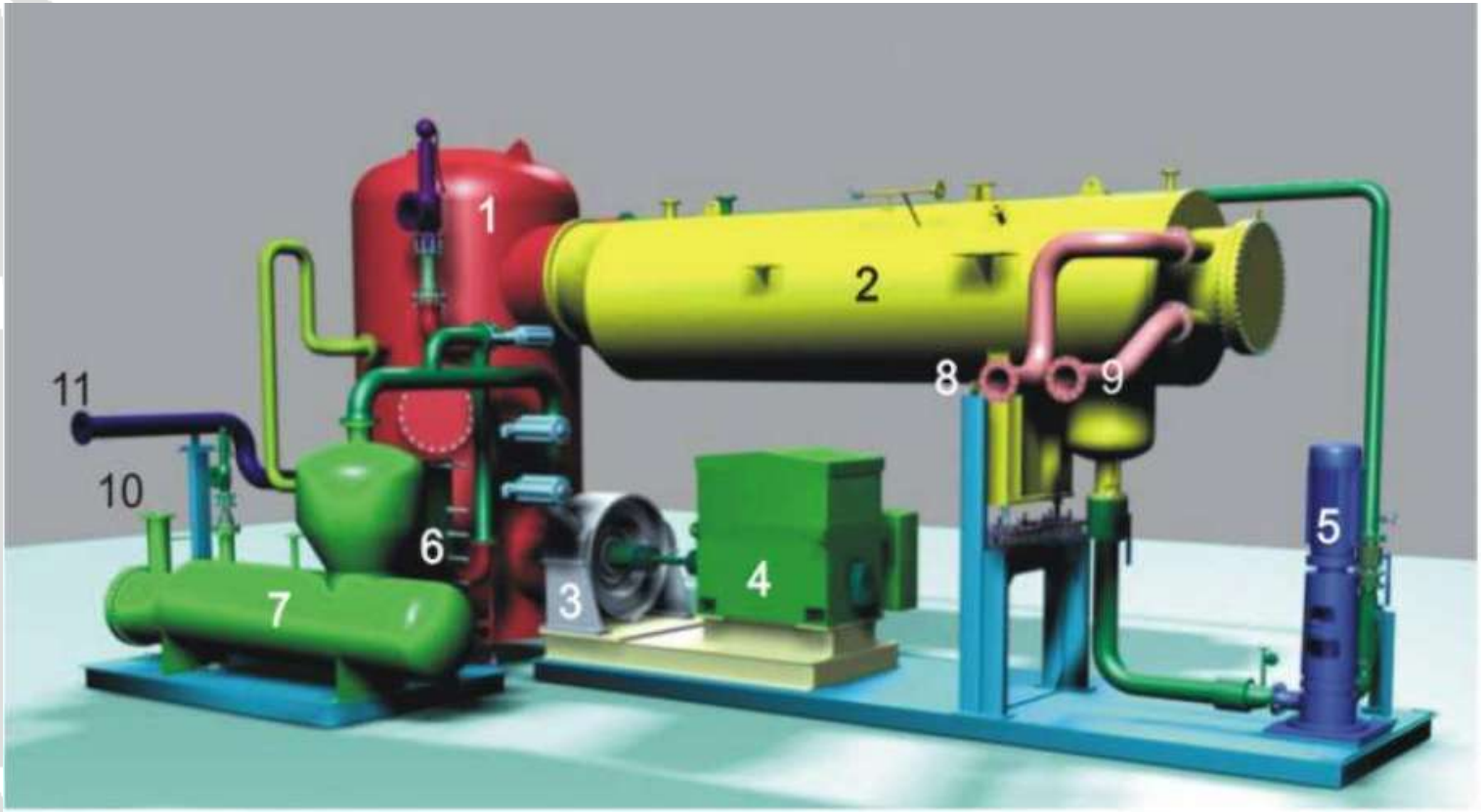
Spanner Holz Kraft'i 45 kWe puidugaasisti

Spanner Holz Kraft'i 45 kWe puidugaasisti

Soojuse ja elektri koostootmine kuumaõhu turbiiniga

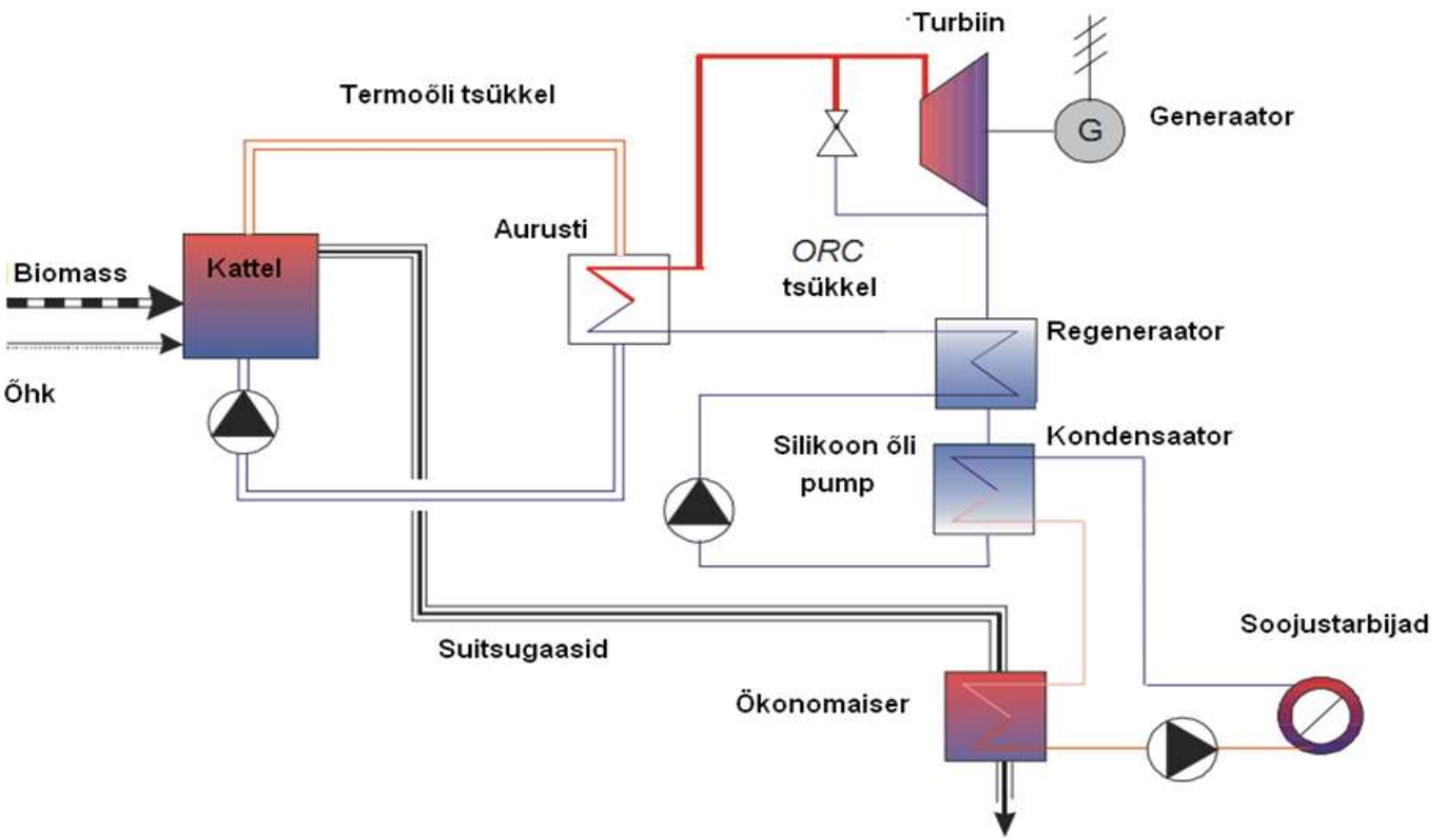


Orgaanilise Rankine tsükliga (ORC) koostootmisseade - töökehana kasutatakse orgaanilist ainet – silikoonõli, mida katlas kuumutatakse (põletatakse biomassi).



ORC seade ruumiline skeem. 1-Regeneraator 2-Kondensaator 3-Turbiin 4-Generaator 5-Tsirkulatsiooni pump 6-Eelkuumendi 7-Aurusti 8-Jahutusvee pealevool 9-Jahutusvee tagasivool 10-Termoõli pealevool 11-Termoõli tagasivool.

ORC seadme põhimõtteskeem



Pilliroo biokeemiline töötlemine

- **Katsete tulemused TTÜ Keemia instituudis**
- Erinevate pillirooproovide biogaasistamisel eraldunud biogaasi metaanisisaldus jäi vahemikku 52,30 – 58,55% (juunis keskmine 53,5 ± 0,86%; augustis keskmine 56,1 ± 1,45%). Antud tulemuste põhjal võib öelda, et hilissuvel korjatud pilliroo anaeroobse kääritamisel on eraldunud biogaasi metaanisisaldus kõrgem, mis viitab ka biogaasi kõrgemale küttevääртusele.
- Juunis korjatud hektari energiasisalduseks oli keskmiselt 17,1 ± 2,49 MWh/ha ww (19,1 ± 1,90 MWh/ha TS) ja augustis korjatud hetktari keskmiseks energiasisalduseks oli 22,1 ± 1,44 MWh/ha ww (23,9 ± 3,17 MWh MWh/ha TS).
- Nt 2006. aastal tarbiti elektrit ning soojust kokku 23 TWh.
- Kui iga aasta augustis toimuks pilliroo korjamine 6 500 hektarilt, siis oleks sealt saadava pilliroo märgmassi energiasisalduseks 0,14 TWh, mis moodustaks soojuse ning elektrienergia lõpptarbimisest ligikaudu 0,62%.

Pilliroo proovivõtu kohad

Kuivatatud ja purustatud pillirood:

- Turbuneeme
- Aiavilja
- Kiideva
- Puhtu
- Papiniidu
- Vaibla

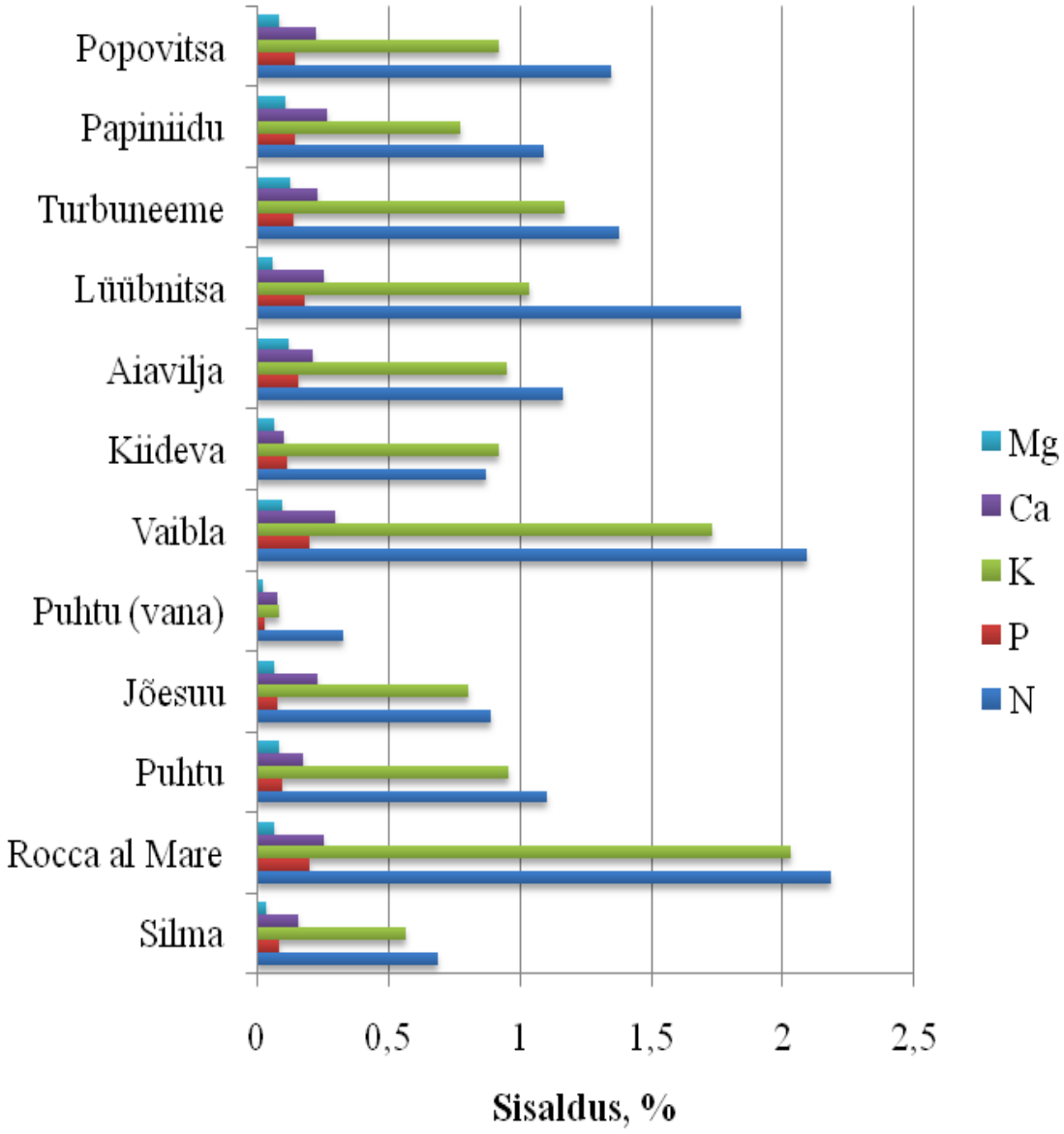
Anaeroobselt kääritatud pilliroog:

- Popovitsa

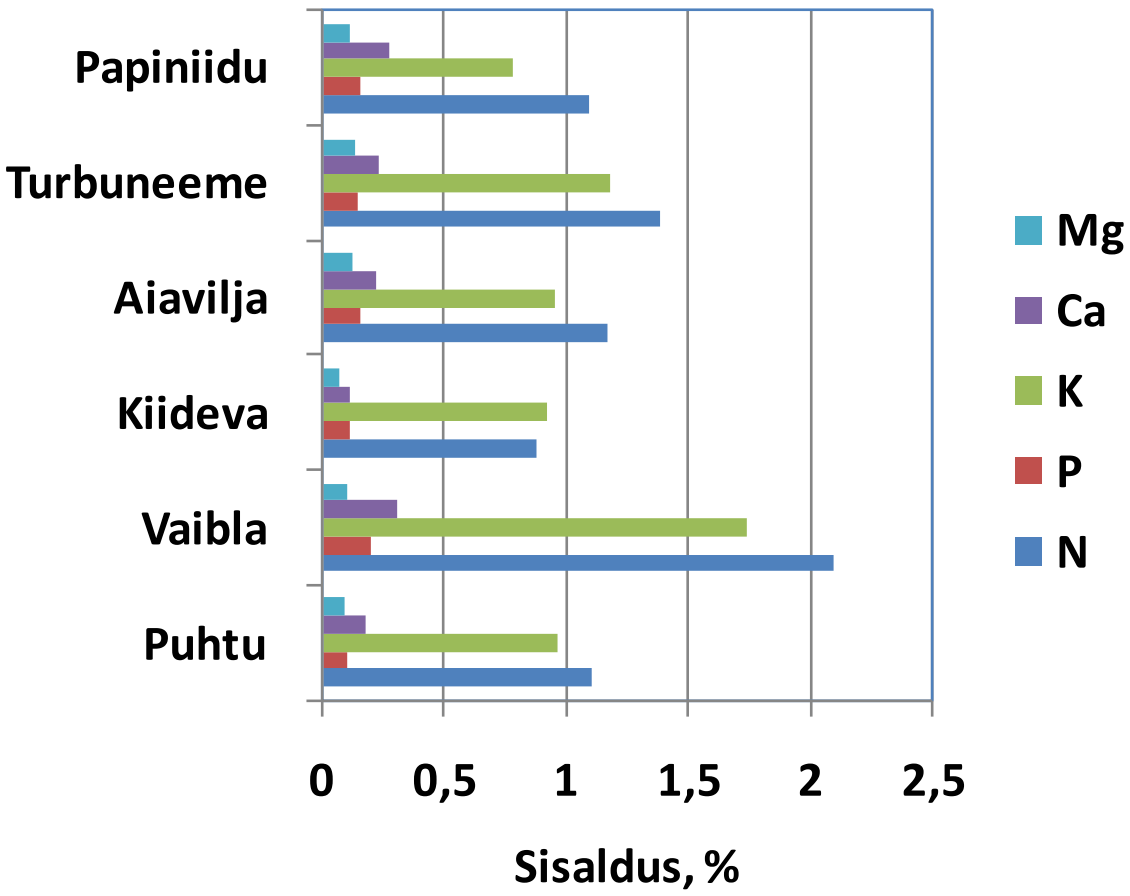
Pilliroo keemiline koostis

Metaani toodeti vähem pilliroo proovides, mis asusid **suure N ja P sisaldusega** roostikes: Lüübnitsa, Popovitsa, Rocca al Mare ja Vaibla.

Esimesed kaks asuvad Peipsi järves ja viimane Võrtsjärves – mõlemaid peetakse eutrofeerunud järvedeks. Rocca al Mare asub tiheasustusega pealinnas, kus merevesi on reostunud ja toitaineterikas.



Pilliroo keemiline koostis II



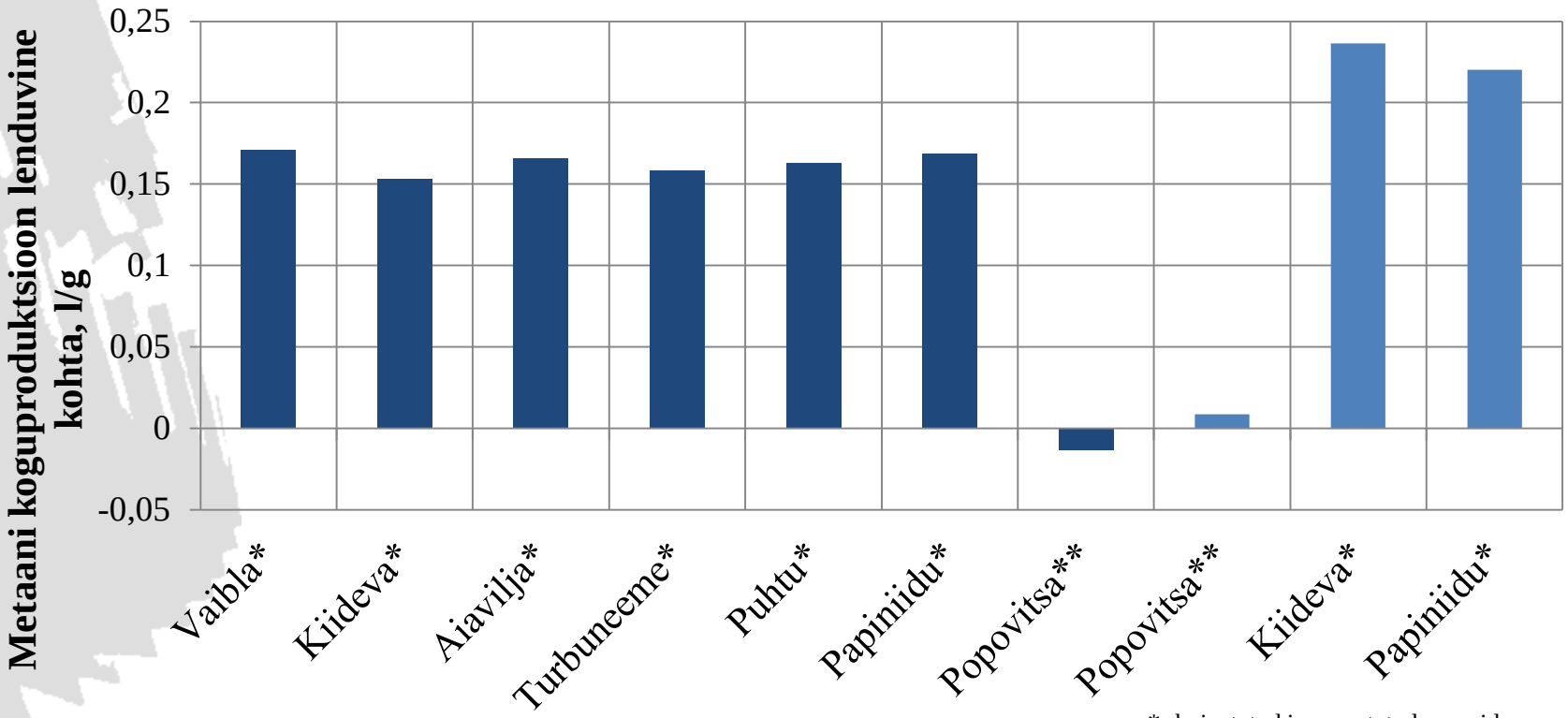
Lignotselluloosi koostis oli pilliroo proovidel sarnane.

Keskmine **tselluloosi** sisaldus **37,06 ± 3,60%**;

keskmine **hemitselluloosi** sisaldus **29,87 ± 1,53%;**

keskmine **ligniini** sisaldus **7,89 ± 1,85%**.

Pillirooproovide metaani koguproduktsioon 50. päev, l/g LA kohta



*- kuivatatud ja purustatud proovid
**- ärakääritatud proovid

Tallinna Vee inokulumiga proovid, keskmine **0,163 l/g LA kohta**,
Salutaguse inokulumiga proovid, keskmine **0,228 l/g LA kohta**.

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Võrdluseks – Eestist korjatud proovid, 2007.a. – 0,275 l/g LA. Saksamaa, 2005.a. – 0,181 l/g LA

Tahke kääritamisega biogaasijaam Saksamaal

Rohtse biomassi rakendusi - *biorefinery*

Biokeemiatehas -

Aminohapped, piimhape

Foto : Antti Below