

Teema 7. Taastuvenergia lahendused põllumajandustootmises.

Biomassi termokeemiline muundamine

Ülo Kask

Tallinna Tehnikaülikool, soojustehnika
instituut

8. aprill, 2015



Teemad

- Ülevaade maailma energiakasutusest, sh taastuvate energiaallikate, nüüd ja tulevikus. Teavet silmaringi laiendamiseks
- Biomassi termokeemiline muundamine - liigid, tingimused, tehnoloogiad ja seadmed. Kasutatav toore, selle omadused, kasutamise riskid. Saadavad produktid, nende edasine töötlemine, kasutatavus.
- Põllumajandusliku tootmisega seotud taastuvenergia ressursid ja nende paiknemine, Põllumajandustootmise energeetiline efektiivsus ja riskitegurid.

Energiavajadus aastas *versus* energiaressursid

○ Annual Energy Demand

○ Uranium (nuclear energy)

○ Oil

○ Coal

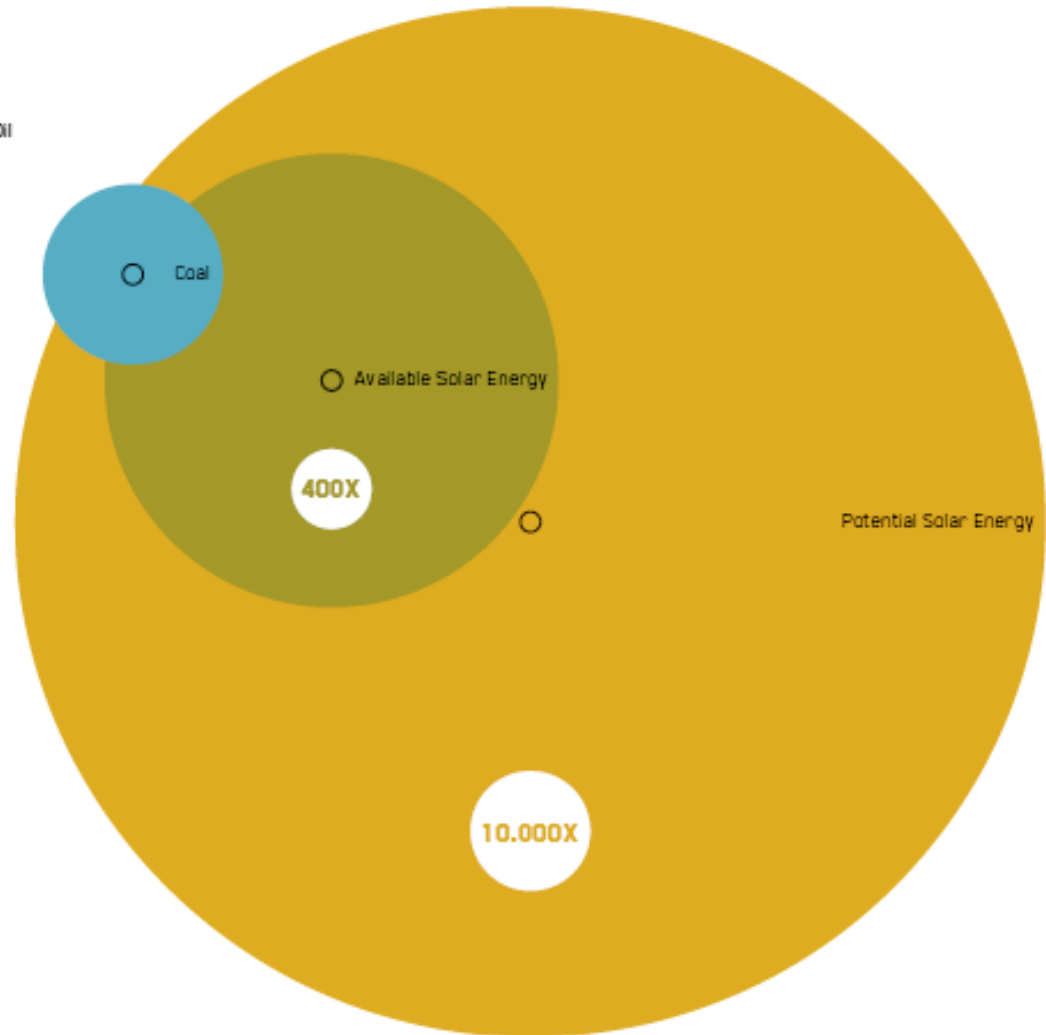
○ Available Solar Energy

400X

10.000X

Potential Solar Energy

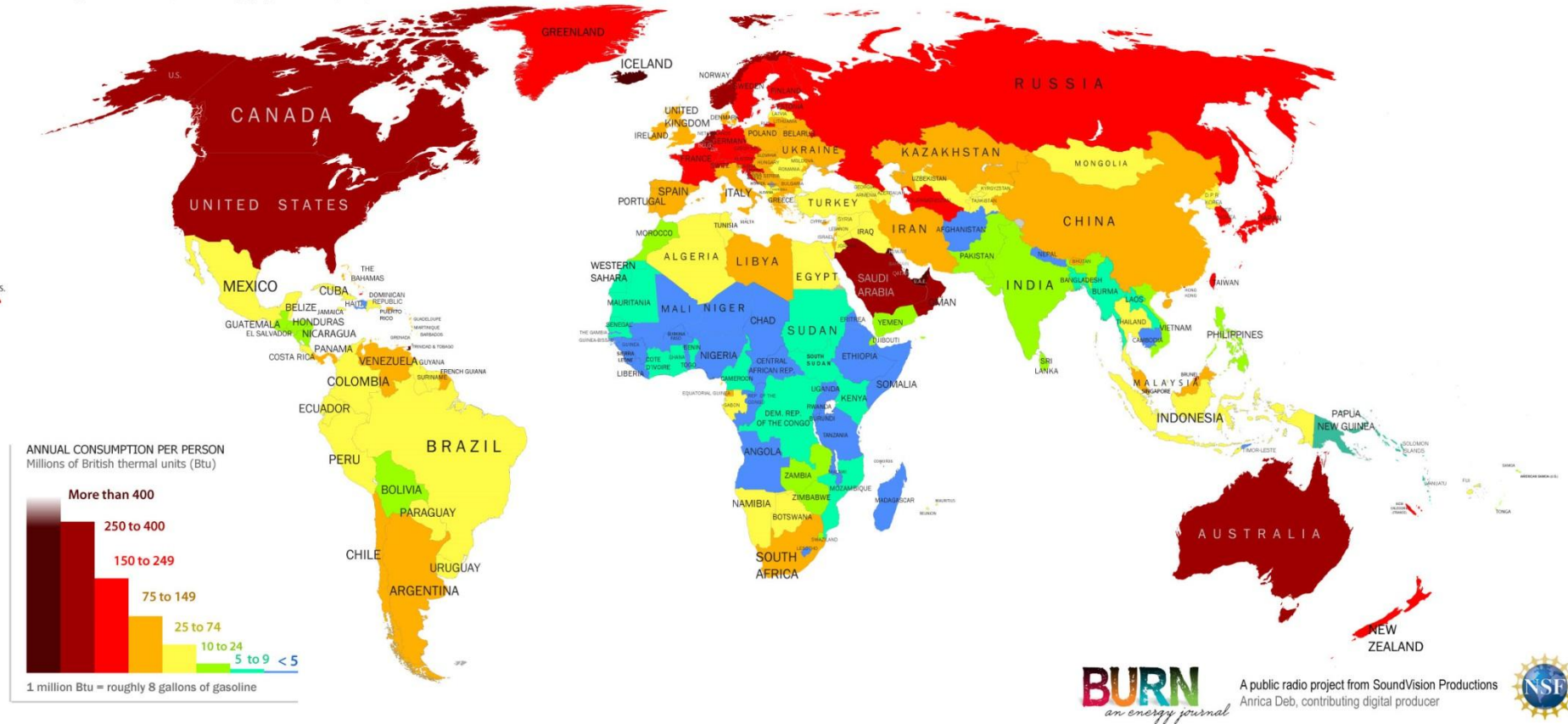
<http://www.sapa-solar.com/the-solar-promise.html>



Energiakasutus inimese kohta riigiti, 2010

Energy Consumption Per Person, by country, 2010.

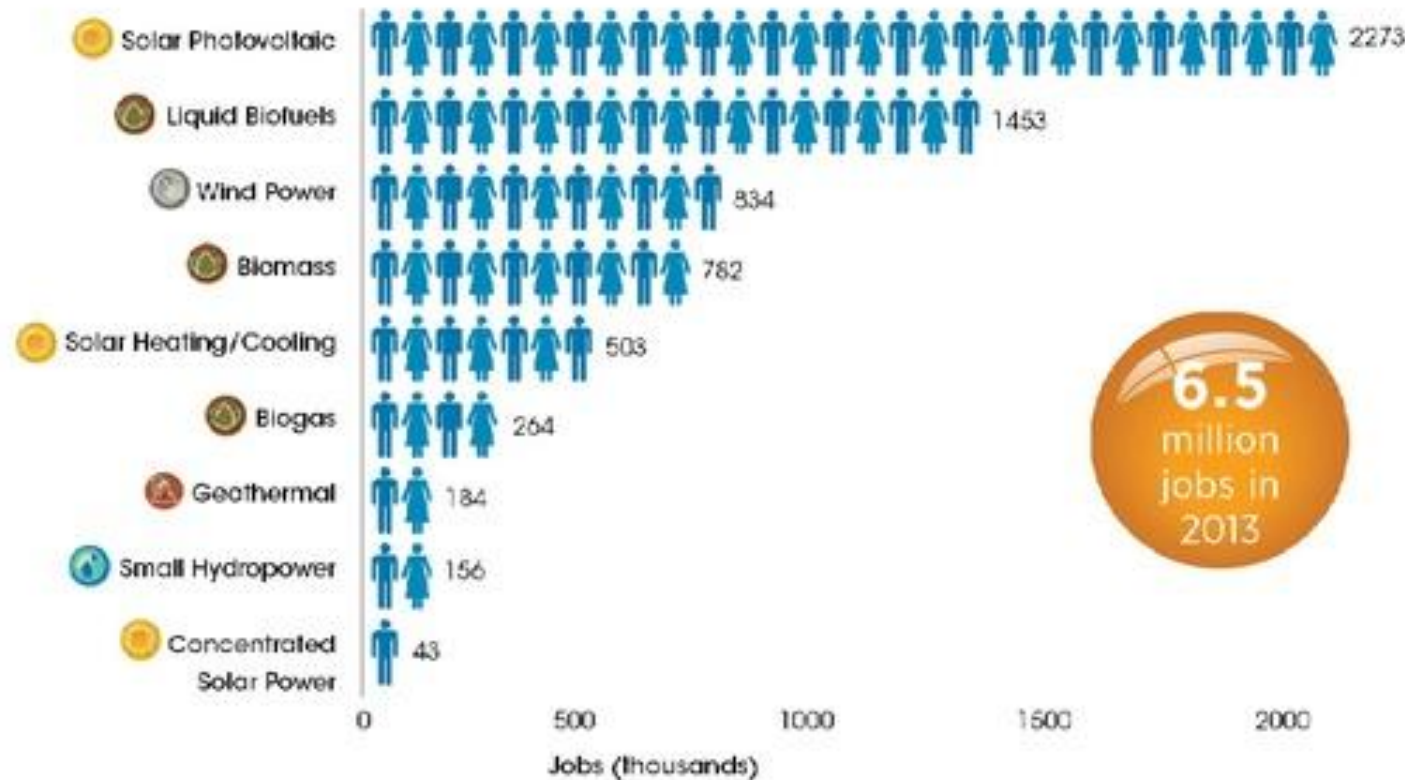
SOURCES: U.S. Energy Information Administration, International Energy Agency, CIA World Factbook, U.N. Dept. of Economics and Social Affairs



1 055.05585 joules = 0.293071 W·h. 1 MMBtu (1 million BTU) = 1.054615 GJ = 0.293 MWh.
400 MMBTU = 117,2 MWh.

https://www.google.ee/search?tbm=isch&tbs=rimg%3ACX32uxs1dWSFJgqL8qolEvZbauQD_10Guxzt3EOAi7C4m-xfsxfpxz-hwlQ2f-1uy9iPBvCHFP_1q5KQznKSNxYojHCoSCSovvqiUS9lTEWSNlnwSij2HKhlJq6oP_1Qa7HO0RpjC3t2Wr7kqEgncQ4CLsLib7BEeDIlvClkbwCoSCV-zF-nFn6HCEW9QovvMWMuYKhUVDZ_17W7L2I8RMN6vOXkOEgQqEgkG8lcU_1-rkpBGJ8TKae8D2pyoSCTOcp13FiiMcEU7I1EZacNNJ&q=world%20energy%20consumption%20by%20sector%202013&ei=1nsVMnPjCtePZ2rgLgE&ved=0CAkQ9C8wAA#imgdii=_&imgsrc=Z2pjAzBQAKEx-M%253A%3BqFRKNZY_HfRoQM%3Bhttp%253A%252F%252Fburnanenergyjournal.com%252Fwp-content%252Fuploads%252F2013%252F03%252FWorldMap_EnergyConsumptionPerCapita2010_v4_BargraphKey.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fmesothelialcells.us%252Fsearch%252Fworld-maps-from-omnimap-the-worlds-leading-international-%3B2500%3B1200

Taastuenergia tehnoloogiate loodud töökohad, 2013



Brazil, however, is a biofuels powerhouse. The country is the world's biggest grower of sugarcane, which is used to make ethanol. About 894,000 people were employed in renewable energy jobs in 2013 with about 70 percent of those positions related to biofuel production.

<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2014/05/why-a-green-jobs-boom-is-under-way-in-bangladesh/362087/>

RENEWABLE ENERGY EMPLOYMENT BY TECHNOLOGY

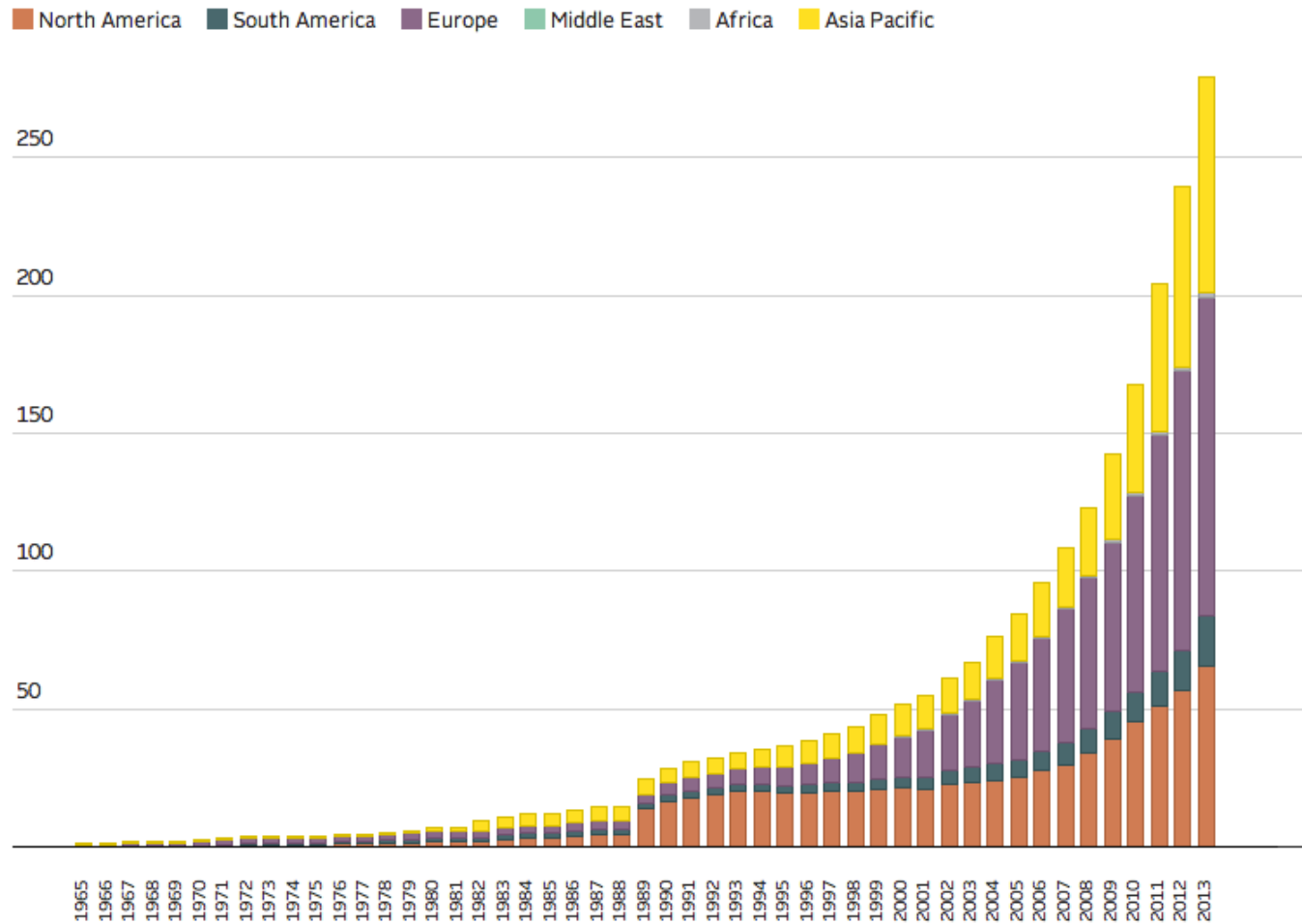


https://www.google.ee/search?tbm=isch&tbs=rimg%3ACX32uxs1dWSFijgqL8qolEvZbauqD_10Guxzt3EOAi7C4m-xfsxfpxZ-hwIQ2f-1uy9iPBvCHFP_1q5KQznKSNxYojHCoSCSovyqiUS9ItEWSNlnwSIJ2HKhIjQ6oP_1Qa7HO0RpjCl3t2Wr7kqEgncQ4CLsLib7BEeDilvClkbwCoSCV-zF-nFn6HCEW9QovwMWMuYKhIJVDZ_17W7L2I8RMN6v0XkOEgQqEgkG8lcU_1-rkpBGJ8TKae8D2pyoSCTOcpI3FiiMcEU7l1EZacNNJ&q=world%20energy%20consumption%20by%20sector%202013&ei=1nsVMnPJcTePZ2rgLgE&ved=0CAkQ9C8wAA#imgdii=&imgsrc=kQs04wGU6XdMCM%253A%3BdViMD4sqxi61UM%3Bhttp%253A%252F%252Fcdn.theatlantic.com%252Fassets%252Fmedia%252Fimg%252Fposts%252F2014%252F05%252FIRENA_Renewable_Energy_Jobs_by_Technology%252Fb16803bdc.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.theatlantic.com%252Ftechnology%252Farchive%252F2014%252F05%252Fwhy-a-green-jobs-boom-is-under-way-in-bangladesh%252F362087%252F%3B570%3B402

Taastuvenergia kasutamise maailmas

Global renewable energy consumption

Excluding hydropower. In million tons of oil equivalent.



Source: BP Statistical Review of World Energy 2014



https://www.google.ee/search?tbm=isch&tbs=rimg%3ACX32uxs1dWSFJjgqL8qolEvZbauqD_10Guxzt3EOAi7C4m-xfsxfpxZ-hwlQ2f-1uy9iPBvCHFP_1q5KQznKSNxYojHCoSCSovyqiUS9ltEWSNlnwSij2HKHlJq6oP_1Qa7HO0RpiCl3t2Wr7kqEgncQ4CLsLib7BEeDlIvClkbwCoSCV-zF-nFn6HCEW9QovwMWMuYKhIJVDZ_17W7L2i8RMN6v0XkOEgQqEgkG8IcU_1-rkpBGJ8TKae8D2pyoSCTOcpl3FiiMcEU7l1EZacNNJ&q=world%20energy%20consumption%20by%20sector%202013&ei=-1nsVMnPjCtePZ2rgLgE&ved=0CAkQ9C8wAA#imgdii=_&imgsrc=USsl_M45HiOlzM%253A%3B14_-oZEJJ7SekM%3Bhttp%253A%252F%252Fcdn2.vox-cdn.com%252Fassets%252F4633447%252Fglobal_renewable_energy_use.png%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.vox.com%252F2014%252F6%252F19%252F5821250%252Fthese-5-charts-show-why-the-world-is-still-failing-on-climate-change%3B758%3B637

Taastuvenergia valdkondade esiviisikus olevad riigid

Top Countries with Installed Renewable Electricity by Technology (2012)



Sources: EIA, RENZI

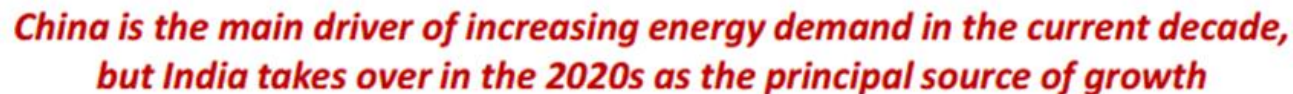
50

Global Renewable Energy Development | October 2013

<http://cleantechnica.com/2014/01/03/nrel-23-global-electricity-generation-supplied-renewable-sources/>

The engine of energy demand growth moves to South Asia

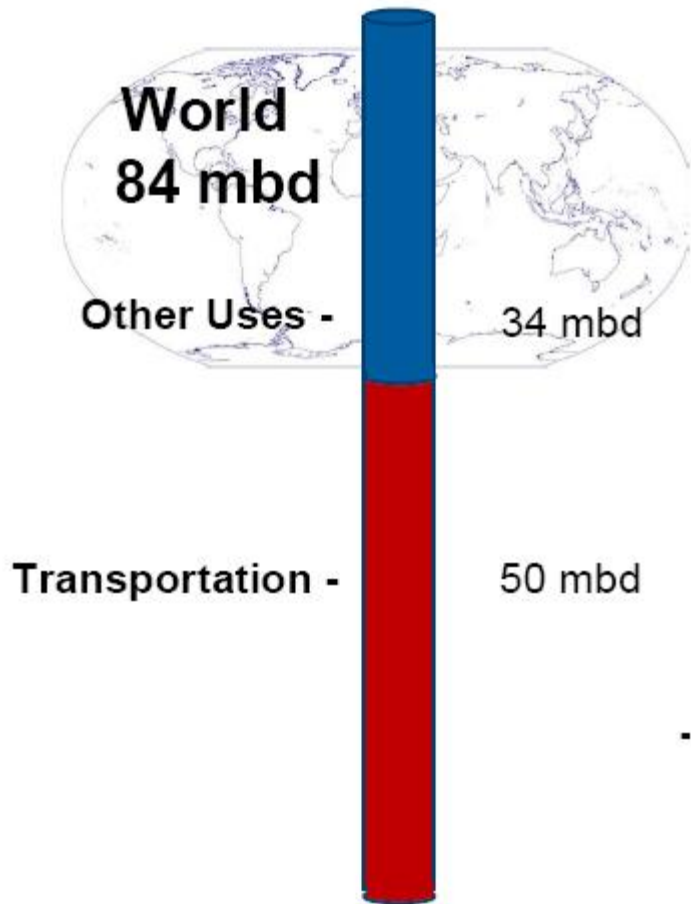
WORLD
ENERGY
OUTLOOK
2013



https://www.google.ee/search?q=world+energy+consumption+by+sector+2013&newwindow=1&tbm=isch&imgil=zaAQsQ7u412oiM%253A%253BPmi8SeP8T8MvHM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fen.wikipedia.org%25252Fwiki%25252FRenewable_energy&source=iu&p=from=zaAQsQ7u412oiM%253A%25252FCPmi8SeP8T8MvHM%25252C__&usg=__cfo30-EZBAHxZ8M98hQqQ8JMWDM%3D&biw=1536&bih=726&ved=0CCKqfj&ei=3VnsVom6FciU-C3g5gC#imgdii=__&imgsrc=ffa7GzV12IWWHM%253A%3BBECmbai7rBSMIM%3Bhttp%253A%252F%252F4.bp.blogspot.com%252F-lIeJa027HwY%252Fuo53MamRRtI%252FAAAaaaaABbCk%252FRBqqJfSskik%252Fs1600%252F12-03-2013a.png%3Bhttp%253A%252F%252Fnewenergynews.blogspot.com%252F2013%252F12%252Ftoday's-study-worlds-energy-options-3.html%3B960%3B720

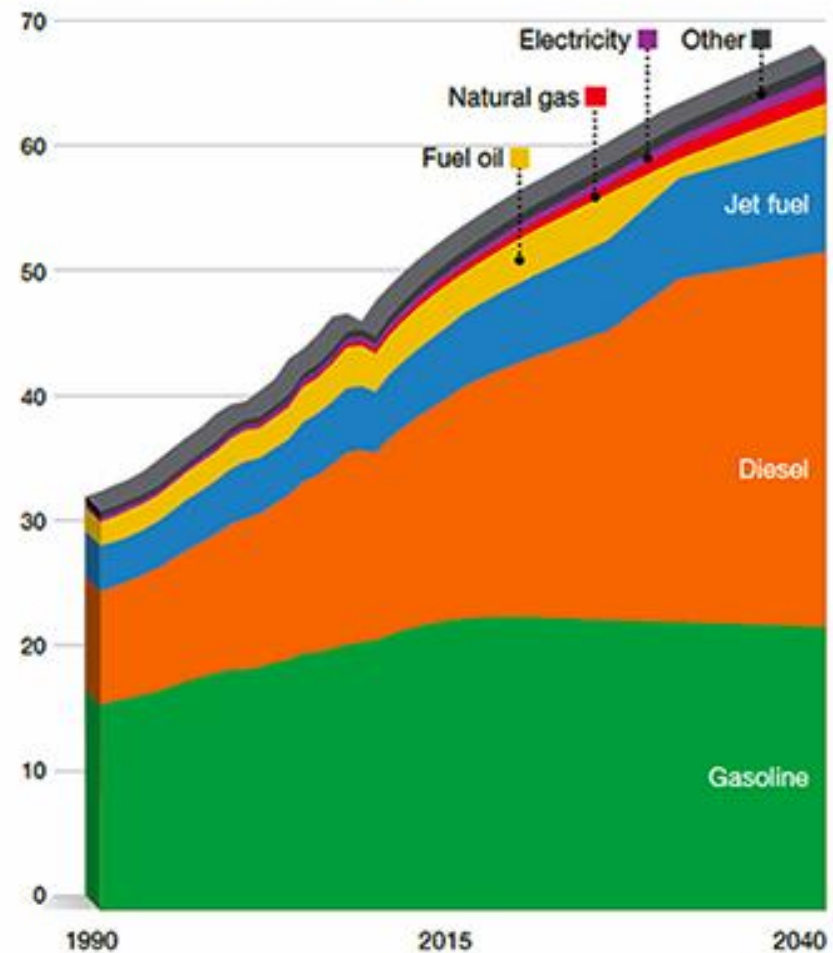
Transportkütuste nõudlus maailmas

Petroleum consumption 2008



Transportation fuel demand

Millions of oil-equivalent barrels per day

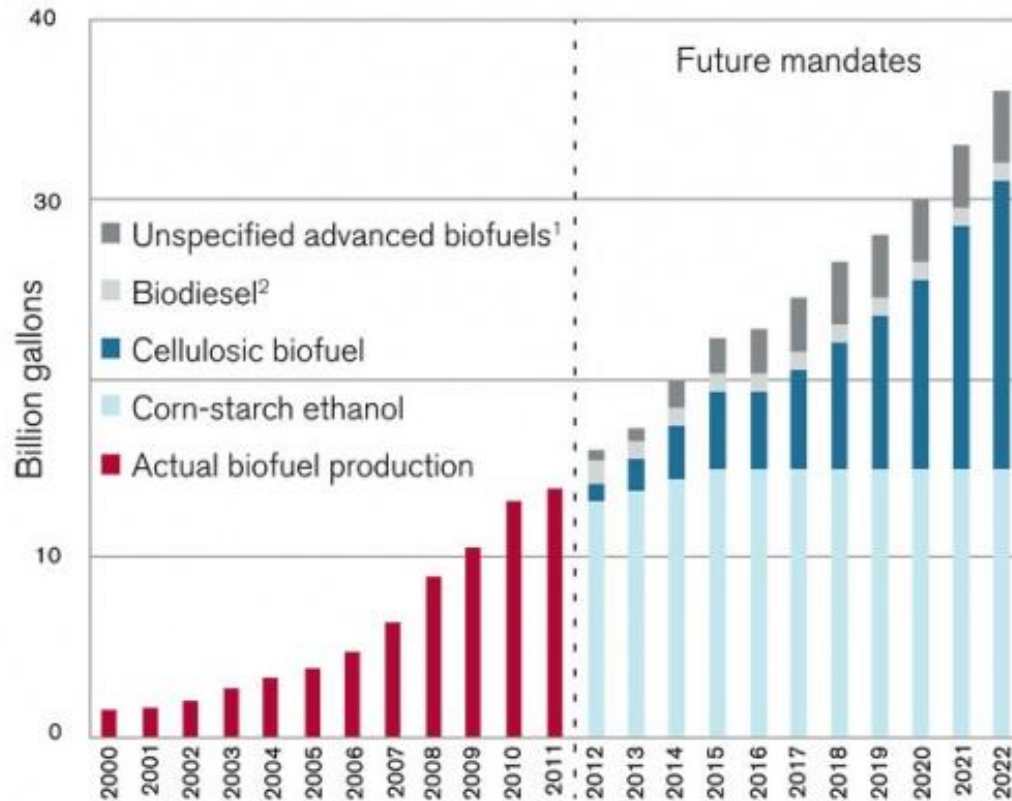


ExxonMobil

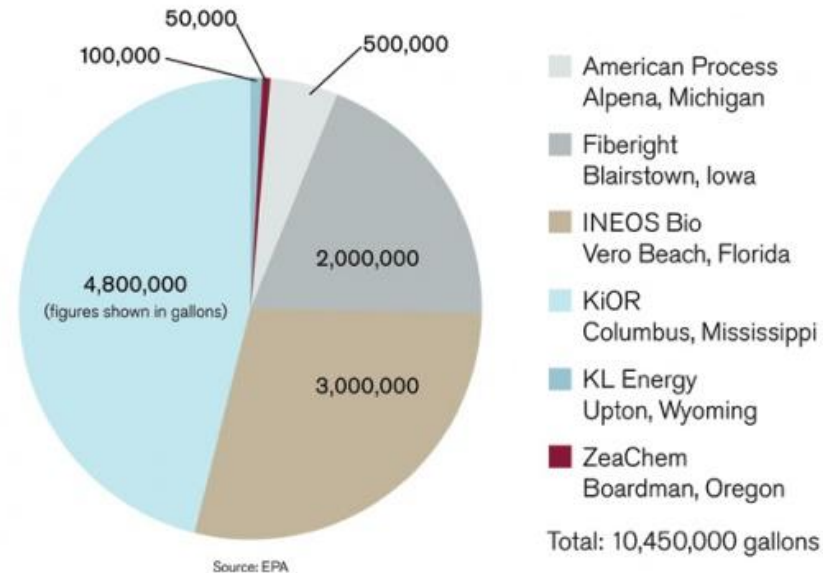
https://www.google.ee/search?tbm=isch&tbs=rim%3ACX32uxs1dWSFJlqL8qolEvZbauqD_10Guxzt3EOAi7C4m-xfsxfpxZ-hw/Q2f-1uy9iPBvCHFP_1q5KQznKSNxYojHCoSCSovvyqiUS9ltEWSNlnwSij2HKhlJq6oP_1Qa7HO0RpjCl3t2Wr7kqEgncQ4CLsLib7BEeDIlvClkbwCoSCV-zF-nFn6HCEW9QovwMWMuYKhIJVDZ_17W7L2I8RMN6v0XkOEgQqEgkG8lcU_1-rkpBGJ8TKae8D2pyoSCTOcpI3FiiMcEU7l1EZacNNJ&q=world%20energy%20consumption%20by%20sector%202013&ei=1nsVMnPJcTePZ2rgLgE&ved=0CAkQ9C8wAA#imgdii=_&imgsrc=Xh9ZuchLxe4CgM%253A%3B0cGZUeDg-XdQBM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.ourenergypolicy.org%252Fwp-content%252Fuploads%252F2013%252F01%252FPicture-14.png%3Bhttp%253A%252F%252Ftheenergycollective.com%252Fbillsquadron%252F169971%252Ffuture-energy-consumption-natural-gas-transportation%3B344%3B455

USA bioetanooli toodang alates 2000

Renewable Fuel Standard and U.S. Ethanol Production Since 2000



EPA Expects Six U.S. Facilities to Produce Cellulosic Biofuel in 2012



¹Excludes corn-starch ethanol and could include fuels made from a variety of feedstocks, including grains like sorghum and wheat, as well as Brazilian sugarcane ethanol, biomass-based biodiesel, and biofuels made from cellulosic materials.

²Mandates to be determined by the EPA, but will be no less than one billion gallons.

Source: Congressional Research Service

<http://www.technologyreview.com/news/427874/us-will-be-hard-pressed-to-meet-its-biofuel-mandates/>

<http://www.technologyreview.com/news/427874/us-will-be-hard-pressed-to-meet-its-biofuel-mandates/page/2/>

Toidutootmist mõjutavad globaalsed tegurid

- Kliimamuutused
- Õli- ja gaasinappus
- Põllumajandusmaa kadu (degradeerumine, erosioon jm)
- Kultuurid bioetanooli ja biodiislikütuse tootmiseks
- Konkurents mageveele
- Kalavarude vähenemine
- Rahvastiku kasv (Aasias süüakse rohkem liha ja vajatakse rohkem maad, kus seda niigi vähe).
- **Kaks peamist tegurit – kliimamuutused ja fossiilkütuste (nafta, gaas) puudus** – võivad teineteisest sõltumata põhjustada toiduainete tootmise katastroofilise vähenemise.
- Toidutootmise ahel (maaharimine, väetised, koristus transport jne) sõltub täielikult naftaproduktidest . Looduslikust gaasist toodetavad väetised kindlustavad 40% ulatuses meie viljasaagid.

<http://collapseofindustrialcivilization.com/2013/06/14/peak-meat-and-other-threats-to-the-worlds-food-supply/>

Cleanest Solutions to Global Warming, Air Pollution, Energy Security – Energy & Env. Sci, 2, 148 (2009)

Electric Power

Vehicles

Recommended – Wind, Water, Sun (WWS)

1. Wind,
2. CSP,
3. Geothermal,
4. Tidal,
5. PV,
6. Wave,
7. Hydroelectricity

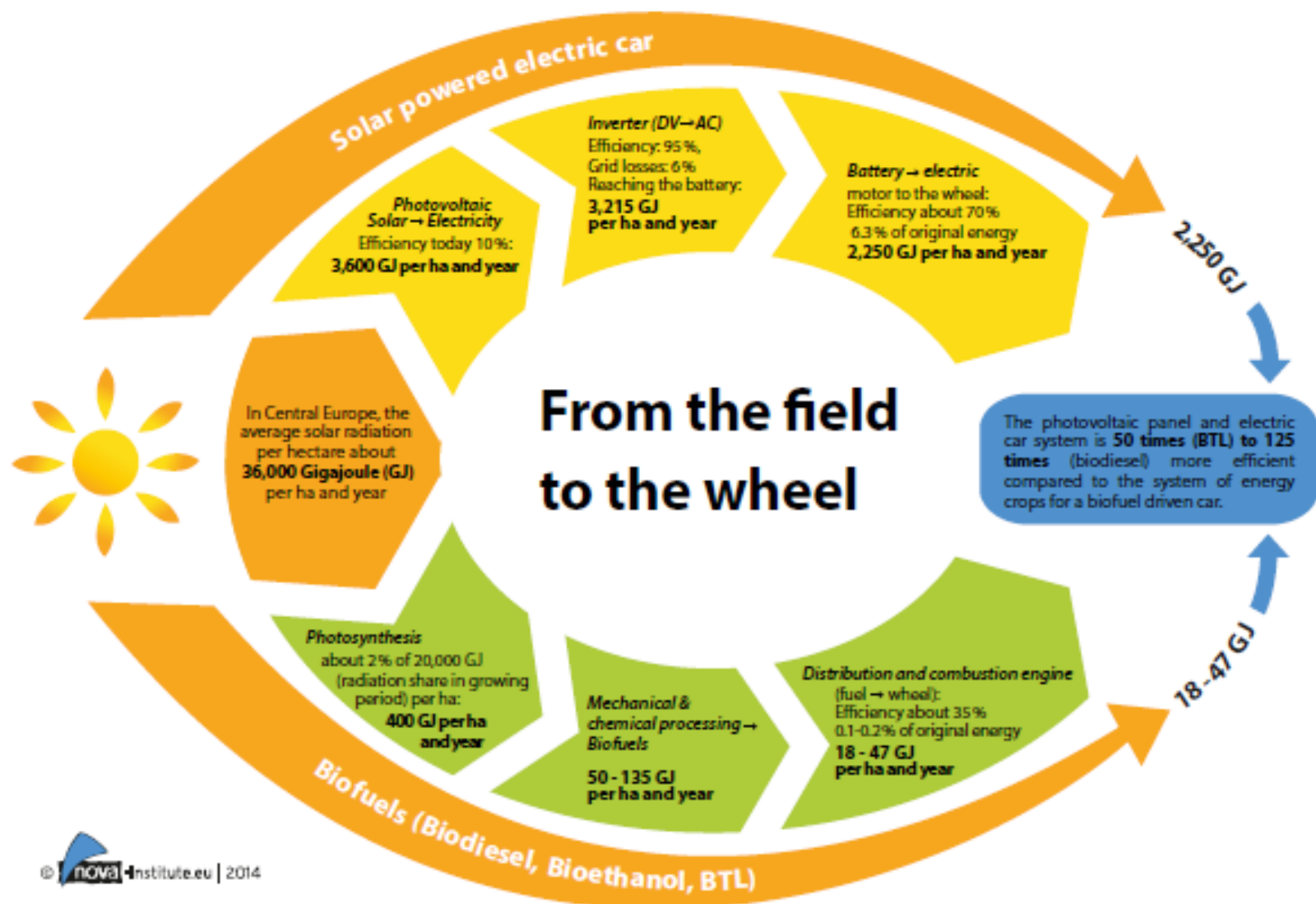
WWS-Battery-Electric
WWS-Hydrogen Fuel Cell

Not Recommended

Nuclear
Coal-CCS

Corn ethanol
Cellulosic ethanol

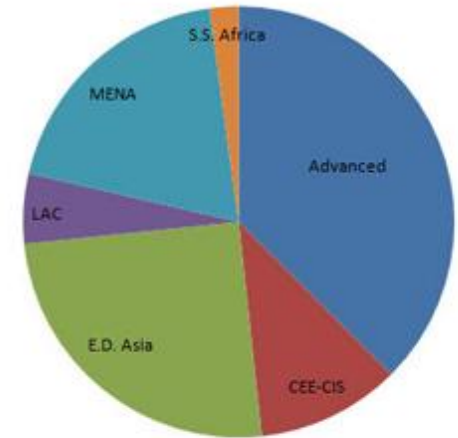
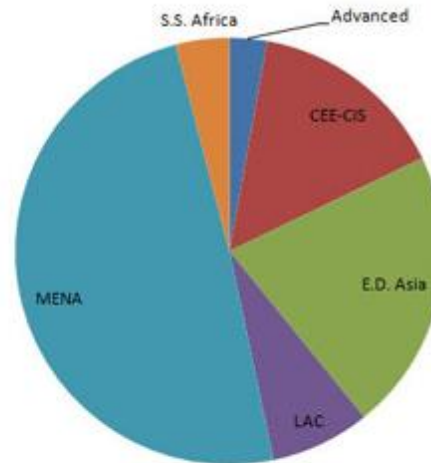
Erinevate energiasüsteemide maakasutuse tõhusus transpordienergia saamisel



Energiatootmise subsidierimine

Total pre-tax subsidies
\$480 billion
(0.7% GDP, 2.1% revenues)

Total post-tax subsidies
\$1.90 trillion
(2.7% GDP, 8.1% revenues)



<http://www.imf.org/external/np/fad/subsidies/>

Total post-tax subsidies
\$1.90 trillion

Percent of total subsidies¹

Petroleum products
\$879 billion

Coal
\$539 billion

Natural gas
\$299 billion

Electricity
\$179 billion

Key:

E.D. Asia = Emerging and Developing Asia

S.S. Africa = Sub-Saharan Africa

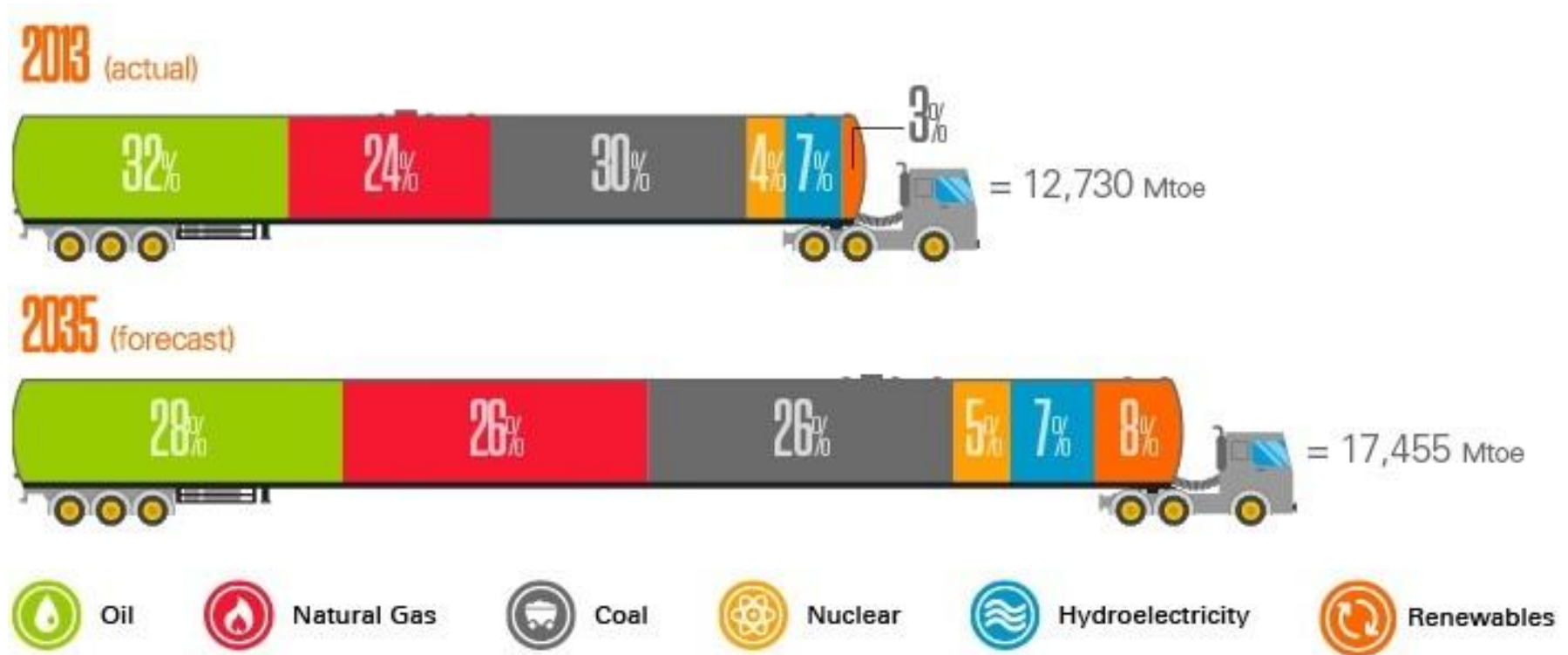
MENA = Middle East and North Africa

CEE-CIS = Central and Eastern Europe and Commonwealth of Independent States

LAC = Latin America and Caribbean

Adv - arenguriigid

Energia tarbimine kasvab 40% järgmise kahe dekaadi jooksul



By 2035 global energy consumption increases by 37% from today's levels with virtually all (96%) the growth in non-OECD countries and more than half coming from India and China. Renewables (including biofuels) account for 8% of total energy consumption in 2035, compared to just 3% today.

<http://www.green4sea.com/energy-demand-grow-40-next-two-decades/>

Biokütuste allikate klassifitseerimine erinevate tunnuste alusel

woody biomass	herbaceous biomass	biomass from fruits and seeds	others (including mixtures)
---------------	--------------------	-------------------------------	-----------------------------

WOODFUELS

AGROFUELS

Energy crop		- energy forest trees - energy plantation trees	- energy grass - energy whole cereal crops	- energy grain	
By-products*	direct	- thinning by-products - logging by-products	crop production by-products:		- animal by-products - horticultural by-products - landscape management by-products
			- straw	- stones, shells, husks	
	indirect	- wood processing industry by-products - black liquor	- fibre crop processing by-products	- food processing industry by-products	- biosludge - slaughterhouse by-products
End use materials	recovered	- used wood	- used fibre products	- used products of fruits and seeds	MUNICIPAL BY-PRODUCTS
					- kitchen waste - sewage sludge

- Kõrval produktid (*by-products*) – biomassi muundamise protsessides tekkivad tahked, vedelad ja gaasilised jäägid ja jäätmed

Põllumajanduslike biokütuste klassifitseerimine

Fuel crops

Agricultural by-products

Animal by-products

Agro-industrial by-products

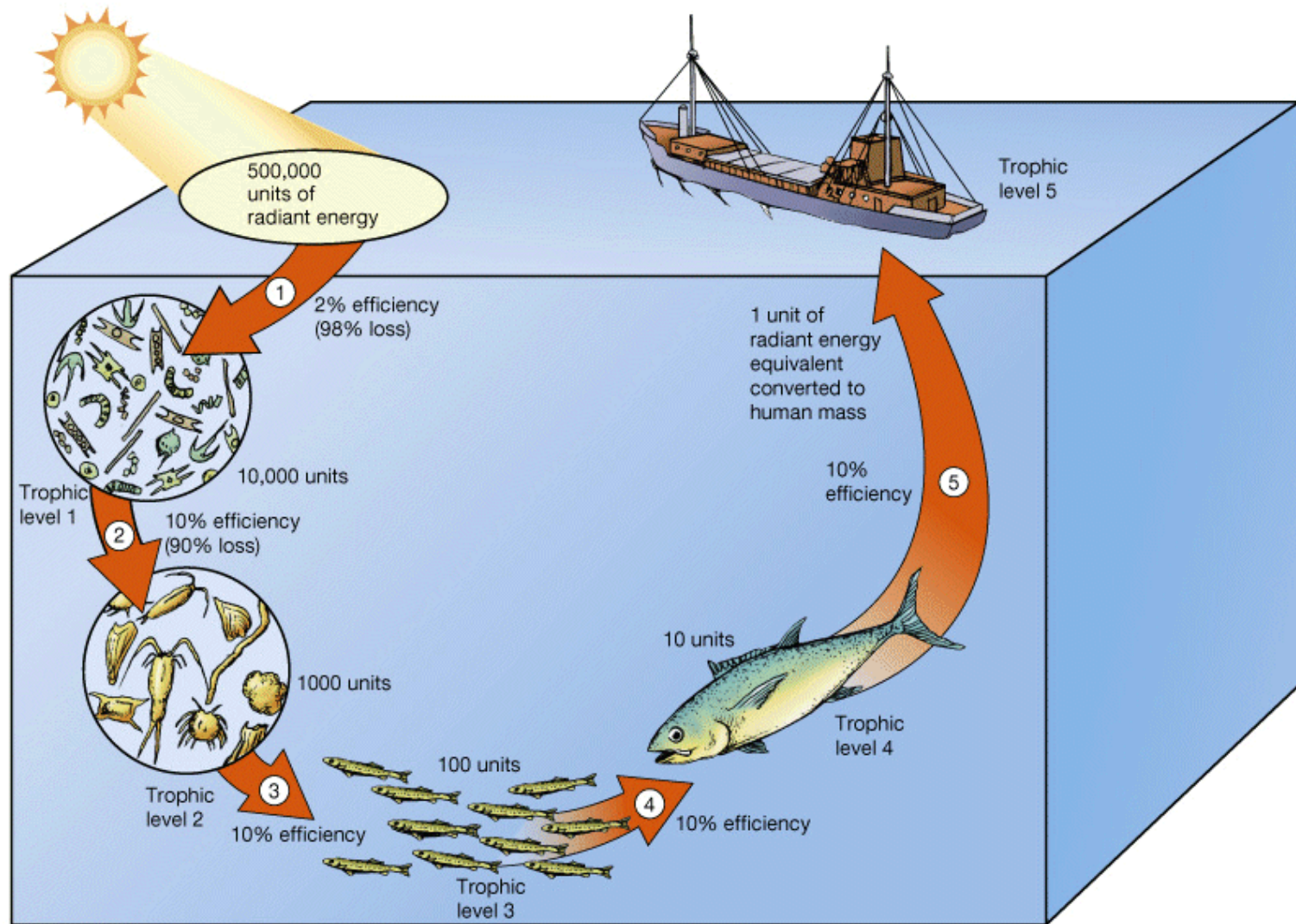
AGROFUELS

Solid: Straw, Stalks, Husks, Bagasse, Charcoal from the above biofuels

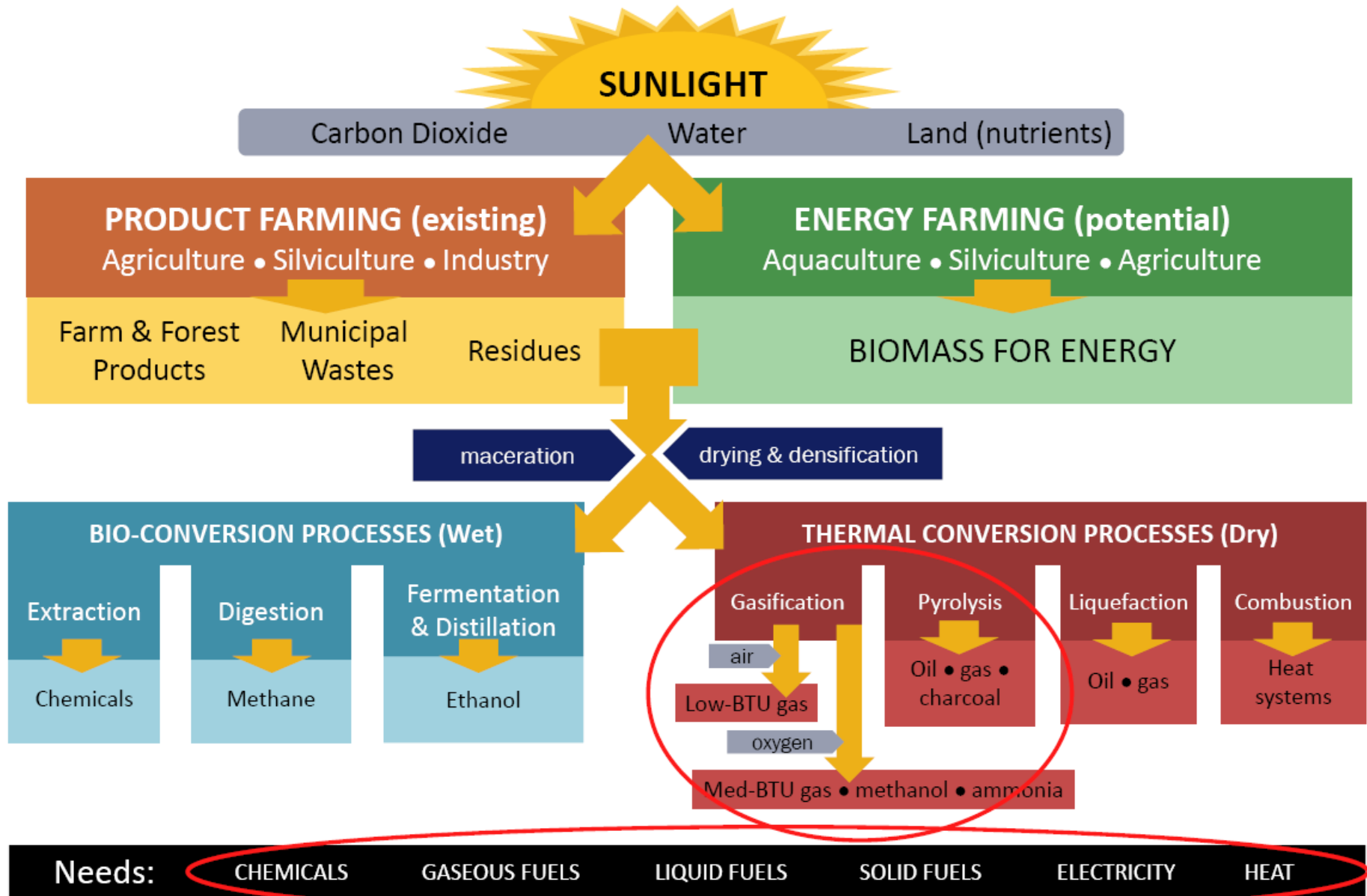
Liquid: Ethanol, Raw vegetable oil, Oil diester, Methanol, Pyrolitic oil from solid agrofuels

Gases: Biogas, Producer gas, Pyrolysis gases from agrofuels

Biomassi püramiid, troofilised (ainevahetuse) tasemed



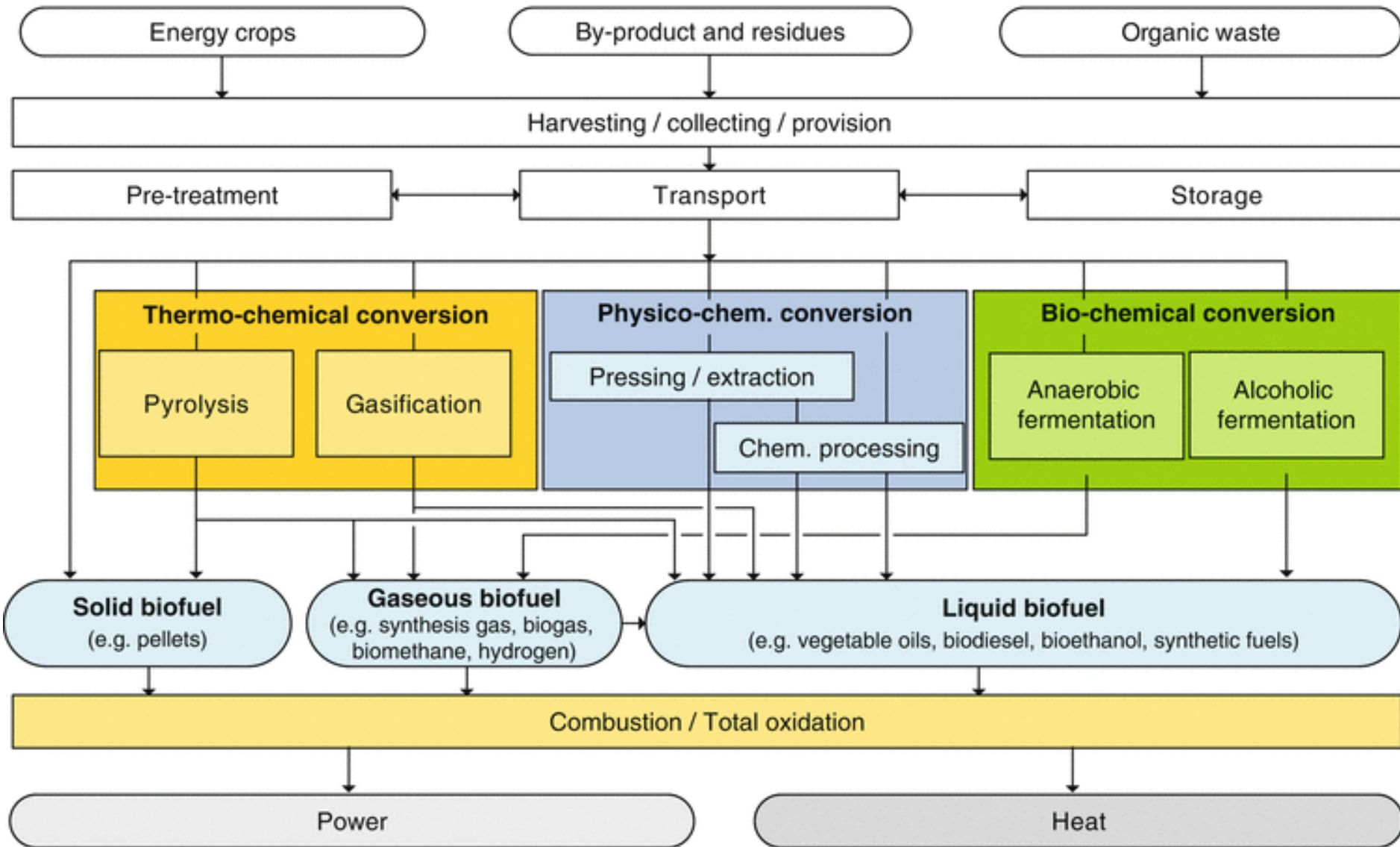
Biomassi energiaks muundamise teekaart



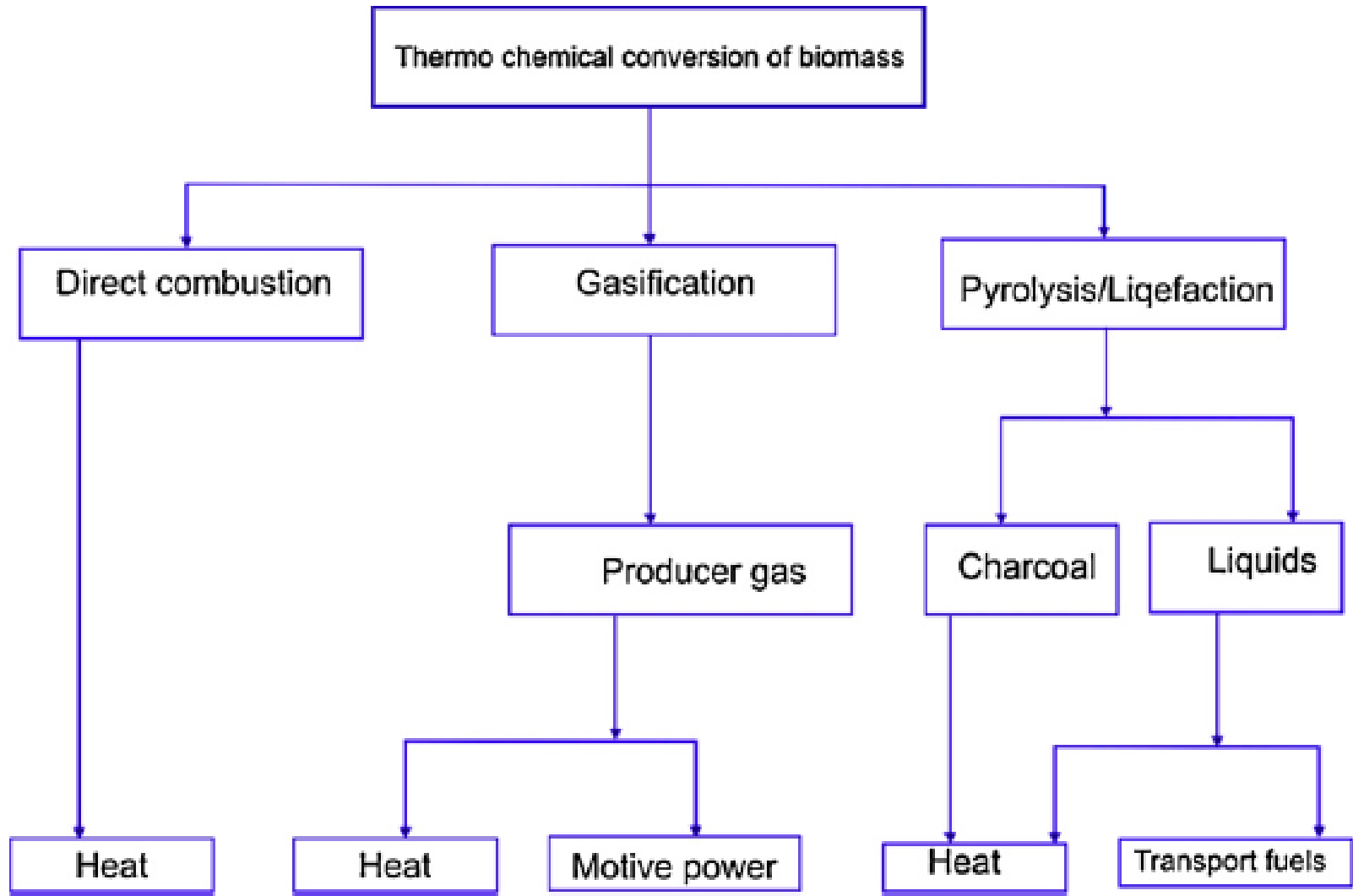
Biomassi termokeemiline muundamine

- Keemiatehnoloogias on **termokeemiline muundamine** (*thermochemical conversion*) aine (mingi toorme) kõrgtemperatuurne töötlemine, mille käigus tahked või vedelad ained (**kütused**) muundatakse väärtuslikeks tahketeks, vedelateks või gaasilisteks produktideks.
- **Termokeemiline muundamine** tähendab aine molekuli lagundamist kõrge temperatuuri toimel (keemiliste sidemete katkemine, termolüüs), millele võib järgneda esmaste laguproduktide edasine lagunemine (nt õliaurude lagunemine gaasiks ja koksiks) või modifitseerumine keskkonda viidud ainete (õhu hapnik, veeaur) osalusel.
- **Termokeemiline muundamine** tähendab valdavalt orgaaniliste kõrgmolekulaarsete ainete (looduslikud tahked **kütused**, **nafta**, **energiataimed**, mitmesugused orgaanilised **jäätm**ed jm) lagundamist **tahke-, vedel- ja gaaskütusteks**.

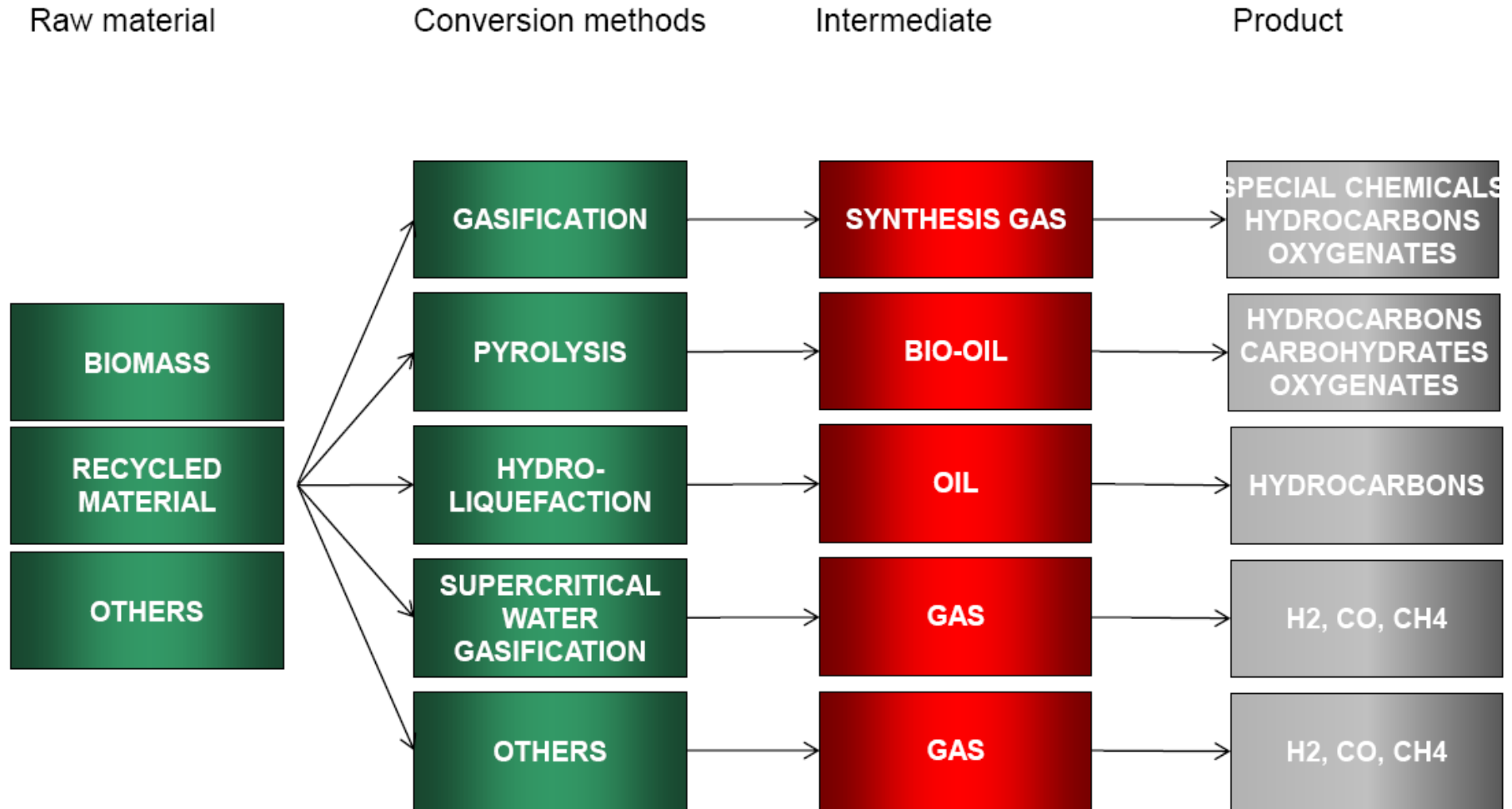
Biomassi võimalikud muundamistehnoloogiad



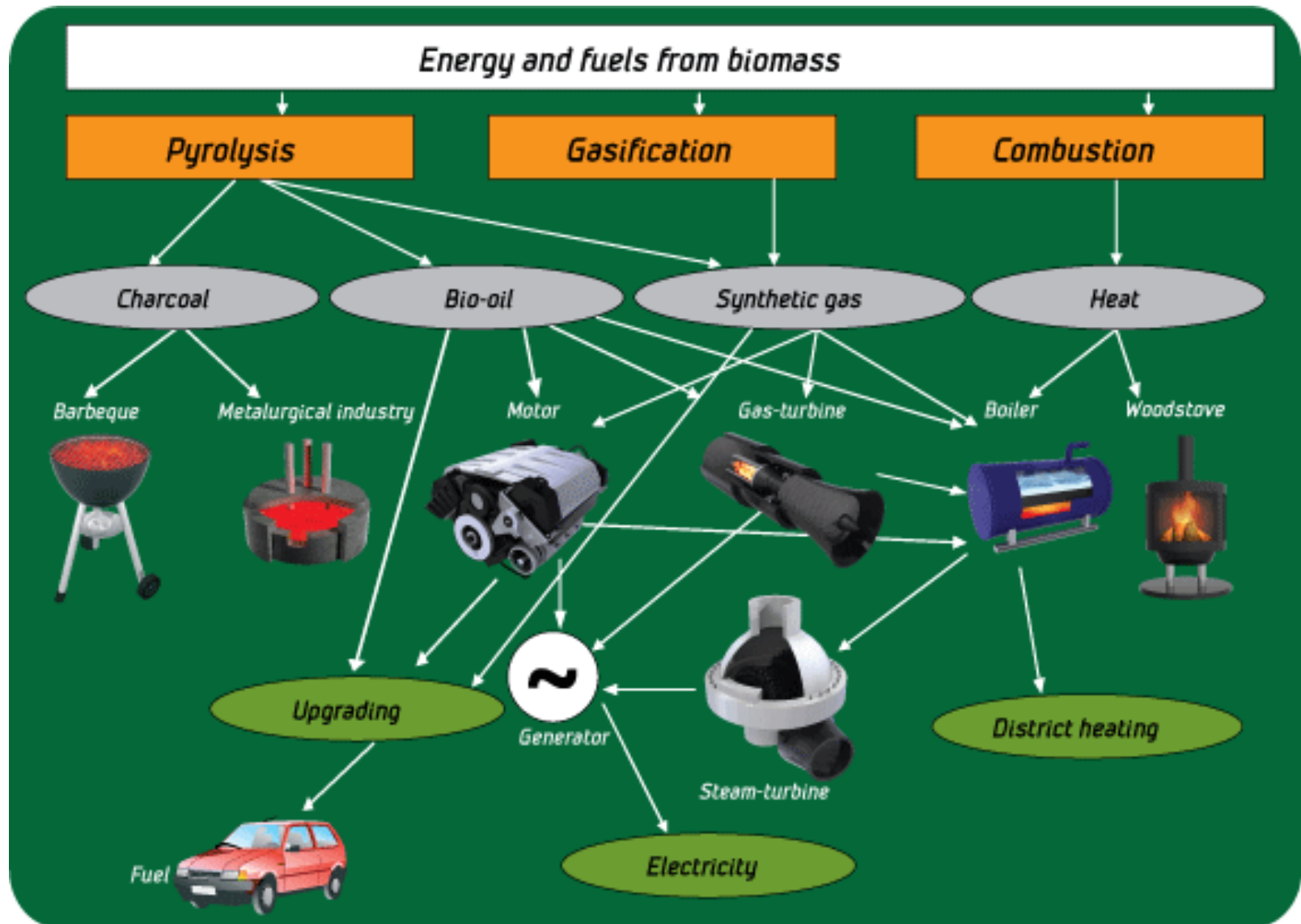
Biomassi termokeemilise muundamise teekonnad



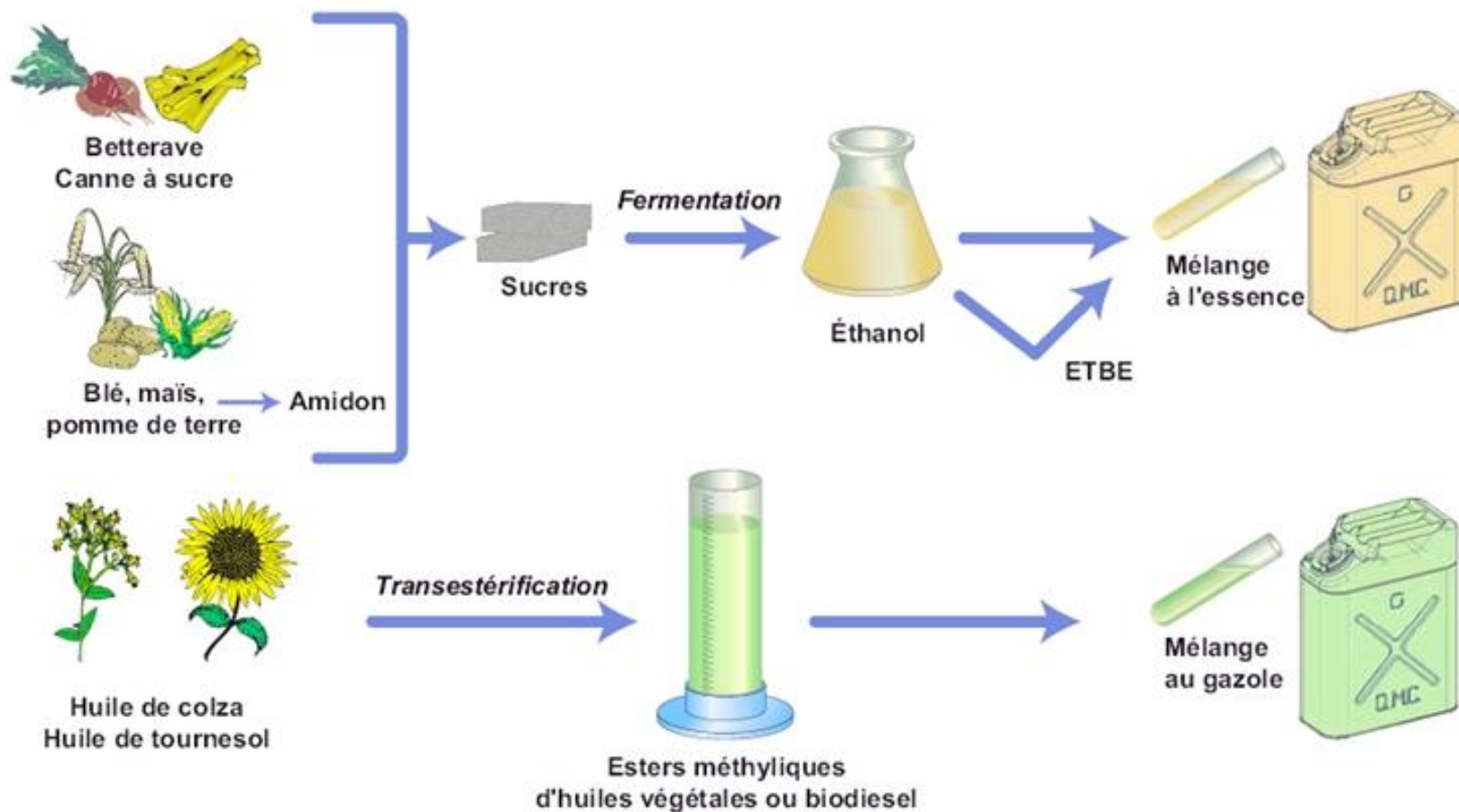
Termokeemilise muundamise teekonnad



Energia ja kütused biomassist



I põlvkonna biokeemiatehas ja selle tooted ehk I põlvkonna biokütused



1. põlvkonna biokütuste toore, muundamise protsessid ja tooted

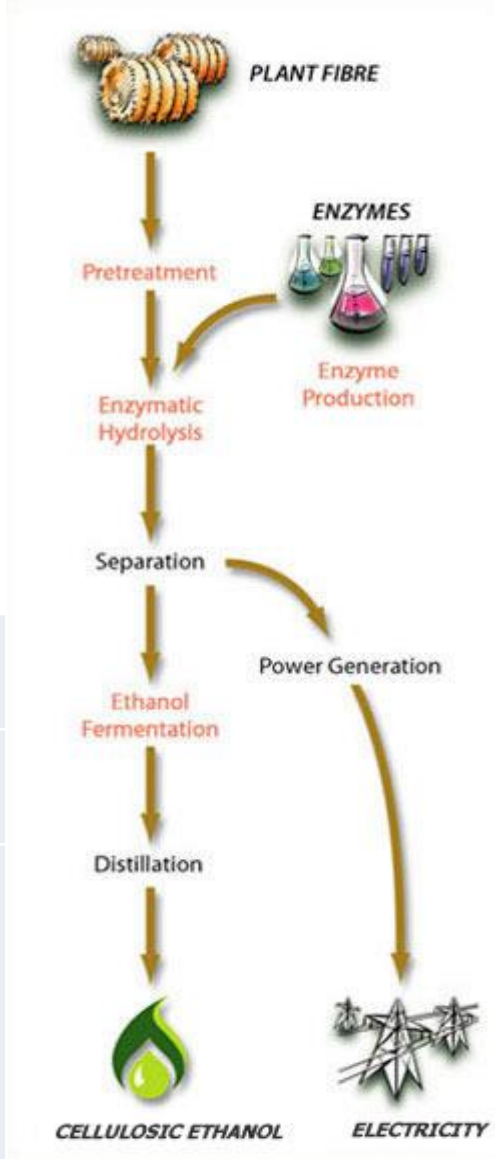
Agricultural product containing	Process Type	Fuel product	By product
Sugar	Fermentation	BioEthanol	Other
Vegetable oil	Transesterification	BioDiesel	Glycerol

Biomasse type	Intermediate products			Finished products		
	Raw product	%, Oil	%, Sugar	Product	Yield %	
Agricultural product	Rapeseed	30-50%		BioDiesel	40-50	
	Sunflower	30-50%				
	Soybean	11-22%				
	Palme	40-50%				
	Jatropha	30-37%		BioEthanol	53% L glucose juice 40 - 95% "85-135 L/ Tons cane"	
	Beet sugar		15-18%			
	Sugar cane		10-12.5%			
	Wheat					
	Corn					

2. Põlvkonna biokeemiatehas ja saadavad produktid

- Lähtematerjal – lignotselluloosne biomass

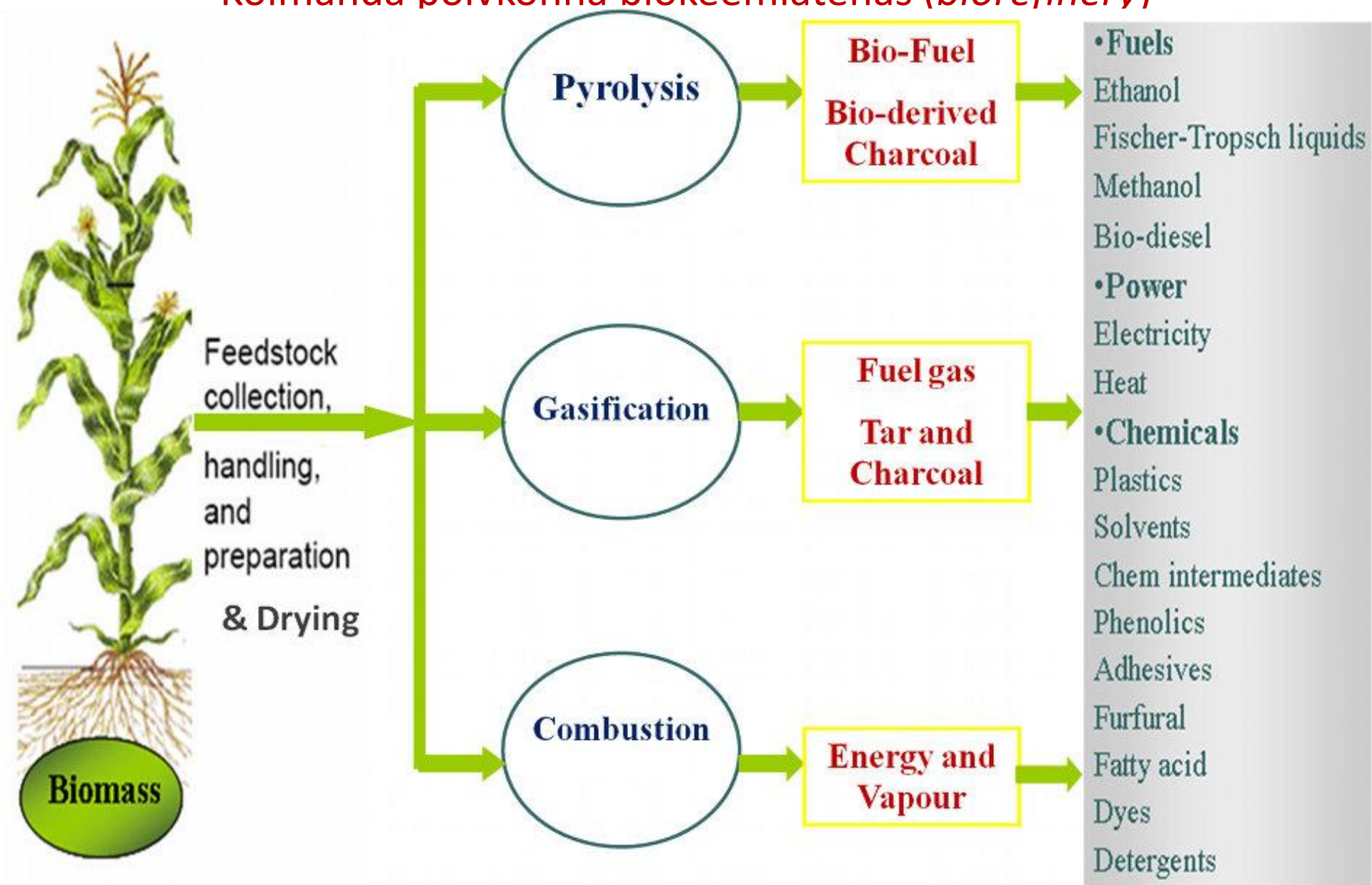
Biomass types	Intermediate product				Finished product
	Product	%, Lignine	%, Hémic.	%, Cellulose	Product
Ligno-cellulose	Straw	8-14	24-30	31-41	"BioEthanol & BTL*"
	Whole plant	25-31	25-29	40-44	
	Wood & waste	16-24	25-35	43-47	
	Rémanents				
	Rebus				



Iogen protsess
<http://www.iogen.ca/>

3 põlvkonna biokütuste termokeemilise muundamise variante.

Kolmanda põlvkonna biokeemiatehas (*biorefinery*)



Muundamisprotsessid

Pürolüüs on aine muundamine kõrgel temperatuuril ilma hapniku juurdepääsuta. Võrreldes täielikuks põlemiseks vajatava õhuhulgaga, võidakse seda selles protsessis juurde anda kuni kümnendik. Pürolüüsi käigus töödeldakse biomassi eesmärgiga saada rohkemvedelaid fraktsioone.

Protsess toimub valdavalt temperatuurivahemikus 250– 550 °C, tavapäraselt üle 430 °C.

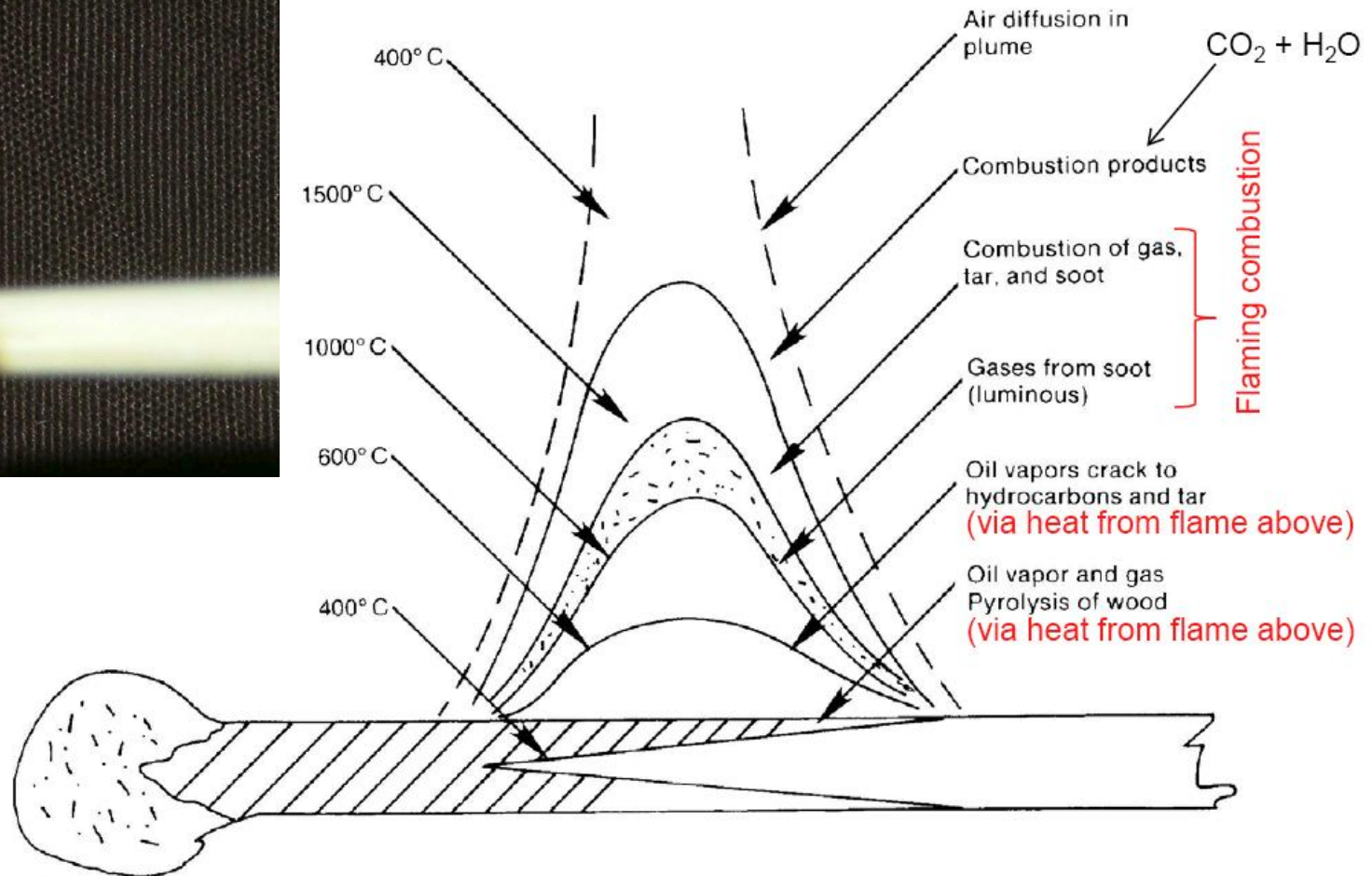
Gaasistamine on tahke- või vedelkütuse orgaanilise osa võimalikult täielik muutmise põlevgaasiks.

Protsess kulgeb kõrgel temperatuuril, kuni 1000 °C, vaba või seotud hapniku (õhk, veeaur jt) osalusel, kus täielikuks põlemiseks vajaliku õhu hulgast antakse ainult 20–60 protsenti. Erinevalt kütuste töötlemisest ilma õhu juurdepääsuta, nagu pürolüüs, muutub gaasistamise käigus süsihappe- ja vingugaasiks ning vesinikuks peaaegu kogu kütuses sisalduv põlevaine

Muundamisprotsessid

- **Röstimine ehk torrefitseerimine** on orgaanilise aine, näiteks puidu kuumtöötlemine ehk mahe pürolüüs, kus temperatuur jääb vahemikku 200–320 °C. Selle käigus eralduvad osaliselt lendosad ja materjal pruunistub. Selle energiatihedus kasvab oluliselt, viis kuni kuus korda.
- **Söestamine** on orgaanilise aine muundamine söeks või pürolüüsi protsessi tulemusel jääksöeks.
- Söestamine ei erine oluliselt gaasistamisest ja pürolüüsist, vaid eesmärk on saada toormest maksimaalselt söestunud fraktsiooni. Selle protsessi tulemusel saadakse ka kõigile tuntud grillsütt, mis on paljudes Aasia ja Aafrika arengumaades peamine toiduvalmistamise kütus. Lõppsaaduseks võib olla ka biosüsi, mida kasutatakse mullaviljakuse parandajana.

Mis on põlemine?



4-2. Pyrolysis, gasification, and combustion in the flaming match

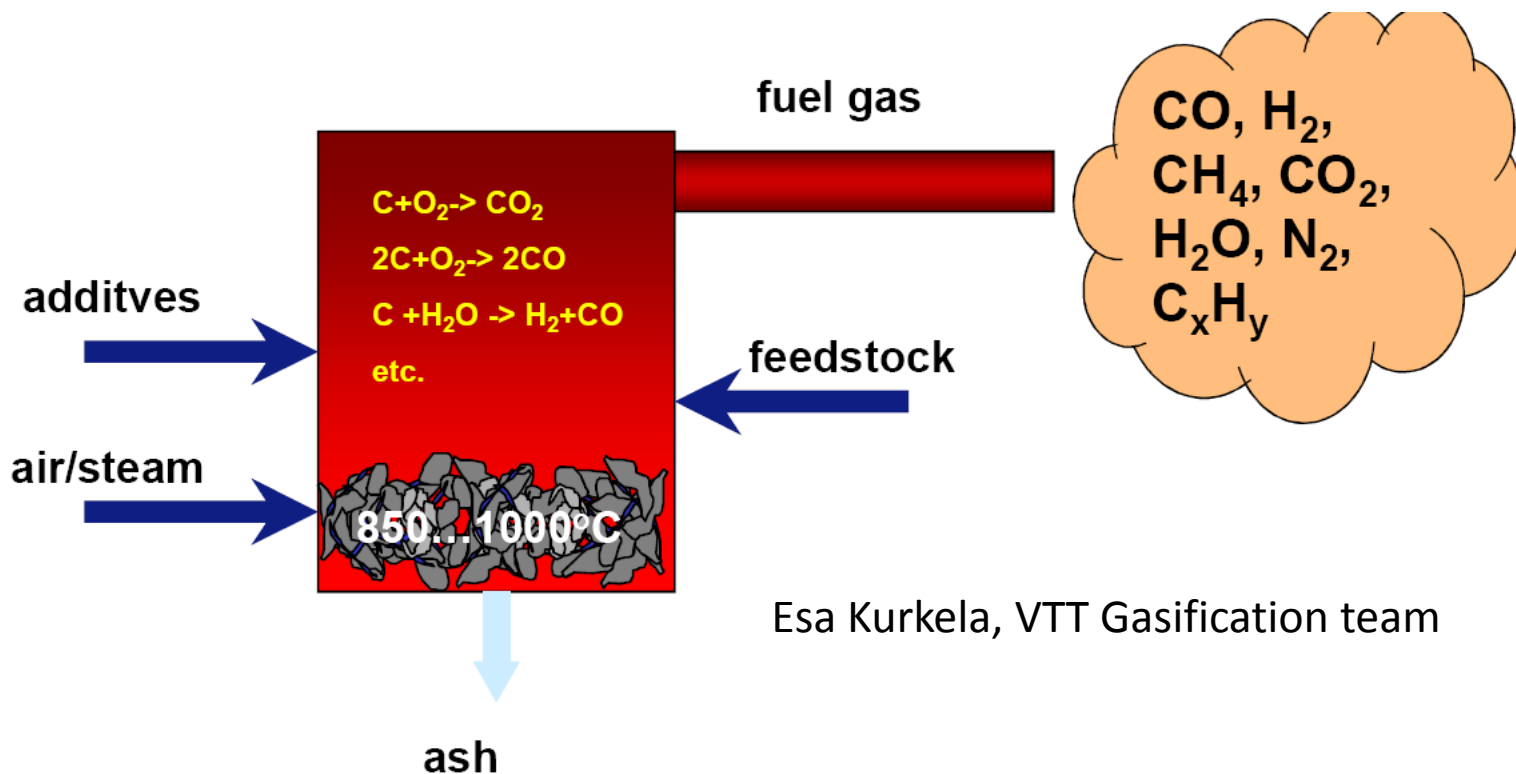
(Solar Energy Research Institute, 1988)

Põlemine on kiire oksüdatsioonireaktsioon, millega kaasnevad intensiivne soojuse eraldumine, reaktsiooni produktide temperatuuri järsk tõus ja harilikult ka valgusnähtused (leek).

Põlemine

- Tavaliselt mõeldakse põlemise all kas kütuste põletamist või tulekahjusid.
- See on orgaanilist ainet sisaldava materjali lagunemine samaaegse või järgneva oksüdatsiooniga õhuhapniku osalusel ning põhiproduktideks on süsihappegaas ja veeaur, vähemal määral muid gaase ning tuhk.
- Protsessi vallandamiseks on enamasti vajalik süütamine.
- Põlemine ei saa toimuda tahke materjali või vedeliku kogu massis, kuna ei ole hapniku juurdepääsu ja seetõttu toimub põlemisprotsess valdavalt materjali pinnal.
- Süttimistemperatuurist kõrgemal toimub materjali lagunemine lenduvateks produktideks, millest moodustub leek, see on tsoon, milles lenduvad laguproduktid õhuhapniku osalusel oksüdeeruvad ning eraldub soojust.
- Põlemine võib toimuda leegiga (leegitsemine) või leegita (kas miilamine või hõõgumine).

Gaasistamine on endotermiline (soojust neelav) soojusliku muundamise tehnoloogia, mille käigus tahke materjal muudetakse põlevgaasiks



Esa Kurkela, VTT Gasification team

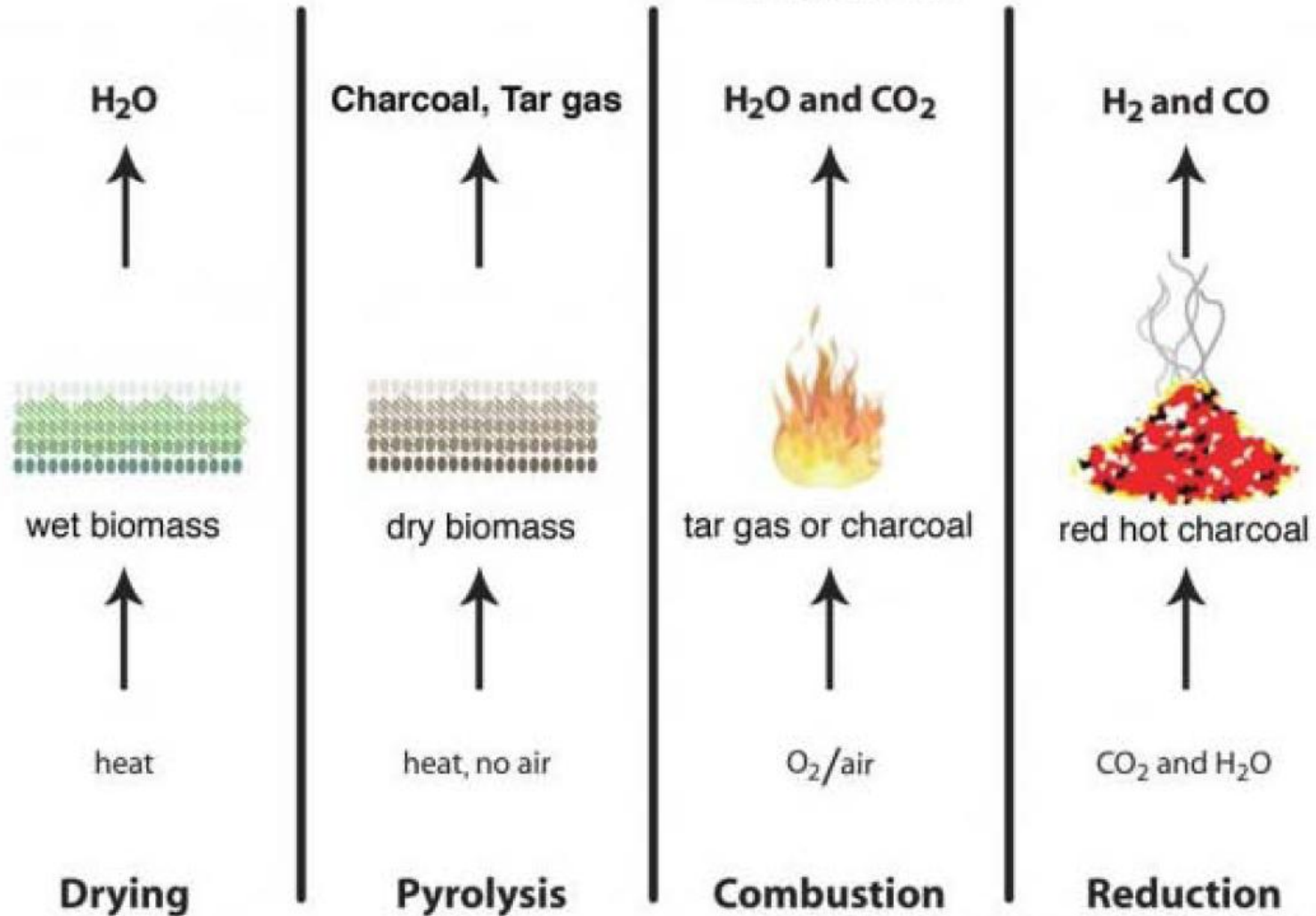
Gaasistamine ehk **gaasistus** on tahke- või vedelkütuse orgaanilise osa võimalikult täielik muutmine põlevgaasiks (gaaskütuseks). See protsess teostatakse kõrgel temperatuuril vaba või seotud hapniku (õhk, veeaur jt) piiratud osalusel.

Erinevalt kütuste töötlemisest ilma õhu juurdepääsuta (utmine, pürolüüs, krakkimine) muutub gaasistamise käigus gaasiks (CO , H_2 , CO_2 , osaliselt tekib ka õli) peaaegu kogu kütuses sisalduv põlevaine.

Gaasistamise üksikud etapid

4 Processes in Gasification

not necessarily in order



* Biomass is a combination of C, H, and O (C H_{1.4}O_{0.6})

Gaasistamise etapid

- Gaasistusprotsess koosneb neljast faasist või etapist:
- 1.Kuivamine – kasutatakse puidu (biomassi) põlemise soojust, vesi aurustub materjalist välja
- 2.Pürolüüs – üle 270°C (soojus saadakse puidu põlemisel) puidu (biomassi) struktuur laguneb keemilisteks ühenditeks. Pikad molekulid lagunevad väiksemateks, keerulisemad ained lihtsamateks. Süsi ja tõrva- (õlide) gaasid moodustuvad.

Gaasistamise etapid 2

- 3. Põlemine (oksüdeerumine) – (reguleeritud õhu pealandmine, seda etappi nim ka „leekpürolüüs“ gaasistis “flaming pyrolysis” , osa süsinikku (koksi) oksüdeerub (põleb) süsinikdioksiidiks (CO_2), ja
- vesinik(H) muutub oksüdeerudes veeks (H_2O).
- Vabaneb palju soojust (temperatuur tõuseb kuni 1400°C !). See soojus on vajalik järgmises faasis

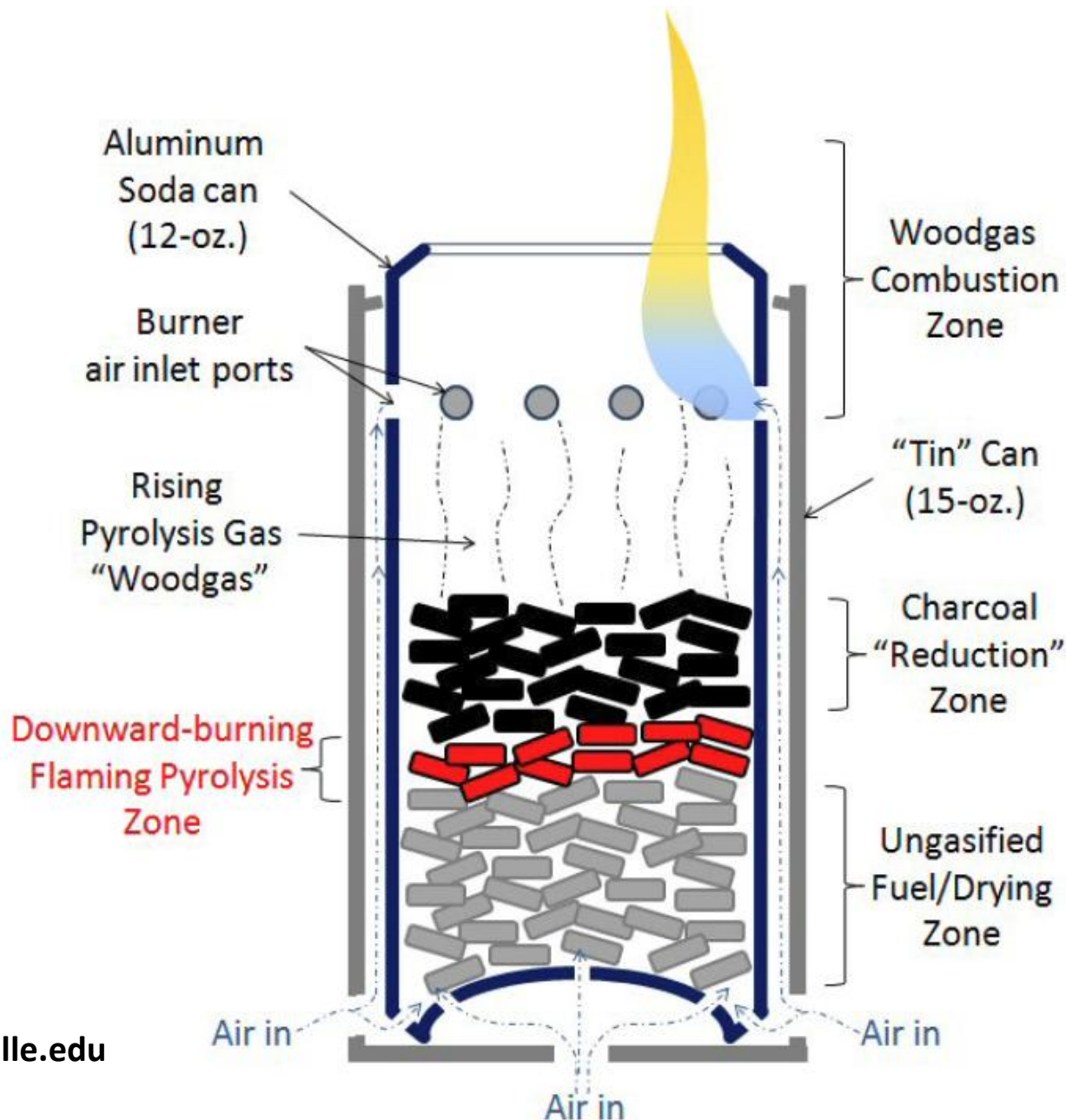
Gaasistamise etapid 3

- 4. Redutseerimine – Redutseerumise (taandamise) käigus toimub selle piirkonnas rida võtme muundusi, mis nõuavad rohkelt soojust
Soojus › süsi (C) reageerib CO_2 ja muundab selle süsinikmonooksiidiks (CO).
- › süsinik reageerib veeauruga H_2O , nn “varastab” hapniku aatomi ja toodab CO ja vesiniku gaase.
- › Osa süsinikku (C) seotakse H ja moodustub metaan (CH_4), ja osa CO reageerib H ning moodustub metaan + veeaur.

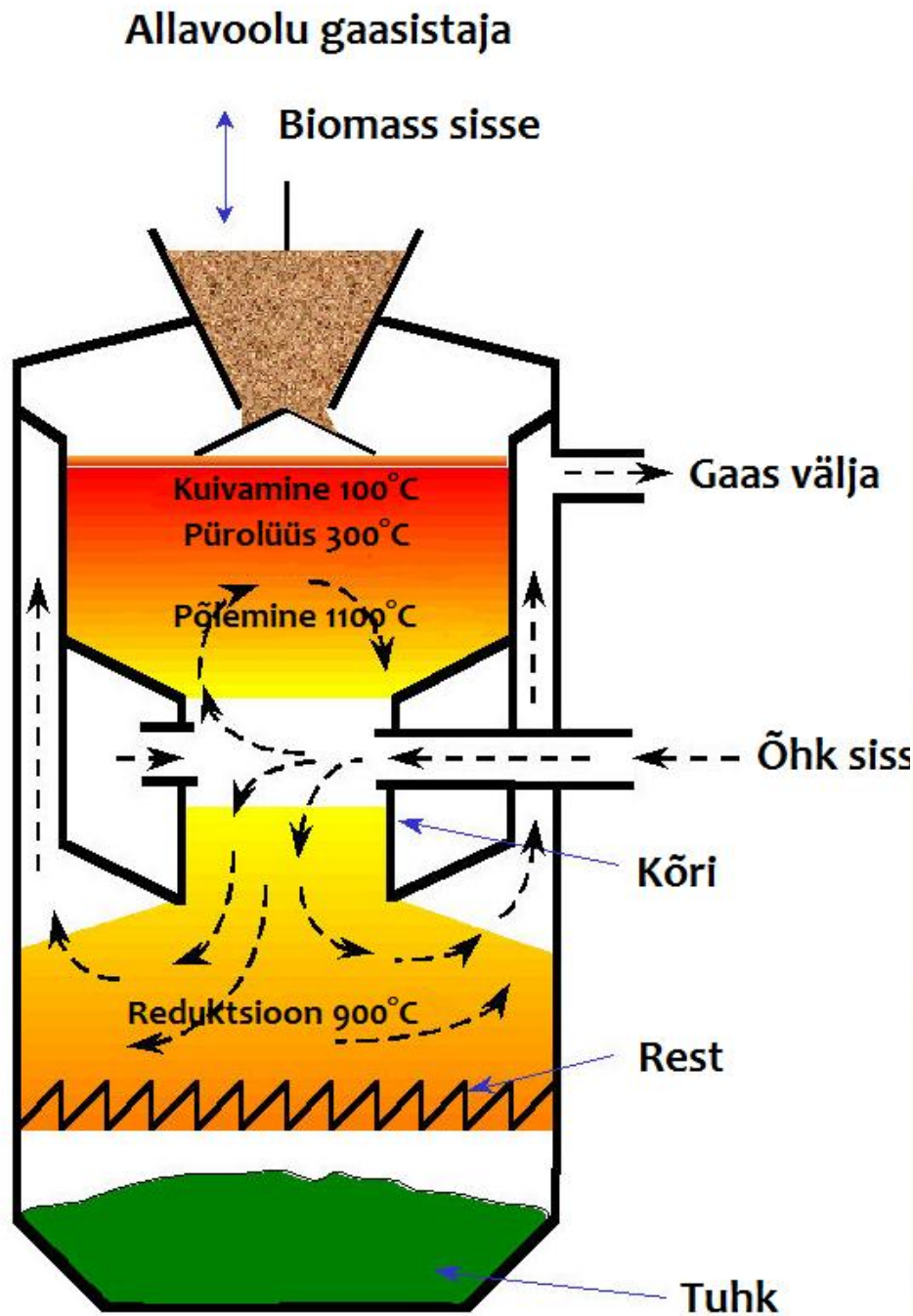
Tüüpilise puugaasi koostis

- Tavaliselt koosneb puugaas järgmistest osistest:
 - ⦿ 22% süsinikmonooksiidi (CO)
 - ⦿ 18% vesinikku (H_2)
 - ⦿ 3% metaani (CH_4)
 - ⦿ 6% süsinikdioksiidi (CO_2)
 - ⦿ 51% lämmastikku (N_2)

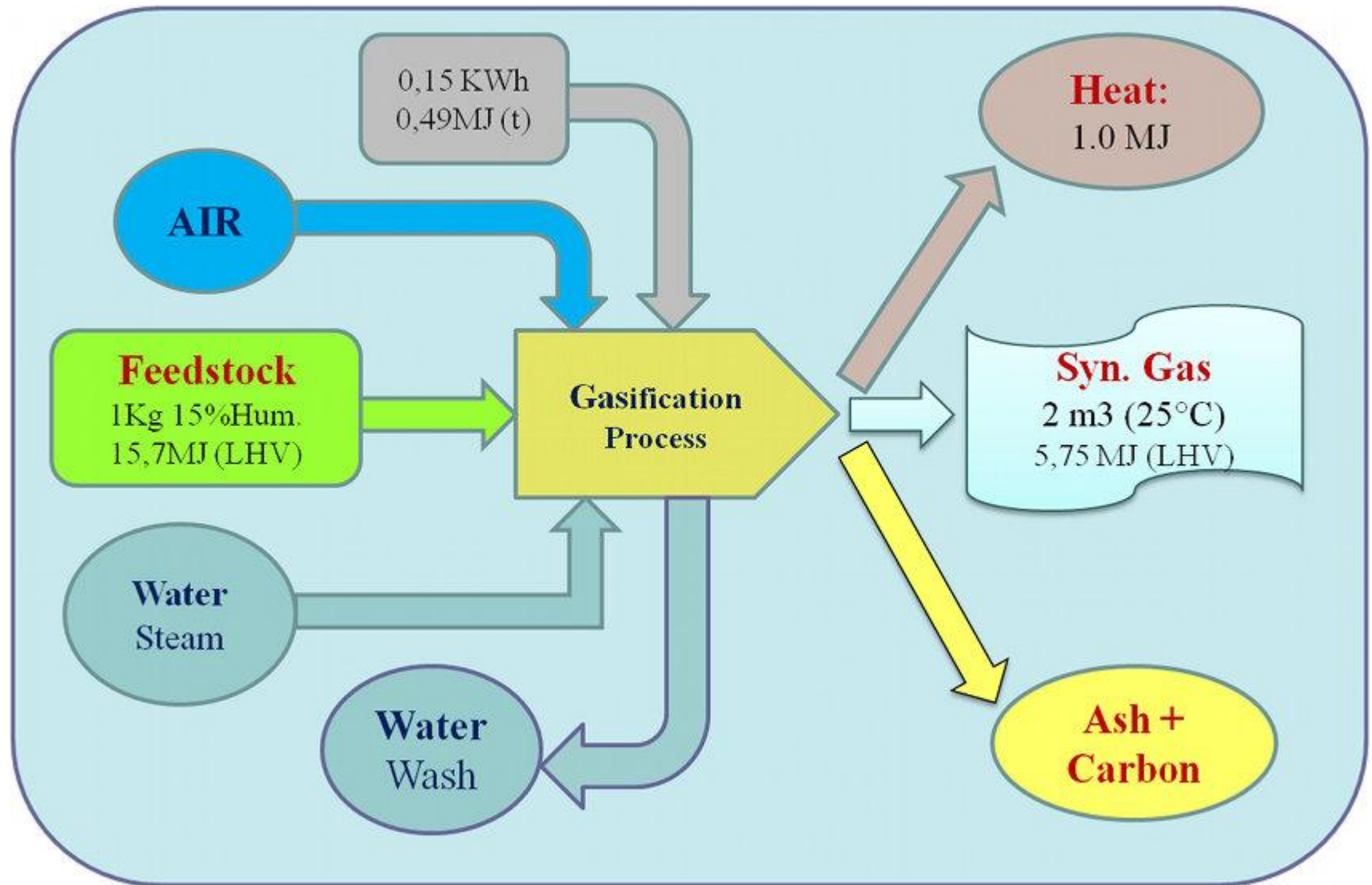
Reaktsiooni tsoonid gaasistis



Puugaasigeneraatori põhimõtteline skeem



Biomassi gaasistamise protsessi bilansi näide



- Keskmise protsessi tõhusus - umbes 40%

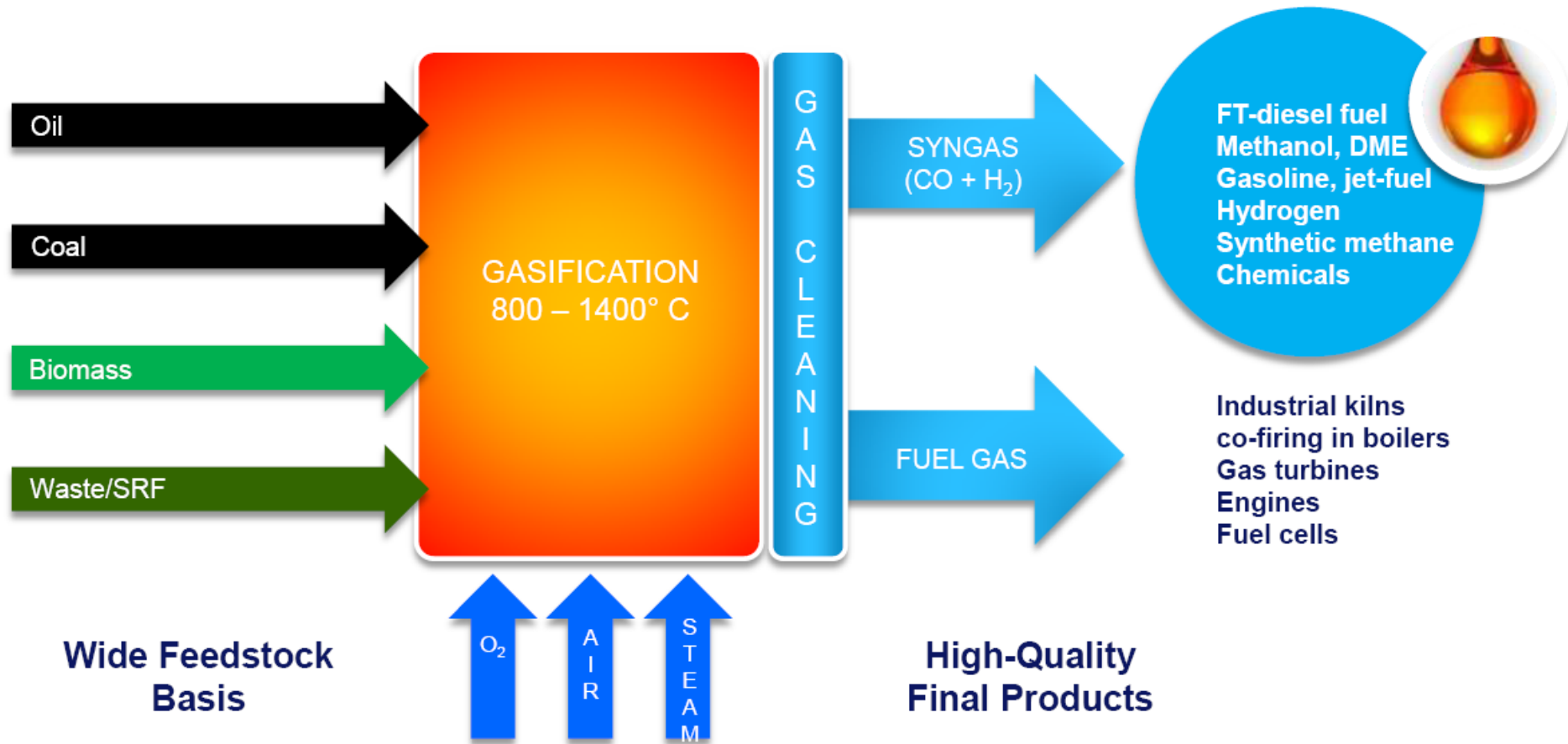
http://www.groupees.polymtl.ca/crip/en/bio_3rdgen.php

Põlemise ja gaasistamise ja reaktsioonid

- Fuel (kütus) + Oxygen (hapnik) → HEAT (soojus) + Water (vesi) + Carbon dioxide (CO₂)
- $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow \text{HEAT} + 4H_2O + 3CO_2$
- **Limit O₂** → HEAT + H₂O + CO₂ + (**CO + H₂**)
(both combustible)



Biomassi gaasistamine mitmesuguste lõpp- produktide saamiseks



Puitkütuse kasutamine ja omadused termilisel gaasistamisel

- Peamine eelis puitbiomassil kui gaasistamise lähteainel põllukultuuride ees on suhteliselt madal kloori-, lämmastiku- ja väävლისisaldus. Nende vähene sisaldus lignotsellulooses materjalis tähendab, et generaatorgaas sisaldab vähem soolhapet, vähem vesinikku ja vähem vesiniksulfiidi kui vastav rohtse biomassi gaasistamisega saadud gaas.
- See vähendab korrosiooni kahjustusi gaasistusseadmest allavoolu ja teeb generaatorgaasi puhastamise lihtsamaks ja odavamaks.
- Siiski, isegi kui tuha-, kloori-, lämmastiku- ja väävლისisaldus on puhtas lignotselluloosis (tüvepuidus) palju väiksem kui rohtses biomassis, pole see piisavalt madal selleks, et generaatorgaasi otse ilma vahepealse puhastamiseta kaasaegsesse gaasiturbiini või –mootorisse sisestada.
- Enamuses tänapäeval paigaldatavaid termilisi gaasisteid ei leia kasutust kombineeritud tsükliliga tootmises, s.t gaasiturbiinides, ega ka kõrge kvaliteediga sünteetilise gaasi tootmises või selle järgnevas töötlemises, vaid ühendatakse gaasi põletamiseks otse katlaga.
- Sellel otstarbel kasutamine ei anna gaasistamisele täispuidu otsese põletamise ees olulist eelist. Huvitav rakendus on aga siiski puidu termiline gaasistamine enne kõrgtemperatuursetes ahjudes töötlemist, nagu klaasi ja terasesulatusahjudes.
- Eeliseks võiks olla see, et põletite ja ahju juhtimissüsteemid muutuvad lihtsamaks kui ahjudes puidu tolmpõletamist kasutades ja samuti oleks lihtsam jaotada toodetud (kütust) gaasi suurema hulga põletite vahel, kui igal põletil oleks oma tahke kütuse etteandesüsteem. Tehnoloogiat on täies ulatuses demonstreeritud klaasi sulatamisel, kuid praeguste fossiilkütuste hinna juures pole see majanduslikult otstarbekas.

Puitkütuse kasutamine ja omadused pürolüüsimisel

- Läbi ajaloo on kasutatud puidu autotermilist kõrgel temperatuuril pürolüüsi sepikodadele ja sulatusahjudele puusöe tootmiseks.
- Autotermiline madalal temperatuuril pürolüüs tõrva tootmiseks on samuti laialt levinud protsess, mida tuntakse juba iidsetest aegadest.

Puitkütuse kasutamine ja omadused pürolüüsimisel 2

- Söepõletamisel – s.t kõrgel temperatuuril pürolüüsil söe kui esmase toote saamiseks, on põhimõtteliselt samad omadused kui selles lihtsas näites näha võib:
- Oletame, et täiesti kuiva puutüki, 1 kg, kütteväärtus on umbes 20 MJ ja edasi oletame, et protsessi käitamiseks vajalik energia saadakse välisest allikast, nii et kogu puidus algselt olnud energia (20 MJ) jaotub toodete vahel.
- Täieliku pürolüüsi kaudu 700 °C juures, kaotavad enamuses puuliike umbes 70 % oma kaalust ja protsessi lõpus saadud söe kütteväärtus on umbes 30-35 MJ/kg.
- Seega on pärast täielikku pürolüüsi lõppproduktid:
 - 1. - 0,3 kg sütt kütteväärtusega umbes 33 MJ/kg, s.t 10 MJ või pool primaarenergiast (20 MJ 1 kg algses kuivas puus) jääb söe sisse alles,
 - 2. - Ülejäänud pool primaarenergiast, 10 MJ, sisaldub siis 0,7 kg vedelates (pürolüüsiõli) või gaasilises (pürolüüsi gaas) toodetes.

Puitkütuse kasutamine ja omadused pürolüüsimisel 3

- Selleks, et muuta protsessi autotermiliseks, kasutatakse osa energiast, mis muidu on toodetes, protsessisiseseks ja -väliseks põletamiseks, et hoida protsessi temperatuuri soovitud tasemel.
- Kaasaegse madalal temperatuuril toimuva pürolüüsi protsessi („kergpürolüüs“) ehk röstimine (torrefitseerimine) temperatuur on ainult ligikaudu 250-350 °C, nii et pürolüüs pole täielik ja osa pürolüüsiõlist jääb tahkesse produkti alles.
- Lõpptulemuseks on see, et suurem osa primaarenergiast –peaaegu kuni 80 % - jääb tahkesse produkti ja tahke aine saab endale samuti hügrofoobseid omadusi.
- Tahke produkti kütteväärtus on sama, mis puusöel, 30-35 MJ/kg.
- Nagu puusüsi on tahke produkt samuti väga rabe ja teda on lihtne peenestada.
- Kergpürolüüsitud puit konkureerib seetõttu pelletite kui lihtsaima kütusega, mida saab kasutada puidu ja kivisöe koospõletamiseks toimpõletamisel suurtes elektrijaamades.

Torrefitseerimine

- kergpürolüüs ehk röstimine:
- Protsessi tingimused:
 - Temperatuur: 200-300°C
 - Keskkond: hapnikuvaba



Torrefaction



Pelletisation



Tenacious and fibrous
LHV = 9 - 12 MJ/kg
Hydrophilic
Biodegradable
Heterogeneous

Friable and less fibrous
LHV = 18 - 24 MJ/kg
Hydrophobic
Preserved
Homogeneous

Bulk density = 650-800 kg/m³
Bulk energy density = 15 - 19 GJ/m³

Jaap Kiel. Prospects of torrefaction to optimize bioenergy value chains.. Energy Delta Convention 2011 – Side event on Torrefaction, Groningen, the Netherlands, 22 November 2011.

Ühe pajupartii röstimiskatse tulemus

Pürolüüs – hapnikuvaba
termiline lagundamine ka
termolüüs

Gas phase composition

CO	0.1 %
CO ₂	3.3 %
H ₂ O	89.3 %
acetic acid	4.8 %
furfural	0.2 %
methanol	1.2 %
formic acid	0.1 %
remainder	1.0 %

Tad = 1045 °C

Torrefaction
32 min, 260 °C



20 l batch reactor

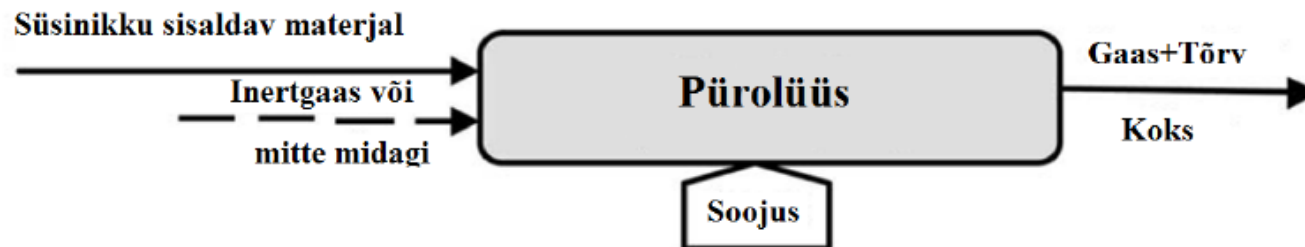
Feed: Willow
Size: 10 - 30 mm
LHV: 14.8 MJ/kg
Moisture: 14.4%
Fixed carbon: 16.8 %

Mass yield: 75.3%
Energy yield: 94.3%

Torrefied Willow
Size: 10 - 30 mm
LHV: 18.5 MJ/kg
Moisture: 1.9%
Fixed carbon: 22.1%

Jaap Kiel. Prospects of torrefaction to optimize bioenergy value chains.. Energy Delta Convention 2011 – Side event on Torrefaction, Groningen, the Netherlands, 22 November 2011.

Biomassi pürolüüs ja pürolüüsiõli



- Bioõli võib olla värvuselt tume punakas-pruun või must. Värvus sõltub keemilisest koostisest ja õlis sisalduvast peentest koksiosakestest. Bioõli tihedus on $\sim 1200 \text{ kg/m}^3$, mis on kõrgem kui näiteks kütteõlil.
- Bioõli pH on happeline (2-4) ning seetõttu tuleb teda ladustada happekindlatest materjalidest valmistatud mahutites (roostevaba teras, polüpropüleenist).
- Bioõli veesisaldust võib lugeda märkimisväärseks ehk 15-35%, mis seab piirangud rakendatavusele põletamisel. Vee sisalduse tõttu on bioõli ülemine kütteväärtus ca 2 korda väiksem kütteõli kütteväärtusest (42-44 MJ/kg).
- Hapniku sisaldus bioõlis võib ulatuda kuni 40%-ni.

Gaasi kvaliteet ja kasutusala

- Biomassi termilisel gaasistamisel saadav gaas on nn keskmise kvaliteediga gaas, mille kütteväärtus on piires 10-18 MJ/m³ (2,8-5 kWh/m³).
- 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.

Power Pallet Features

kWe output	1 Hour biomass consumption	Per day: 6 hour workday
10 kWe	12 Kg	72 Kg
20 kWe	25 Kg	140 Kg

Filter
Gas is routed through a the main barrel filter, as well as the normal engine air filter.

Mechanized Auger
The auger feeds the biomass into the gasifier. The Auger is automated and only feed fuel as needed.

Gas Engine
Several engine options are available to meet a variety of needs. Pictured here is a Kohler 1000 cc air-cooled V-twin engine.

Generator
Several gen-head options are available to meet a variety of needs, including 120/240vac split phase or 3 phase, 60 or 50hz. Pictured here is the basic configuration- a 10kW, 4-pole ST gen-head.



Hopper
Hopper is filled manually from the top with wood chips, nut shells etc. The hopper holds enough biomass for 6-8 hours of continuous operation.

The GEK® Biomass Gasifier
The GEK is at the heart of Power Pallet. It extracts Syngas from the woody biomass by heating it in a controlled, oxygen-deprived process. The Syngas is piped to the engine, where it combusts like natural gas.

- GEK Level IV Components:**
- Gas-making reactor
 - Stainless steel hearth
 - Gas cowling & ash handling
 - Cyclone
 - Packed bed filter
 - Ejector venturi gas pumping
 - Fuel/ air mixer
 - Swirl burner

- Automated control features**
- Mixture via wide band Bosch oxygen sensor and butterfly valve.
 - Grate shaking and ash take-off via timer or sensing of reactor back-pressure
 - Gasifier Control Unit (GCU™) to sense and control the above
 - Multi site temp and pressure readings displayed on GCU, and available for further automation
 - Clear top NEMA controlbox mounting for all electronics and expansion controls

Skid Base
All components are mounted to a steel pallet ready for a fork lift. Rubber shock absorbers reduce vibration and noise.

Power Pallets

10 kw GEK Power Pallet, Kubota engine – Mecc alte genhead: \$16,995

20 kw GEK Power Pallet, GM engine – Mecc alte genhead: \$25,995

USAst kohale toimetamine \$1800-2500.

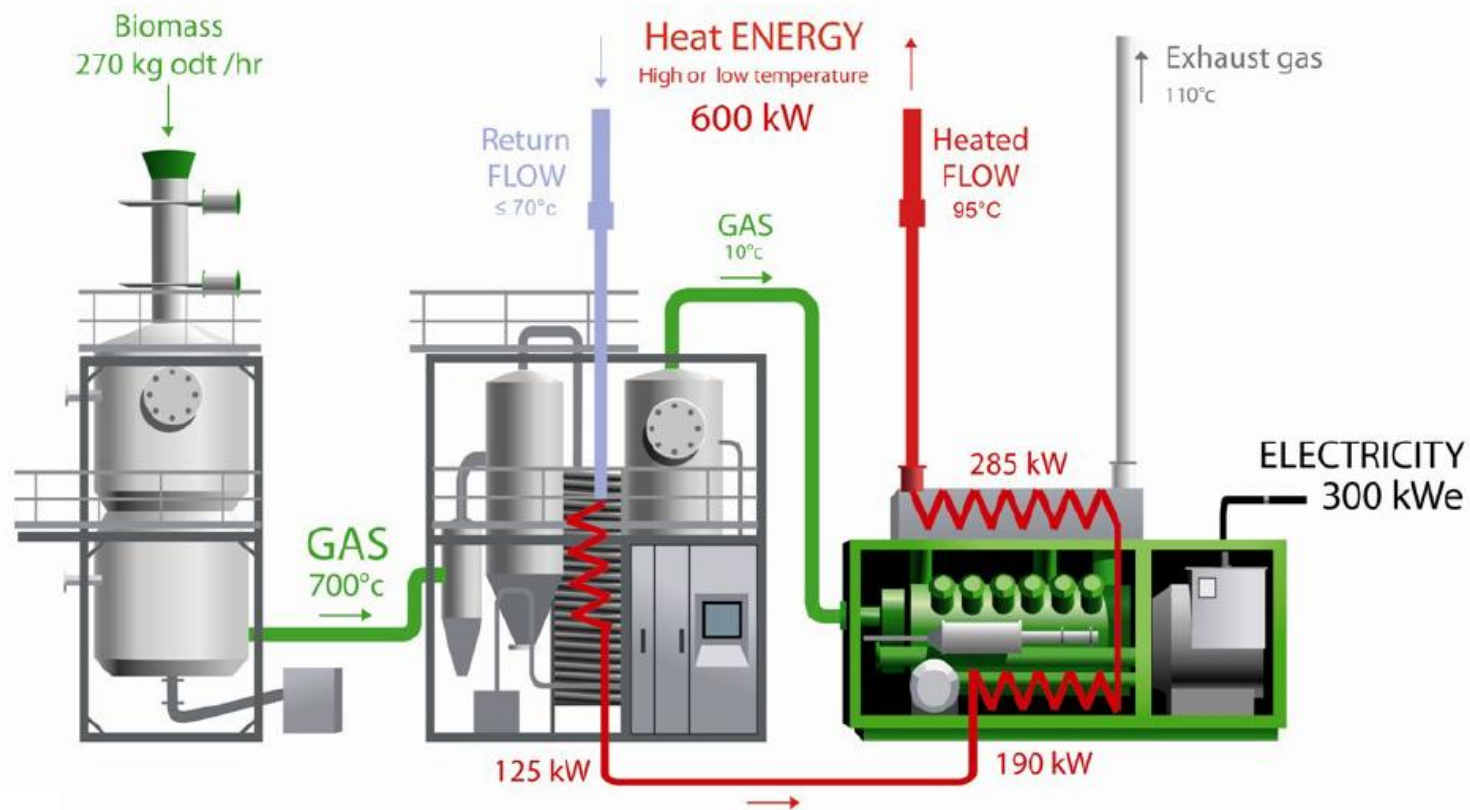
GEK gasifier



Puugaasigeneraatoriga
SEK Leedu Energeetika
instituudis, Kaunases

Puidu gaasistamisel (pürolüüsil) põhinevad soojuste ja elektri koostootmise jaamad

Puidu gaasistamine, protsess, mida tuntakse sajandeid, on praktiliselt ainuke majanduslikult atraktiivne võimalus pidevaks soojuste ja elektri tootmiseks väikestes detsentraliseeritud energiavarustussüsteemides puitjätmetest (biomassist)



Spanner Re² GmbH Wood-Power-Plant.

Joos-carburetor™ eriline seade on väike reguleeritav reformer (kuumutatav kiht - fire bed). See võimaldab toota gaasistusseadmeid võimsuse vahemikus 30 - 50 kWel and 70 - 110 kWth.



Holz-Kraft von Spanner: Durch und durch deutsche Wertarbeit

Lähtematerjaliks kasutatakse kaubanduslikku hakkpuitu, milles peenosakeste sisaldus peab olema alla 30%, niiskus ~15%.



Puugaasil töötav koostootmisjaam Valkas



Kokku 3 seadet, koguvõimsus 135 kW_{el}

Soome firma Gasek Oy puugaasil töötav SEK

GASEK CHP: sähkön- ja
lämmöntuotanto puuhakkeella

TUOTANTOLASKELMA: CHP 150

SÄHKÖTEHO	LÄMPÖTEHO	HAKKEEN KULUTUS
35 kW	100 kW	0,208 m³/h

VUOSIKÄYTTÖ	TUOTETTU SÄHKÖ	TUOTETTU LÄMPÖ	KÄYTETTY HAKE
6000 h	210 MWh	600 MWh	1248 m³

POLTTOAINESÄÄSTÖT

KÄYTTÖESIMERKKI: Ostosähkö (120 €/MWh) ja öljylämmitys (85 €/MWh),
CHP 150 -laitoksen ajo omalla hakkeella (haketuskulut 2 €/m³) 6000 h
vuodessa: $210 \text{ MWh} * 120 \text{ €/MWh} + 600 \text{ MWh} * 85 \text{ €/MWh} - 1248 \text{ m}^3 * 2 \text{ €/m}^3$

VUOSISÄÄSTÖT: 73 704 €

- Soojuse ja elektri toodang hakkpuiduga
- Elektriline võimsus – 35 kW
- Soojusvõimsus – 100 kW
- Hakke kulu – 0,208 pm³/h
- Töötunde aastas – 6000 h
- Elektritoodang – 210 MWh
- Soojuse toodang – 600 MWh
- Kulutatud haket – 1248 pm³
- Aastane rahaline sääst arvestades, et enne oli õliküte on 73 704 eurot (ostetava elektri hind on kõrgem kui Eestis. Ise valmistatud hakke hind on ka madal).



<http://www.gasek.fi/>

Volter Oy, Soome, Puugaasil töötav SEK



Volter Oy siseruumi paigaldatav SEK. Klient paigaldab soojust ja elektriühendused

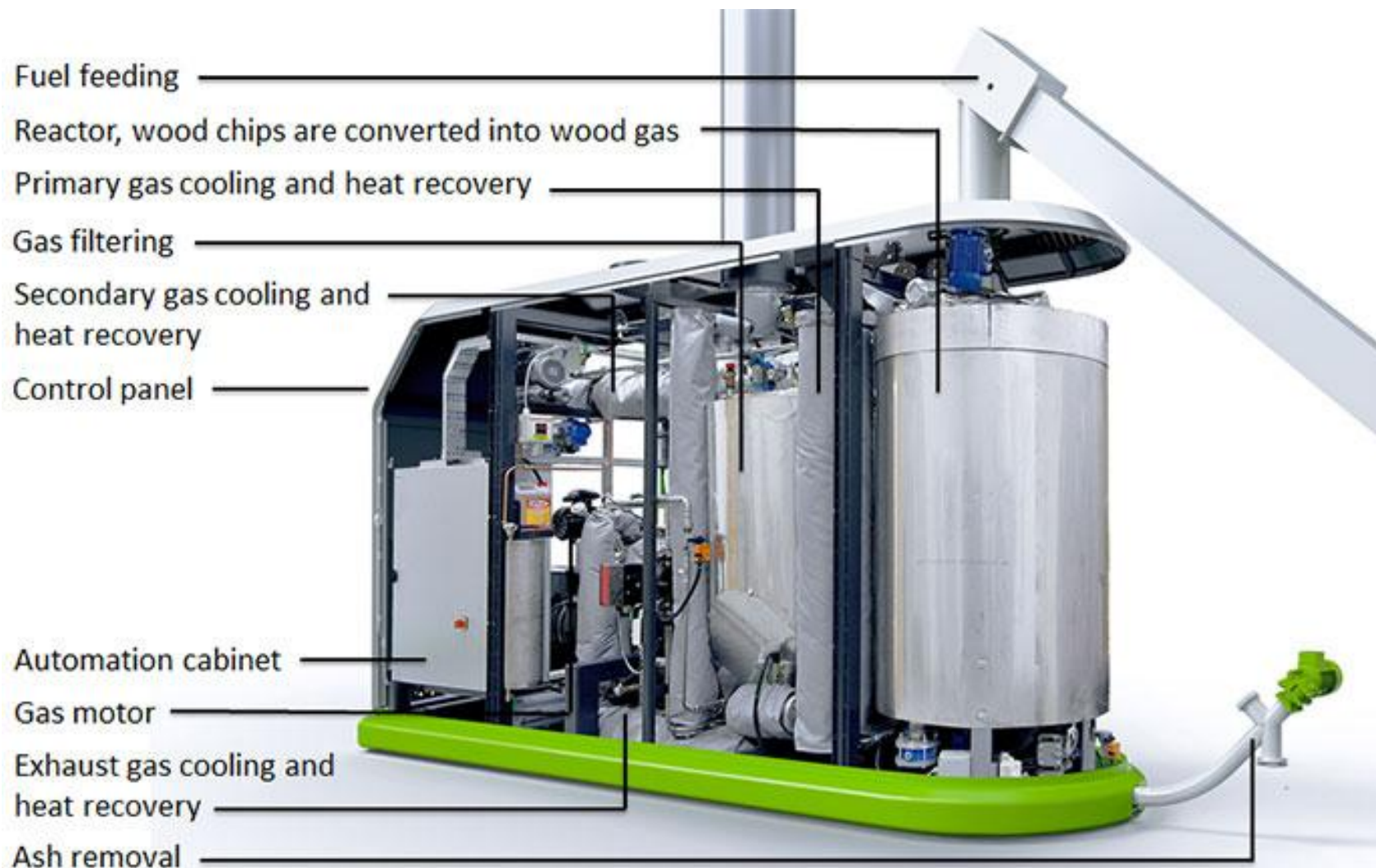
Kütus - hakkpuit 4-5 pm³/24h

Elektriline võimsus - 40 kW

Soojusvõimsus - 100 kW soojustele veel 20 kW kuumale õhule

Mõõdud – pikkus 4,8 m, laius 2,2 m ja kõrgus 2,5 m, mass ca 4,5 t.

Volter'i puugaasigeneraator



<http://volter.fi/fi/>

Elite 400 Outside-1 (puugaasistiga SEK) 80 kW (USA)

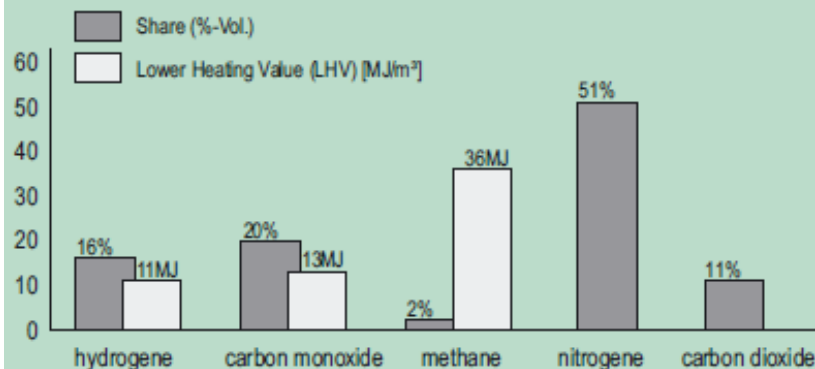
100%
võimsusel,
tarbib 45 kW_{el}
koostootmis
seade 4,5 m³
hakkpuituööpä
evas e. 135 m³
kuus.



The Model Elite 400 Gasification System is our most popular model and perfect for larger Residential, Commercial, Agricultural, and Remote Locations. (<http://www.superiorgasification.com/>)

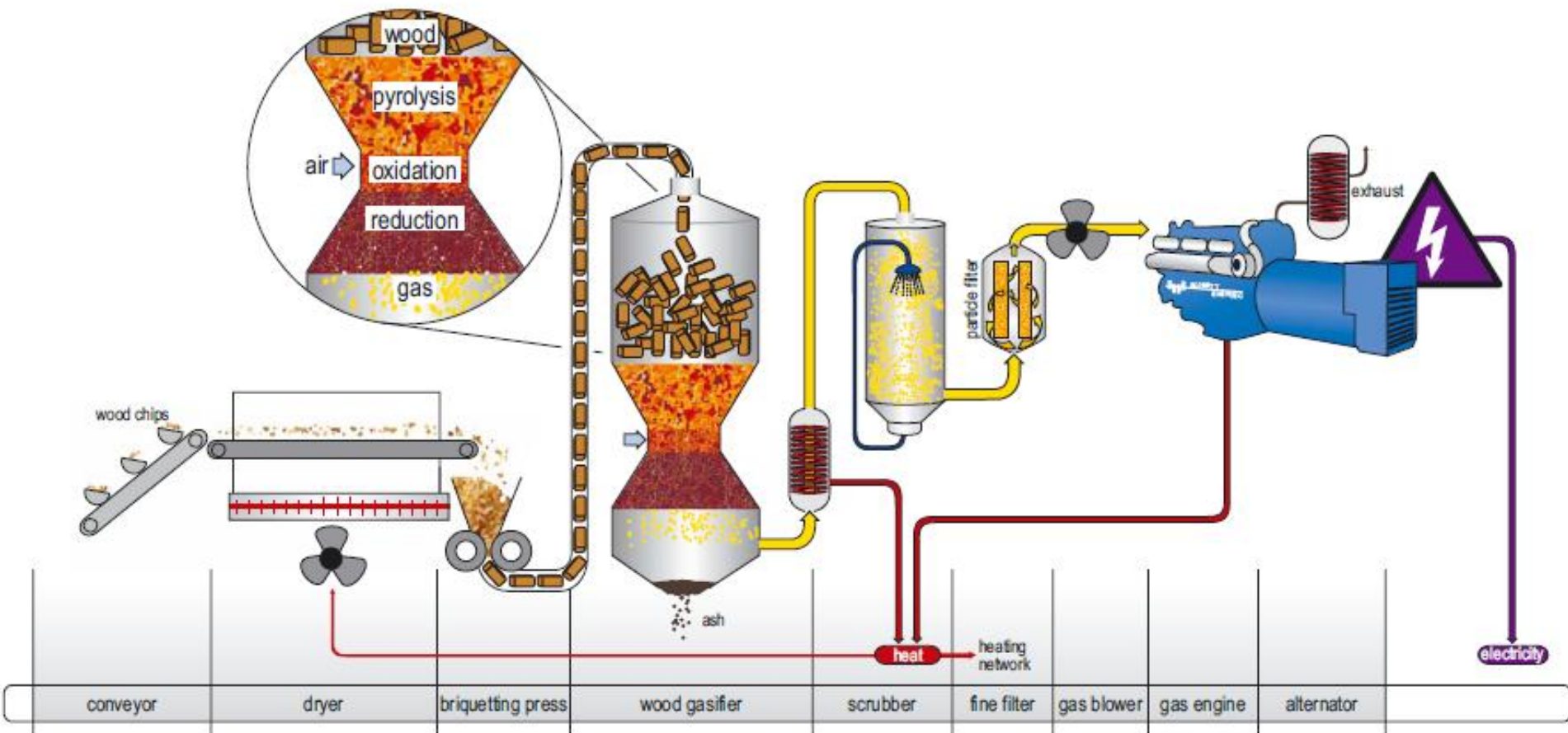
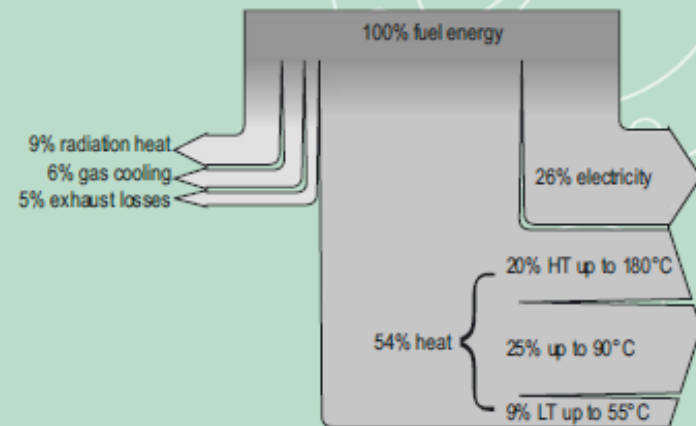
SEK
skeem

Gas composition



The heat value of the product gas amounts, fuel-dependently about 5 MJ/m³
(all data are subject to a fuel-dependent fluctuation of approx. 5%)

Sankey Diagram



Gaasiga sõitev veok – 100% kohvipaksust saadav gaas



Eesti inseneri omavalmistatud puugaasi generaator ja puugaasigrill



Biomassi hüdrotermiline töötlemine

- Hüdrotermiline töötlemine on lähteaine (biomassi) töötlemine veelobris kõrgetel temperatuuridel ja rõhkudel. Protsessi eesmärgiks on kasutada ära suure niiskussisaldusega biokütust ilma eelkuivatamiseta. Sellisteks jäätmeteks võivad olla nt puidutöötlemis- ja põllumajandusjäätmed (erinevat jääkmudad ja -setted, sõnnik, vetikad) ja toiduainete jäätmed. (R.C.Brown. Thermochemical Processing of Biomass. John Wiley & Sons, 2011.)

Hüdrotermilise töötlemise võib termokeemiliste protsesside seisukohalt jagada kolmeks:

- Hüdrotermiline karboniseerimine (söestamine) (ingl. k. – *hydrothermal carbonization* - **HTC**)
- Hüdrotermiline veeldamine (ingl. k. – *hydrothermal liquefaction* - **HTL**)
- Hüdrotermiline gaasistamine (ingl. k. – *hydrothermal gasification* - **HTG**)

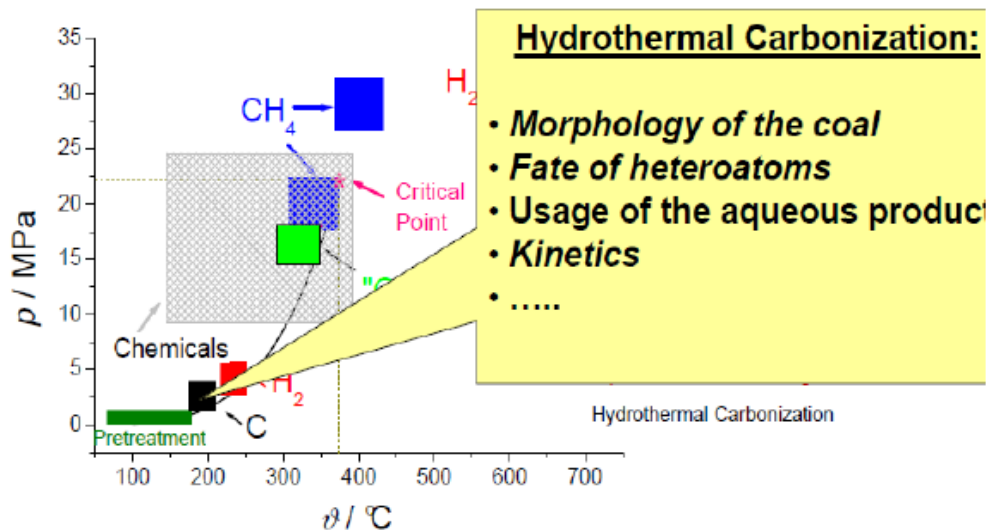
Biomassi kuiv ja märg termotöötlemine



- **Märja ja kuiva biomassi muundamise võimalikud termokeemilised protsessid**
- D. L. Barreiro, W. Prins, F. Ronsse, W. Brilman. Hydrothermal liquefaction (HTL) of microalgae for biofuel production: State of the art review and future prospects. Biomass and Bioenergy 53 (2013) 113-127.

Hüdrotermiline söestamine (HTC)

- HTC eesmärgiks on toota sütt. HTC protsessi korral rakendatakse temperatuuri 200 °C ja üldjuhul rõhku alla 2 MPa (20 bar). Saadavat koksi nimetatakse inglise keeles nt *HTC-char* või *hydrochar* (hüdrosüsi). HTC protsess imiteerib fossiilse söe teket, aga protsess kulgeb palju kiiremini – 2-4 h.
- B. Weiner, I. Baskyr, J. Poerschmann, F.-D. Kopinke. Potential of the hydrothermal carbonization process for the degradation of organic pollutants. *Chemosphere* 92 (2013) 674-680.
- T.M. Kläusli. *Hydrothermal Carbonisation. Energy from Biomass. AVA-CO₂. Ettekanne. Jaanuar, 2013.*

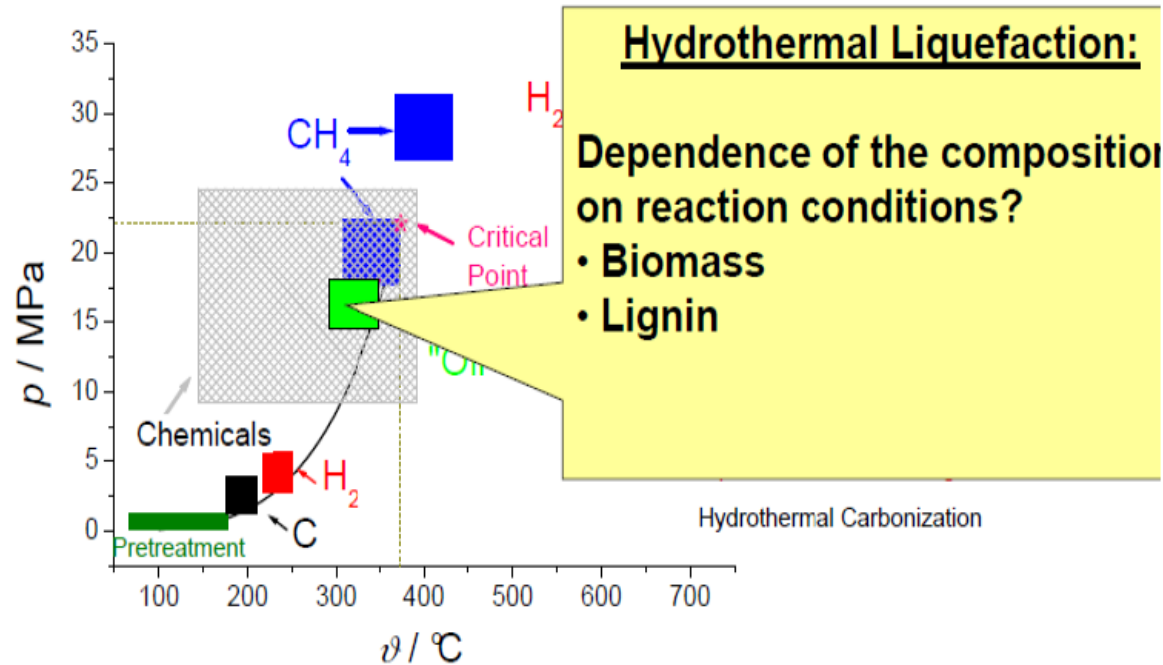


A. Kruse. *Hydrothermal Conversion of Biomass*. https://www.daad.org/file_depot/0-100000000/10000-20000/16426/folder/92125/061210+-+KIT+-+Kruse.pdf

Hüdrotermiline veeldamine (HTL)

- Biomassi hüdrotermiline veeldamine on biomassi termokeemiline muundamine vedelkütuseks ja kemikaalideks kõrgetel temperatuuridel (280-370) ja rõhkudel (10-25 MPa ehk 100-250 bar) vee keskkonnas. Põhiproduktis on nn bionafta (ing. k. - *biocrude, crude oil*) ja kõrvalproduktideks on erinevad gaasilised, vedelad ja tahked produktid.
- Bionafta kütteväärtus on ligilähedane fossiilse nafta omale (70-95% fossiilse nafta kütteväärtusest) ning on kasutatav koos fossiilse naftaga rafineerimistehastes erinevate kütusefraktsioonide tootmiseks.
- *D. L. Barreiro, W. Prins, F. Ronsse, W. Brilman. Hydrothermal liquefaction (HTL) of microalgae for biofuel production: State of the art review and future prospects. Biomass and Bioenergy 53 (2013) 113-127.*

Hüdrotermiline veeldamine (HTL) 2



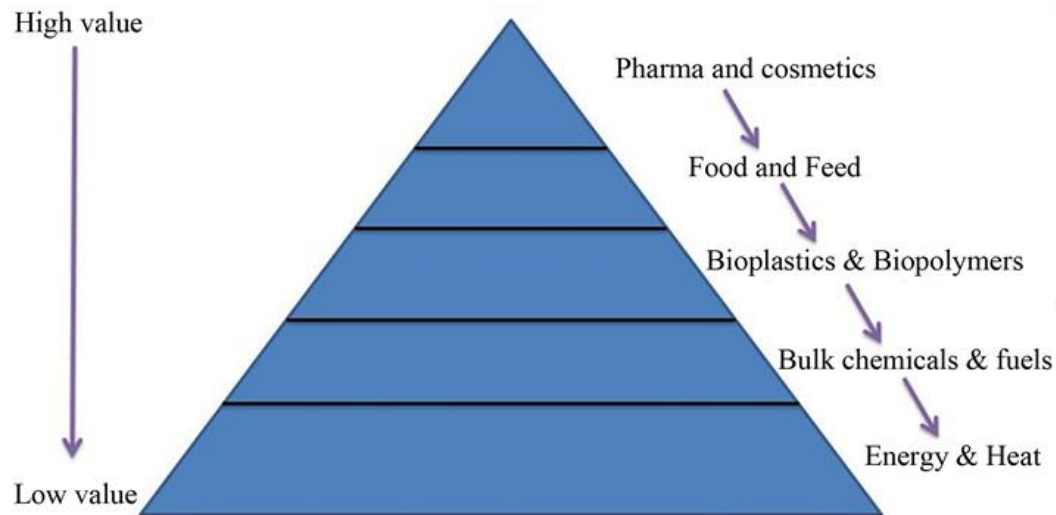
A. Kruse. Hydrothermal Conversion of Biomass. https://www.daad.org/file_depot/0-10000000/10000-20000/16426/folder/92125/061210+-+KIT+-+Kruse.pdf

- Hüdrotermiline veeldamine vajab madalamaid temperatuure, kuid kõrgemaid rõhkusid. Kui biomassi kuivatamine on pürolüüsi seisukohalt oluline, siis HTL korral on vastupidi.
- Vetikate korral on tehtud katsetusi erinevate viibeaegade juures (5-120 min) ning õli saagikus on olnud vahemikus 50-60%.

Biomassi muundamisega seonduvaid probleeme

- Probleemide grupp, mis on seotud biomassi istutamisega, kasvatamisega, kogumisega/lõikamisega ja transpordiga,.
- Klassifitseerimisega, standarditega ja üldise/tavalise teadlikkusega seonduvad probleemid.
- Info ja andmete puuduse ja kättesaadavusega seonduvad probleemid.
- Fossiilsete ja biokütuste koospõletamisega seonduvad probleemid.
- Tehnoloogilised ja keskkonna probleemid, mis tekivad biomassi käitlemisel/töötlemisel/muundamisel seoses biomassis olevate elementidaga - Ca, Cl, K, Na, P, Si – ja raksete metallidega.

Biomassi kasutuse kaskaad, toodangu hind



Source: Peter Westermann, Copenhagen Institute of Technology

http://file.scirp.org/Html/4-3700377_47591.htm

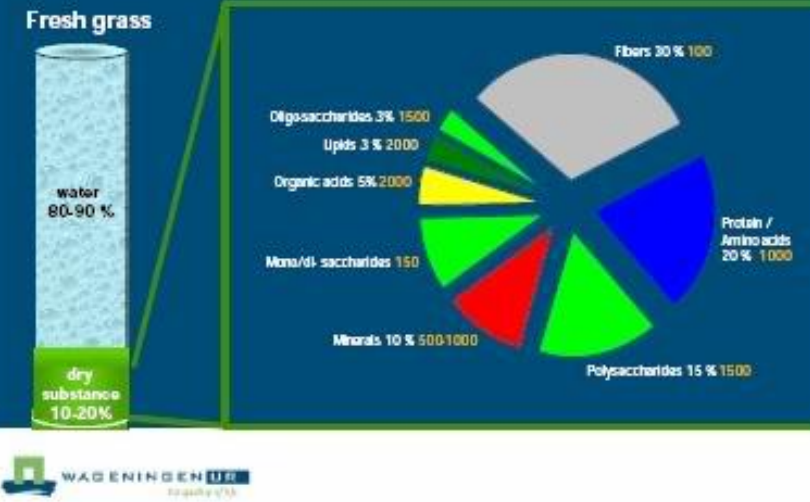
Biomass can bring different contributions to the farmer

(€/ha)

Assuming a yield of 10 tonnes dry weight per hectare, being 160 GJ, using *all* crop and good agricultural practices up to double values could be obtained:
20 tonnes whole crop yield, 320 GJ/ha

	€/hectare
• All Energy at coal value	: 640 –
• All transportfuel	: 1360 –
• All bulkchemical	: 6400 –
• 20% bulkchemical, 80% Energy	: 1800 – 3600
• 20% bulkchemical, 40% fuel, 40% Energy	: 2080 – 4160

The separated components of grass value 700 - 800€/ton as compared to 50 - 70 €/ton raw materials

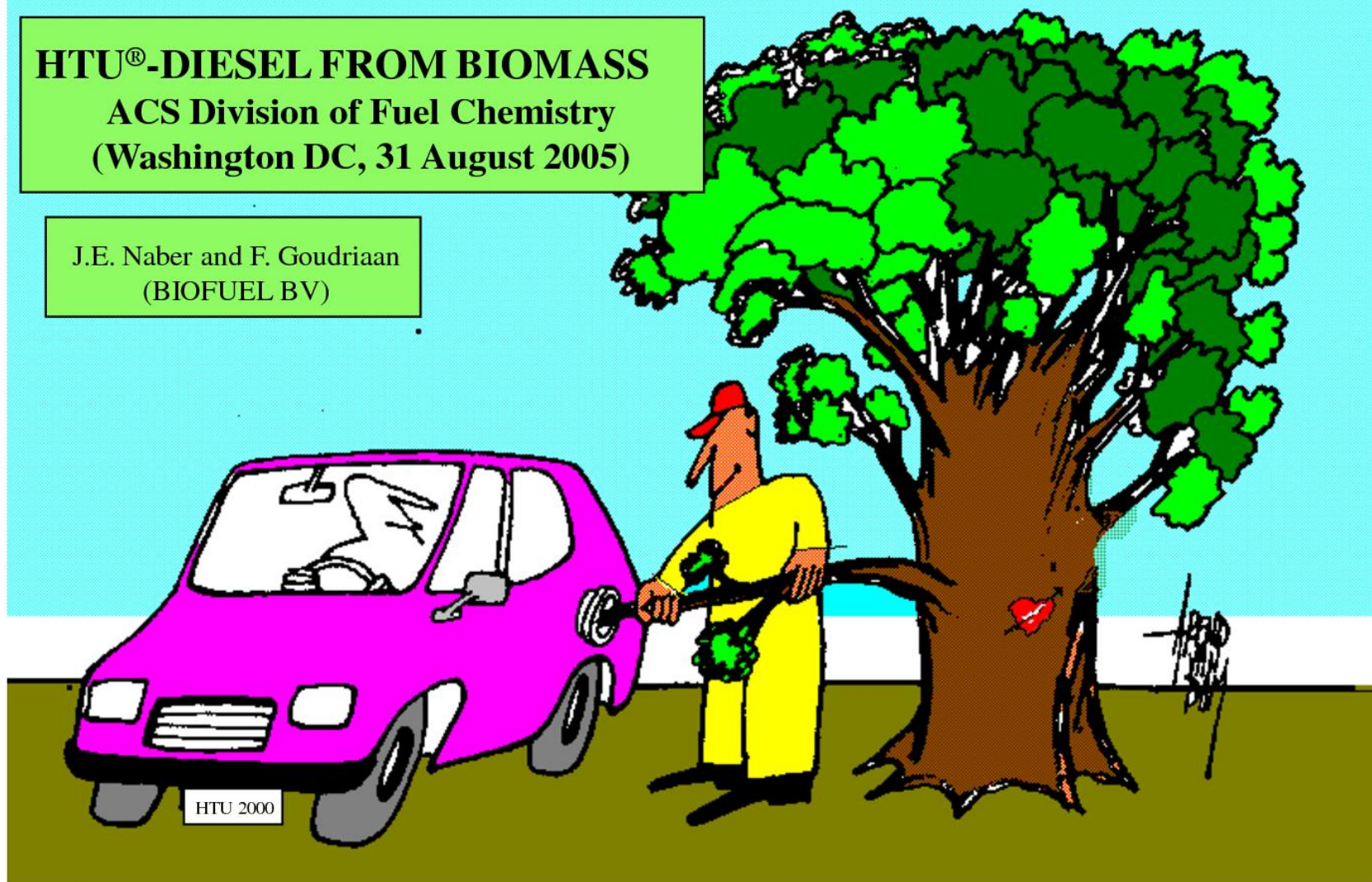


http://s169.photobucket.com/user/biopact2/media/biopact_biorefineries_4-farmer-1.jpg.html?t=1184096174

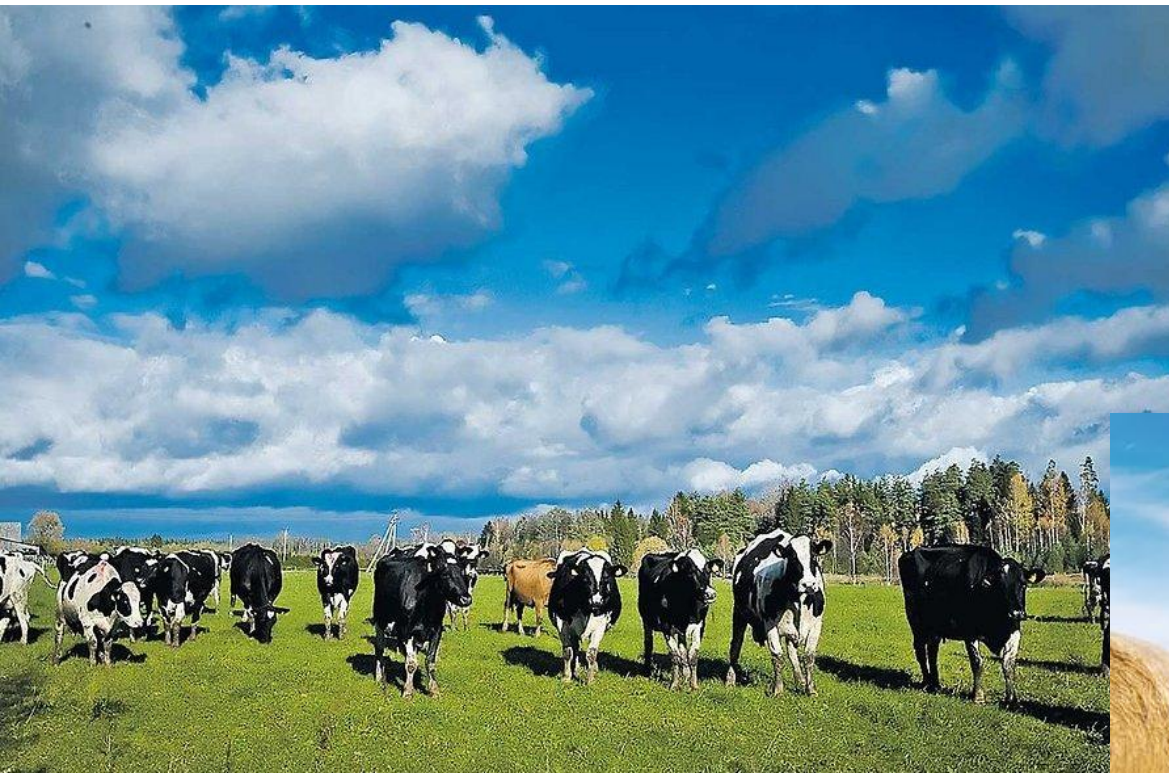
HTU®-DIESEL FROM BIOMASS

ACS Division of Fuel Chemistry
(Washington DC, 31 August 2005)

J.E. Naber and F. Goudriaan
(BIOFUEL BV)



Põllumajandusliku tootmisega seotud
taastuenergia ressursid ja nende paiknemine.
Põllumajandustootmise energeetiline efektiivsus
ja riskitegurid.



Taastuvad biokütuste allikad Eestis

- **Mets**
- **Looduslikud ja poollooduslikud kooslused (rohtne biomass)**
looduslike rohumaade hein ja pilliroog – reaalne lähiajal 150 GWh/a
- **Põllumajandusmaa ja -jäätmed (loomsed, rohtsed)**
Põhk – reaalne 110 GWh/a
- **Vetikad (veetaimed)**
- **Olme- ja tööstusjätmete biolagunev osa**
- **Biogaas (prügilagaas, reoveegaas)**

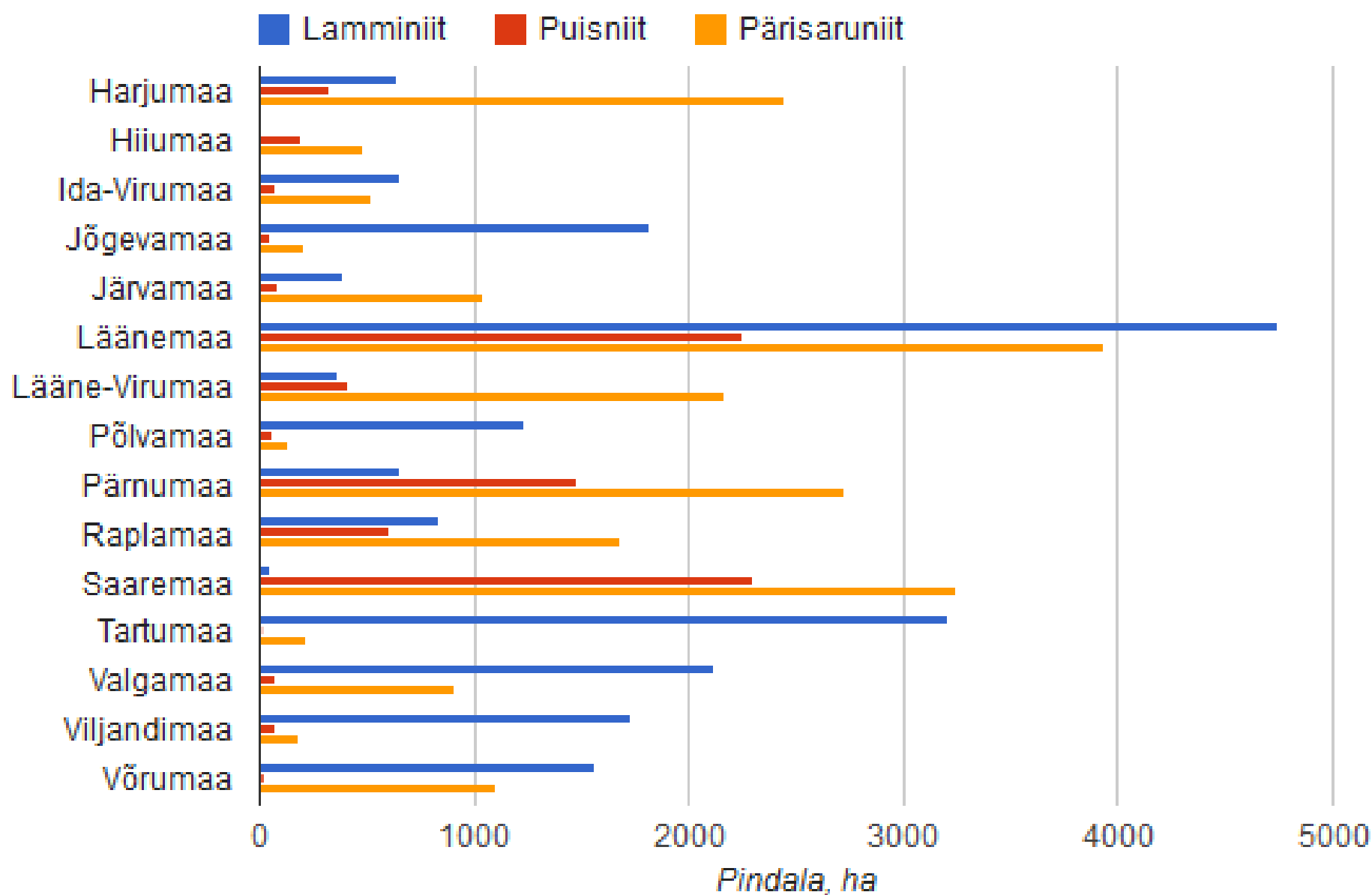
Biomassi lähteressursid Eestis

- Energiakultuuride ressurss:
 - Õlirikkad kultuurid: raps, rüps, valge sinep, tuder, õlikanep,
 - Kiirekasvulised puuliigid: paju, hall lepp, kask, haab,
 - Kiirkasvulised rohttaimekultuurid: päideroog, kiukanep, roogaruhein, ida-kitsehernes (galeega),
 - Etanoolikultuurid: nisu, rukis, tritikale, kartul, suhkrupeet,
- Looduslikud heintaimed: niidetav biomass püsirohumaadelt ning (pool)looduslikelt kooslustelt, märgaladelt (pilliroog).
- Jäätmete ressurss - Põllumajanduse, tööstuse, olme ja kaubanduse biolagunevad jäätmed – biogaas - kütus, energia
- (Iru Elektri jaama prügipõletusplokk, mis on võimeline põletama ~220 000 t/a.)

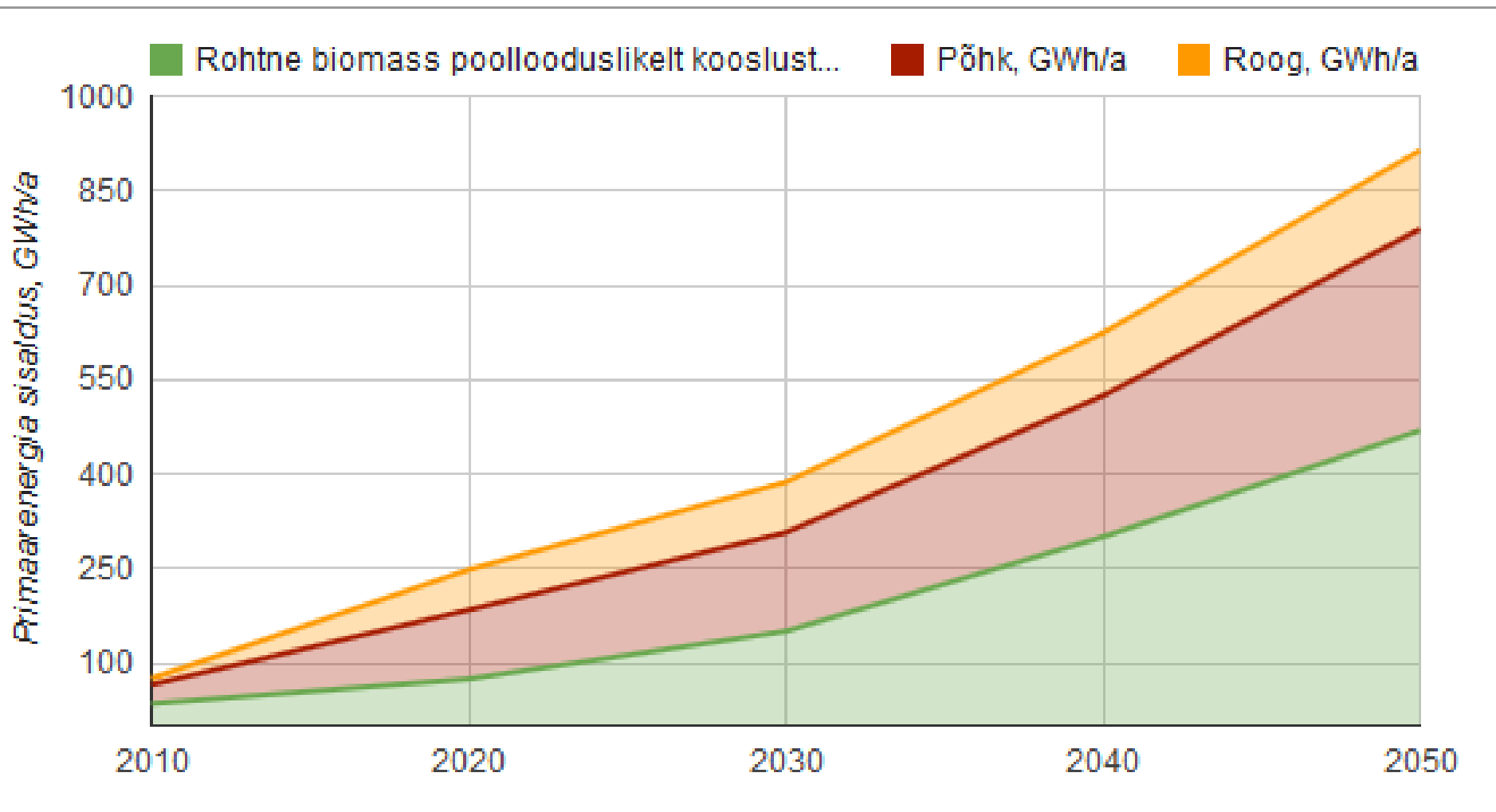
Rohtse biomassi põletamisel saadava energia kasutamise prognoos

<i>Tooraine</i>	2010	2020	2030	2040	2050
<i>Rohtne biomass poollooduslikelt kooslustelt, GWh/a</i>	35	74	150	300	469
<i>Põhk, GWh/a</i>	30	110	157	224	320
<i>Roog, GWh/a</i>	10	64	80	100	125
<i>Kokku, GWh/a</i>	75	248	387	624	914
<i>Kokku, PJ/a</i>	0,27	0,89	1,39	2,25	3,29

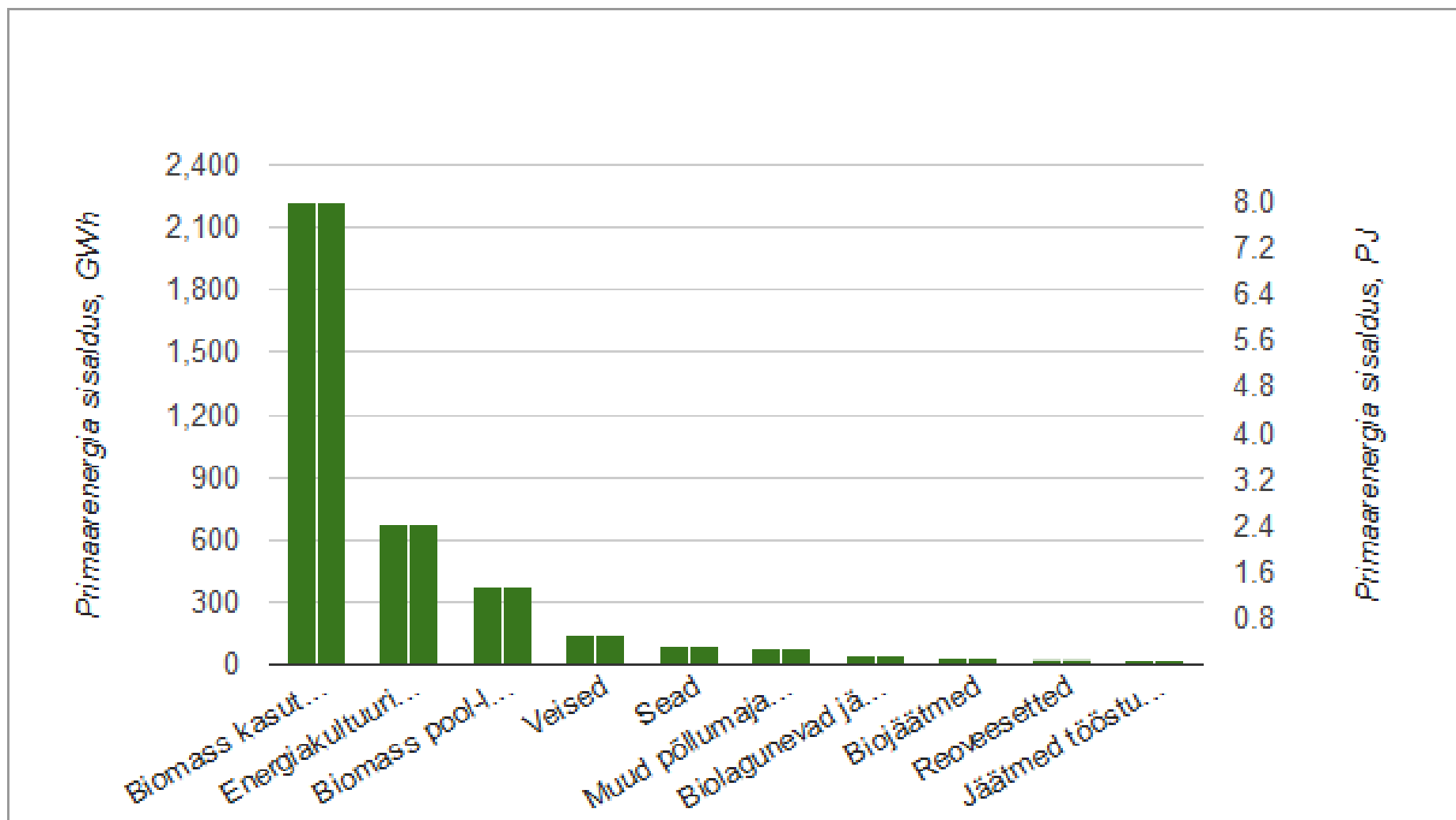
Energiataimede energeetiline ressurs pool- looduslikelt aladelt



Rohtse biomassi primaarenergia kasutamise prognoos



Biogaasi energeetiline potentsiaal



Allikas: ENMAK, www.energiatalgud.ee

Biogaasi substraadid ja potentsiaalne energia (ENMAK)

Substraat	ha, t,	teoreetiline biogaasi kogus, mln Nm3	90% on reaalselt kasutatav, mln Nm3	reaalne %, mis on kiirelt kasutatav	BG (60% CH4), mln Nm3	Biometaani potentsiaal (CH4 98%) mln Nm3	GWh el aastas (8200 töötunniga)	SEK puhul nimivõimsus MW Nel
kasutamata maad	177'385 ha	412	371	100.00%	371.00	223.00	792.19	90.43
5% põllumajandusmaast	53'917 ha	125	113	100.00%	113.00	68.00	240.79	27.49
pool-looduslikud kooslused	100'000 ha	107	96	25.00%	24.00	15.00	51.43	5.87
veiseid	163'135 tk	97	87	72.00%	63.00	38.00	133.82	15.28
sigu	360'990 tk	12	11	65.00%	7.00	4.00	14.51	1.66
põllumajanduslikud muud jäägid	32'124 t	5	4	90.00%	4.00	2.00	8.61	0.98
Biolagunevad toiduainetetööstusest	42'667 t	21	19	80.00%	15.00	9.00	32.78	3.74
Biojäätmed	24'000 t	4	4	80.00%	3.00	2.00	6.12	0.70
Reoveesete	466'974 t	7	6	80.00%	5.00	3.00	10.76	1.23
Tööstus	25'000 t	15	13	100.00%	13.00	8.00	35.06	4.00
Kokku (ilma prügilagaasita)		805	724		618	372	1,326	151

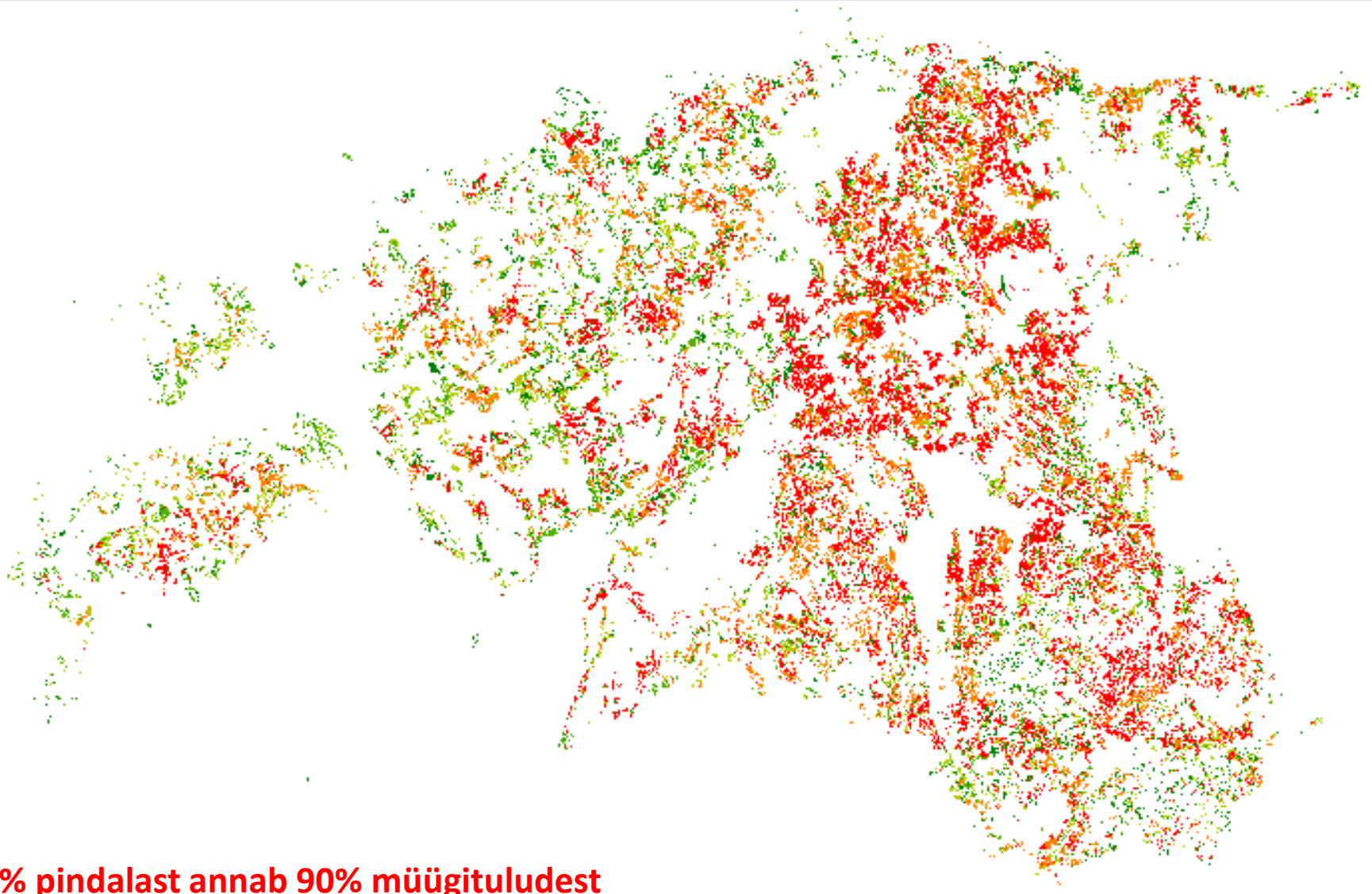
Eesti biometaani potentsiaal toorme liikide lõikes

Toorme liik	Potentsiaal mln Nm ³	Osakaal
Põllumajanduslik kasvatatav biomass	305	80,3%
Biomass kasutamata maadelt	223	58,7%
Energiakultuurid (% llumajandusmaast)	68	17,9%
Biomass poollooduslikelt kooslustelt	14	3,7%
Põllumajandustootmise jäägid	44	11,6%
Veiseläga	38	10,0%
Sealäga	4	1,1%
Muud lllumajanduslikud jäägid	2	0,5%
Tööstuslike protsesside jäätmed	17	4,5%
Biolagunevad jäätmed toiduainete tööstusest	9	2,4%
Jäätmed tööstusest	8	2,1%
Prügilagaas	9	2,4%
Olmejäätmed	5	1,3%
Reoveesetted	3	0,8%
Biojäätmed	2	0,5%
Kokku	380	100%

Koostatud A.
Oja.
“Biometaani
kasutamise
avalikud
hüved”, Eesti
Arengufond.
Tallinn, 2013,
andmete
alusel. V. Vohu
arvutused

Biometaani potentsiaal toorme liikide lõikes annab põllumajandusliku päritoluga ressursside summaks ca 92% koguressursist (349 miljonit Nm³), millest absoluutne enamus tuleks rohtse biomassi kasutamisest ning sellest 223 miljonit Nm³ kasutamata rohumaade kasutuselevõttust (58,7% koguressursist).

PÕLLUMAJANDUSTOODANGU MÜÜK EUR/HA



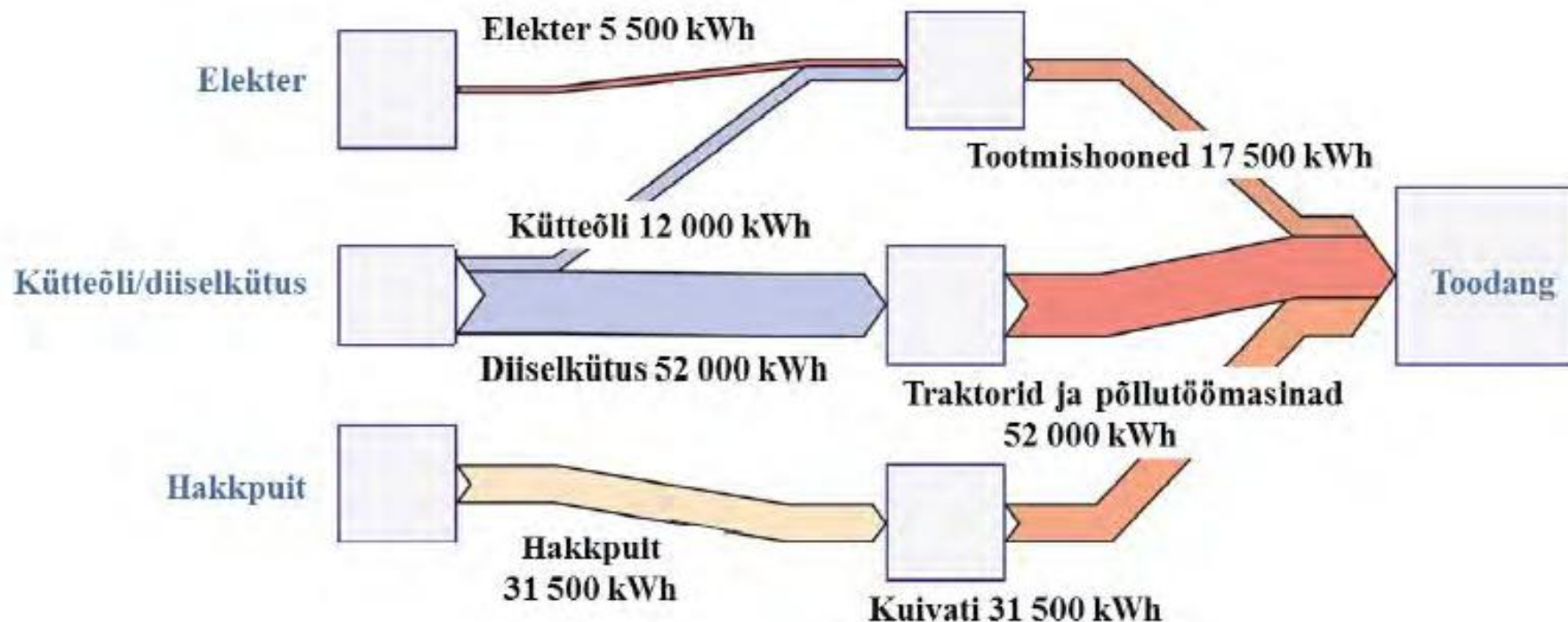
60% pindalast annab 90% müügituludest

40% pindalast annab 10% müügituludest

40% pindalast vastab 375 tuh ha

PRIA maakasutajate andmete, Äriregistri ja Maksu- ja Tolliameti andmete võrdlus. V. Vohu

Taimakasvatustalu energiavoogude näide



Energia erikulu viljakasvatuses, näide

<i>Energiakulu</i>			
Kütteõli ja kütus	6400	l	64 000
Hakkpuit	35	m ³	31 500
Elekter	5500	kWh	5500
Kokku	-	-	101 000
<i>Energia erikulu</i>			
Masinate kütusekulu pinnaühikule	58	l/ha	-
Masinate energiakulu pinnaühikule	578	kWh/ha	-
Masinate energiakulu 1 kg vilja kohta	0,16	kWh/kg	-
Energiakulu kuivatamisel	0,10	kWh/kg	-
Üldenergia kulu pinnaühikule	1122	kWh/ha	-
Üldenergia kulu 1 kg vilja kohta	0,32	kWh/kg	-

Allikas: Jukka Ahokas. Energia põllumajanduses. EMÜ. Tartu, 2012.

Otsene ja kaudne energiakulu ühe kg loomakasvatustoodete kohta

Toodang	Otsene energiakulu kWh/kg	Üldine energiakulu kWh/kg
Broileriliha	0,5 – 0,7	7 – 10
Sealiha	1 – 2	7 – 19
Loomaliha	–	22 – 28
Piim	0,1 – 0,3	1,4 – 1,9

Tüüpilised kütusekulu vahemikud erinevate põllumajandustööde korral

Töö	Kütusekulu l/ha
Äestamine	5 – 10
Kombikülvikuga külv	4 – 8
Viljakoristus	9 – 15
Künd	15 – 25
Heina niitmine	4 – 6
Järelveetav haagis	12 – 18
Pallitamine	4 – 8
Transport	20 – 50 l/100 km

Piimalehmade söötmiseks vajalik energiakulu sõltuvalt söödakäitluse viisist

Söötmisviis	Energiakulu kWh/(looma-aasta)
aunasilo + traktor + söödavagun + jõusöödaautomaat	652
aunasilo + traktor + söödavagun + relssjaotur + noorkarja tõstuksöötur	370
tornisilo + relssjaotur + jõusöödaautomaat	160
augusilo + traktor + söödavagun + teraviljasöötur + elektriline koresööda jaotur	480
tornisilo + relssjaotur + elektriline segisti + jõusöödaautomaadid	274

Allikas: Jukka Ahokas. Energia põllumajanduses. EMÜ. Tartu, 2012.

Ühe talu energiavood viljakasvatusel

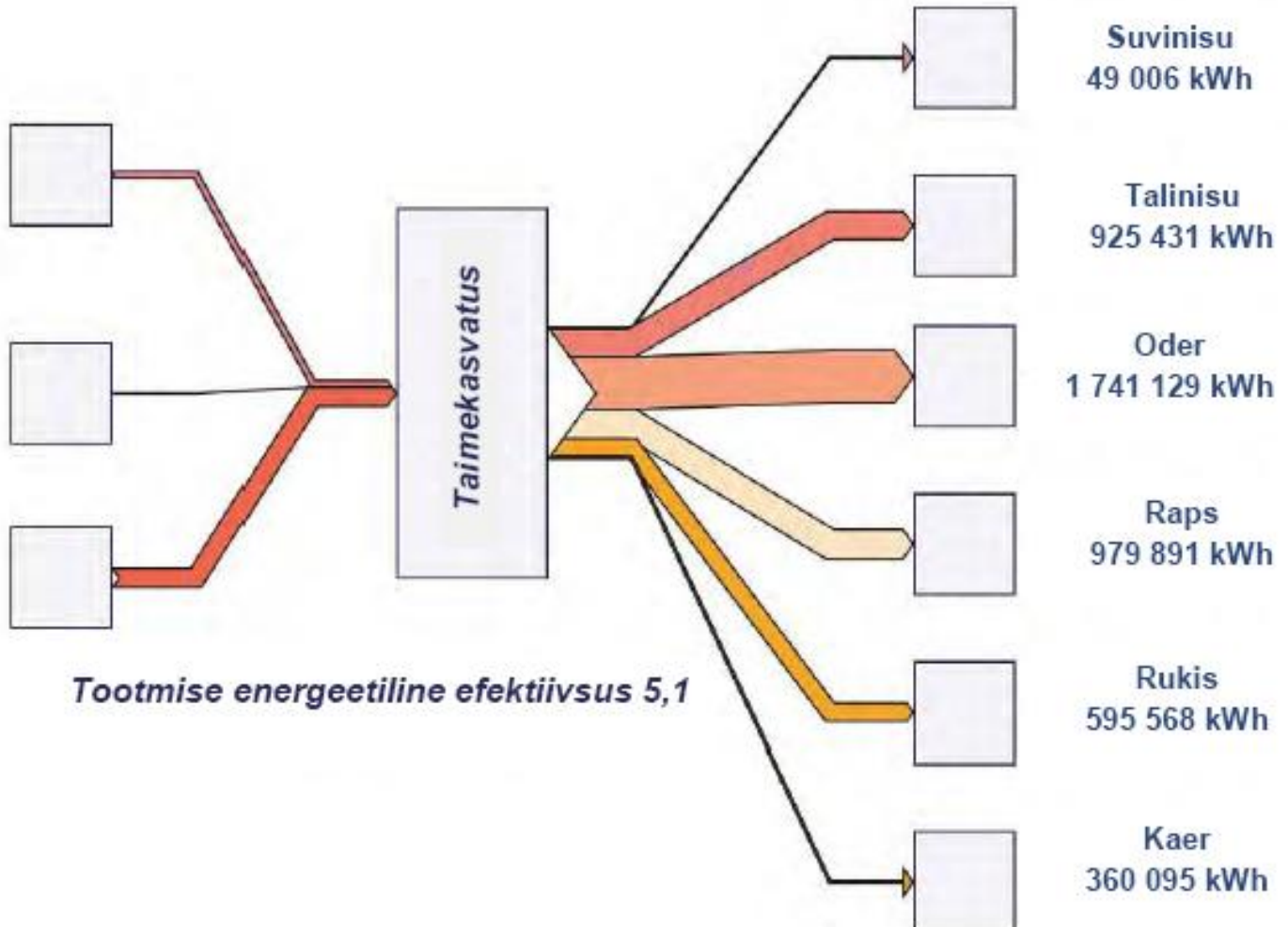
Sisendite energia 908 683 kWh

Toodangu energia 4 651 120 kWh

Põlevkiviõli
ja diiselkütus
212 495 kWh

Elekter
6418 kWh

Väetised
636 180 kWh
Seemned
53 590 kWh

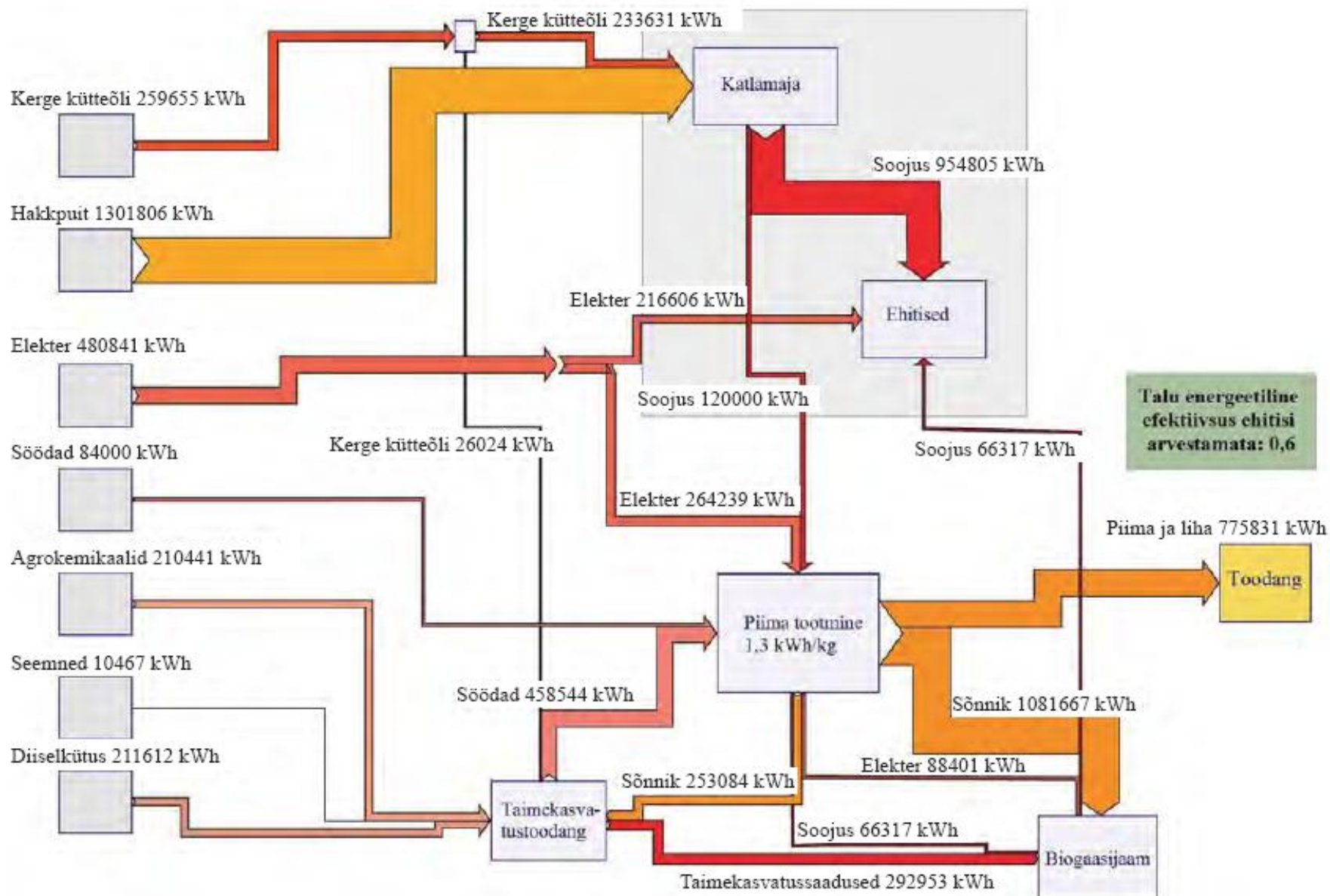


Ühe talu piimatootmise sisendite ja toodangu energiasisaldus (KA – kuivaine)

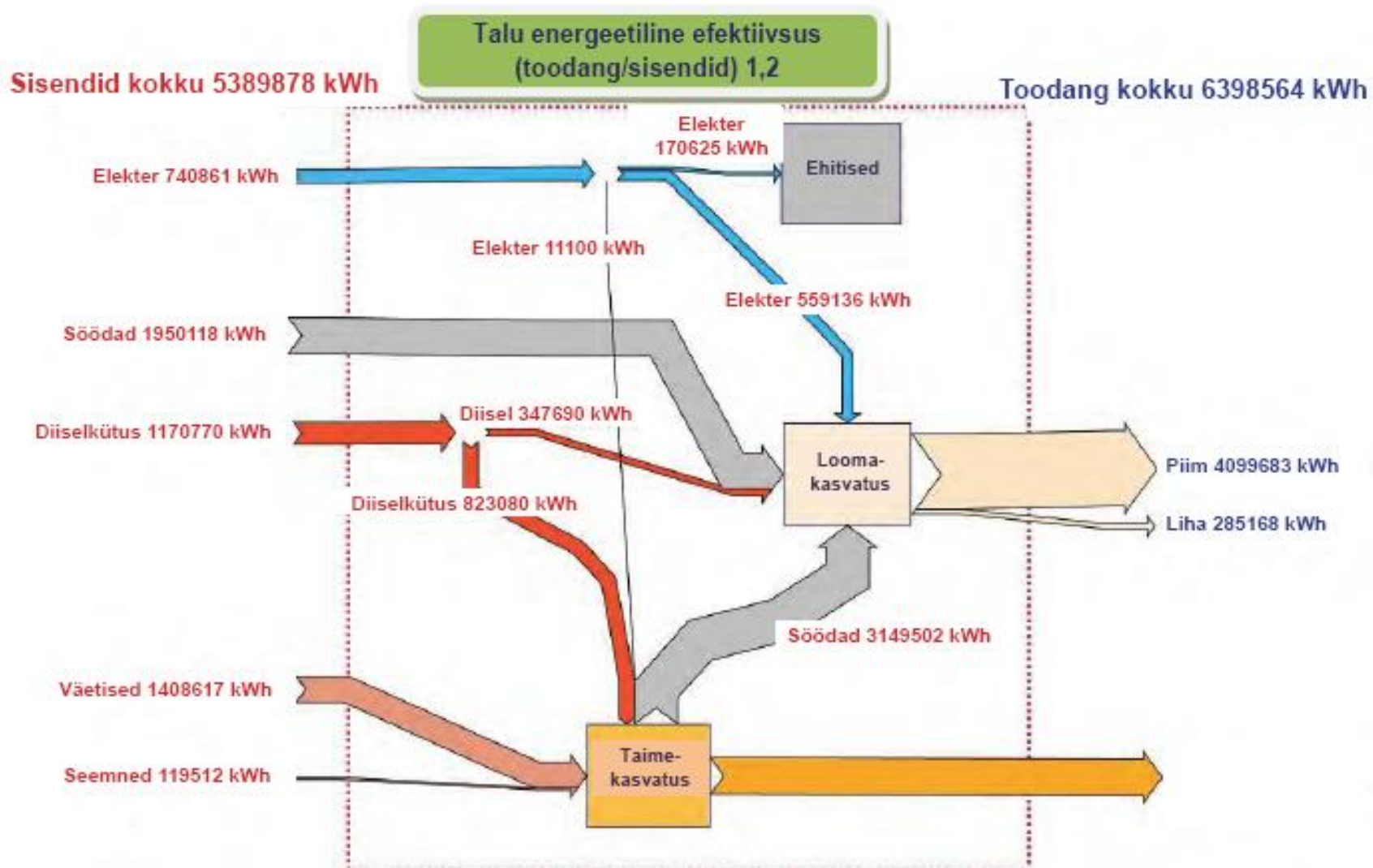
Piima tootmine	Kogused 2010. a	Energiahulk kWh
<i>Sisendid</i>		
Sööt ja allapanu (hinnanguliselt)	-	84 000
Sööt taimekasvatusest	701 934 kg	458 544
Elekter	264 239 kWh	264 239
Elekter biogaasijaamast	88 401 kWh	88 401
Soojusenergia katlamajast	120 000 kWh	120 000
Soojusenergia biogaasijaamast	66 317 kWh	66 317
Kokku	-	1 081 501
<i>Toodang</i>		
Piim	841 457 l	747 962
Vasikad, eluskaalus	15 435 kg	27 869
Sõnnik	259 600 kg (KA)	1 081 667
Kokku	-	1 289 966

Allikas: Jukka Ahokas. Energia põllumajanduses. EMÜ. Tartu, 2012.

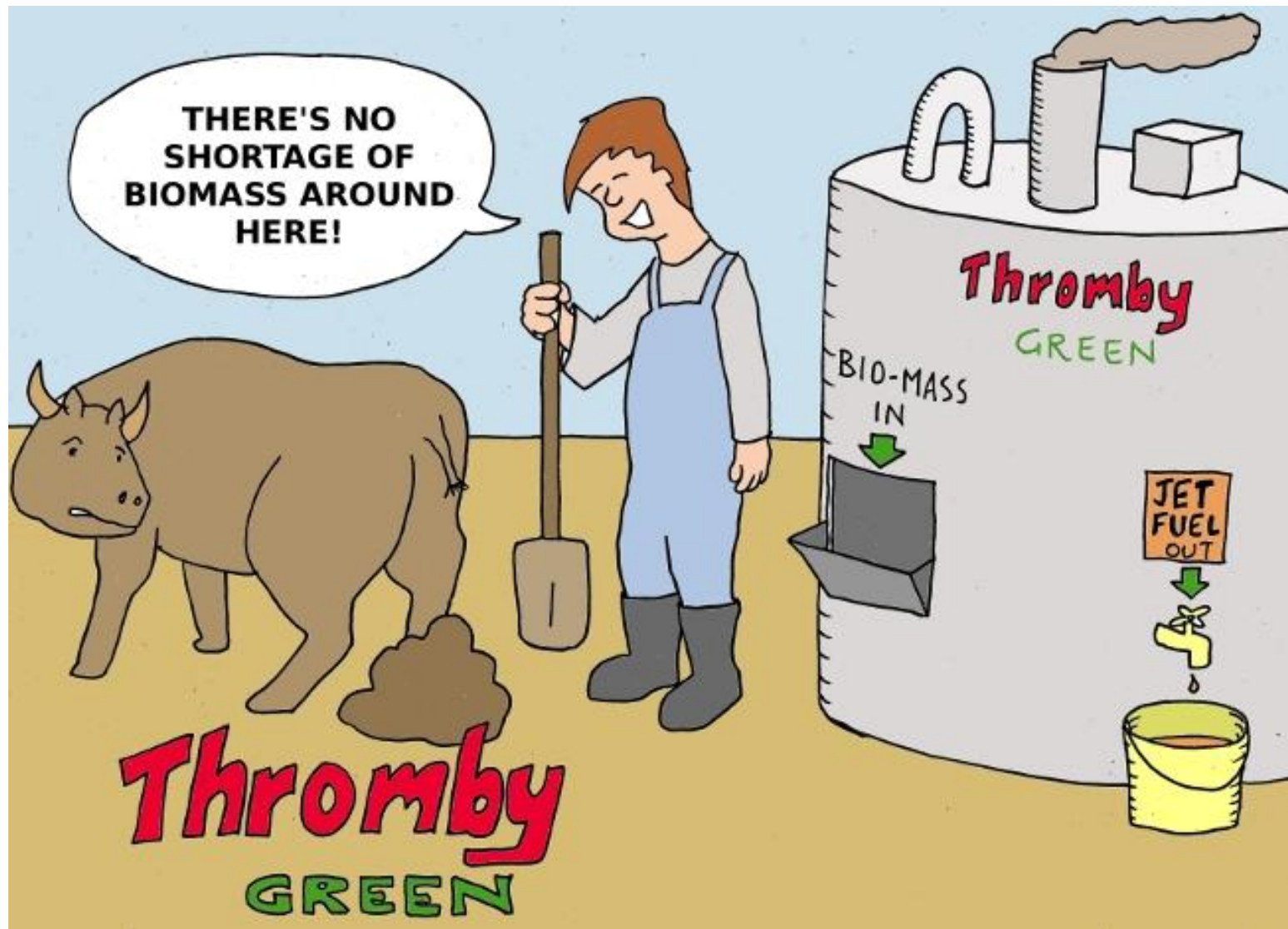
Ühe talu energeetiline analüüs



Talu energeetiline analüüs 2



Tänan kuulamast!



A close-up photograph of a person's hands holding a white ceramic mug filled with coffee. The person is wearing a dark, textured sweater. In the background, a fireplace with a warm, glowing fire is visible, creating a cozy atmosphere. The text "Time to enjoy yourself" is overlaid on the image in a white, italicized font.

*Time to
enjoy yourself*