



TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Teema 4

Lokaal- ja kohtküttelahendused ning soojussalvestid

Ülo Kask

Tallinna Tehnikaülikool, soojustehnika instituut
Eesti Taastuvenergia Koja koolitus, 18.02.2015



Teemad

- Tahked vedelad ja gaasilised biokütused. Terminid.
- Biokütuste omadused ja sobivus kütuseks.
- Biokütuste kättesaadavus, piisavus Eestis.
- Biokütuste hinnad.
- Üksikhoonete ja ruumide kütmislahendused ja kütteseadmed, nende tüübid ja sobivus. Soojussalvestid.
- Seadmete võimsuse valiku alused, seadmete tõhusus ja kasutamise riskid.

Kütused - tahked vedelad ja gaasilised

- **Kütus** on energeetilises mõttes aine, mille keemilisel ühinemisel hapendajaga, milleks on tavaliselt hapnik (õhk), eraldub suurel hulgal soojust.





Milliseid aineid peetakse kütusteks?

- Kütusteks (kütteaineteks) loetakse aineid, mis täidavad järgmisi põhilisi tingimusi:
 - küllaldane varu või taastuvus looduses,
 - hea kättesaadavus ja suhteliselt lihtne tootmine,
 - reageerimine oksüdeerijaga toimub kiiresti ja suure kasuteguriga,
 - põlemissaadused ei saasta ohtlikult keskkonda.
- Nendele tingimustele vastavad ennekõike maakoos leiduvad orgaanilise päritoluga põlevmaavarad ja bioloogilise päritoluga taastuvad loodusvarad (kütteained) ning nende töötlemise saadused.



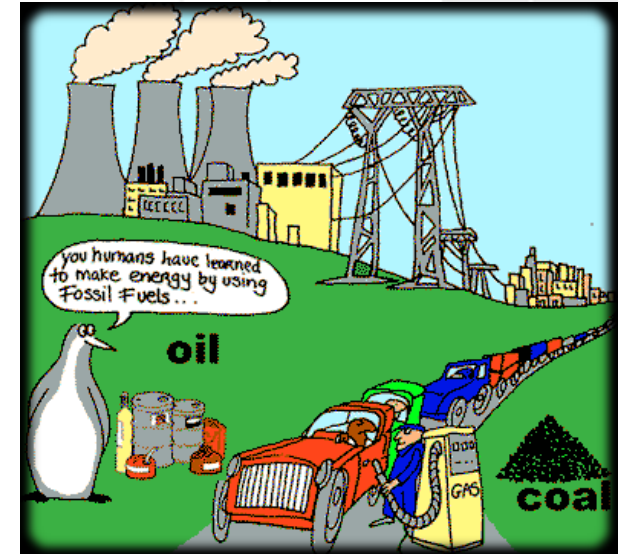
Kütuste liigitus

Liigitatakse – taastumatud (fossiilsed), taastuvad

Fossiilsed tahkekütused

Fossiilsed vedelkütused

Fossiilsed gaaskütused



Taastuvad tahkekütused – tahked biokütused

Taastuvad vedelkütused – vedelad biokütused

Taastuvad gaaskütused – gaasilised biokütused

Biokütus nagu fossiilkütuski esineb tahke, vedela ja gaasilisena. Tahke biokütus võib olla puitpõhine, rohtne, puuviljapõhine või lisanditega segatud.



Vedelad biokütused

- Vedelaid biokütuseid looduses ei esine ning taimeõli ja etanooli kusagil iseenesest ei tilgu.
- Neid saadakse mehaanilise, bioloogilise ja termokeemilise muundamise käigus biomassist ja kasutatakse peamiselt veovahendite mootorikütusena.
- Vedelaks biokütuseks loetakse Euroopa Liidu direktiivi järgi bioetanooli, biodiislikütust, biometanooli jt.
- 2011. aastal toodeti maailmas keskmiselt 106,5 miljonit liitrit vedelaid biokütuseid ööpäevas, mis moodustas umbes ühe protsendi globaalsel mootorikütuste turul müüdavatest kütustest.



Gaasilised biokütused

- Gaasilisi biokütuseid looduses samuti ei esine, ehkki näiteks looduslike käärimisprotsesside tulemusena tekib metaanirikas soogaas, kuid hajutatuna ning kütusena seda ei kasutata. Selleks on ka mäletsejate loomade magudest eralduv metaan.
- Gaasilisi biokütuseid saadakse kas kääritamisel või termokeemilisel teel.
- Gaasilised biokütused on peamiselt biogaas, sealhulgas prügilagaas, biovesinik ja sünteetiline biogaas (biosüngaas).



Fossiilsed ja taastuvad tahkekütused

Kivisüsi (1000 ekr Hiinas)

- Bituminoosne süsi
- Subbituminoosne süsi
- Tükiline kivisüsi
- Kivisöetolm
- Kivisöebrikett
- Kivisöepoolkoks
- Kivisöekoks

Antratsiidid

- Antratsiit
- Meta-antratsiit
- Poolantratsiit

Pruunsüsi

- Briketeeritud pruunsüsi
- Ligniit

Põlevkivi

- Tükiline põlevkivi
- Põlevkivipoolkoks
- Põlevkivikoks

Turvas

- Turbabrikett
- Tükkturvas
- Puisteturvas
- Turbapoolkoks
- Turbakoks

Asfalt

Parafiin

Urotropiin ehk kuivpiiritus

Metsas kasvavatest puudest ja põõsastest toodetavad tahked kütused

Küttepuit

- Küttepuidu notid, pakud, halud
- Hagu
- Küttepuidu nottidest valmistatud hakmed
- Raiejäätmete hakmed
- Kogupuu hakmed
- Puusüsi (nt grillsüsi)

Vaik

Tõrv

Käbid

Sae-, plaadi-, mööbli- ja tselluloositööstuse jäätmetest tahked kütused

- Puukoor
- Saepuru
- Saetööstuse hakmed (kasutatakse peamiselt tselluloosi toormena, vähemal määral energeetikas)
- Küttepinnud (laudade servamisjäägid)
- Tükilised mõõtulõikamise jäägid (prussi-, laua-, lipi-, plaadi- ja liistujupid, klotsid, tükid)
- Praakmaterjal
- Höövlilaast

Teiste sektorite puitjäätmed

- Lammutuspuit

Puitjätmetest väärindatud kütused

- Puitbrikett
- Puitgraanulid ehk pelletid
- Hakkpuit

Põllumajandusest saadavad tahked kütused

Õled ehk põhk

Aganad

Teravili

Hein

Silo - Suhkruroog – Köögiviljapealsed - Kartulipealsed

Biomassikultuurid



Taastuvad vedelkütused

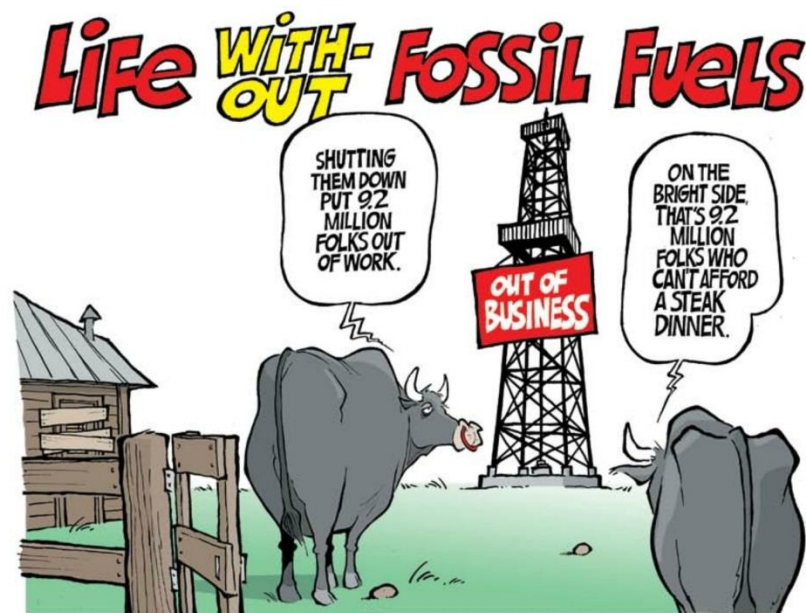
- **Biodiislikütus**
- **Etanool**
 - Piiritus
 - Denatureeritud piiritus
 - Bioetanool
 - Bioetanool E85
- **Metanool** ehk puupiiritus
- Alkoholisegud (erinevate alkoholide sisaldusega segud, koostises peamiselt etanool, propanool ja butanool, mingil määral ka pentanool, heksanool, heptanool ja oktanool)
- Biobutanool
- Biobensiin (vetikatest toodetud heksaani ja dodecaani segu)
- Biodimetüüleeter
- Bio-ETBE (etüül-tert-butüüleeter)
- Bio-MTBE (metüül-tert-butüüleeter)
- **Taimsed õlid** (kütusena kasutatakse peamiselt riknenud või kasutatud õlina või biokütuste toormena)
- **Loomsed õlid**
 - Kalamaksaõli
- **Peedimelass** – võib kasutada edasiseks töötlemiseks biokütuseks
- **Suhkruroomelass** – võib kasutada edasiseks töötlemiseks biokütuseks
- **Õllepraak** - võib kasutada edasiseks töötlemiseks biokütuseks
- **Piiritusepraak** - võib kasutada edasiseks töötlemiseks biokütuseks
- **Must leelis** (kasutatakse kütusena peamiselt tselluloositööstuse omatarbeks)
- **Ligniin** (kasutatakse kütusena peamiselt tselluloositööstuse omatarbeks)
- Tökat
- **Puiduõlid**
- **Tärpentiin** (on kasutatud ajalooliselt mootorikütusena sõjaaegse mootorikütuste defitsiidi korral)

Fossiilsed ja taastuvad gaaskütused



- Maagaas
- Naftagaas ehk kõrvalgaas
- Kildagaas
- Metaan
- Etaan
- Atsetüleen
- Propüleen
- Metüülatsetüleen-propadieen
- Etüleen
- Propaan
- Butaan
- Heksaan
- Ammoniaak
- Kivisöegaas
- Põlevkivigaas
- Generaatorgaas ehk veegaas
- Kõrgahjugaas
- Vesinik

Biogaas
Prügilagaas
Biometaan
Puugaas
Biovesinik
Väävelvesinik
Ammoniaak
Süsinikmonooksiid ehk vingugaas
Dimetüüleeter ehk metoksümetaan





Biomass. Mõisted

- **Biomass** – bioloogilist päritolu materjal v.a see, mis on kinnistunud geoloogiliste formatsioonide käigus ja muutunud fossiilseks.
- Biomassiks loetakse põllumajanduse, metsanduse ja nendega seotud tööstusharude tooteid, jäätmeid ja jääke (s.h taimne ja loomne aines), nagu ka tööstuslike ja olmejäätmete biolagunevat osa [EL, Eesti Elektrituru seaduse kontekstis - §57 (2)] .



Mõisted II

- **Biomass** (US) – Any organic matter that is available on a renewable or recurring basis, including agricultural crops and trees, wood and wood residues, **plants (including aquatic plants)**, **grasses**, animal residues, municipal residues, and other residue materials.
- Biomass is generally produced in a sustainable manner from water and carbon dioxide by photosynthesis.
- There are three main categories of biomass - primary, secondary, and tertiary.
(USAs kasutatav definitioon).



Mõisted III

- **Biokütus** – biomasskütus. Kütus mis on toodetud otseselt või kaudselt biomassist.
- Biomass enne kütuseks muundamist võib olla eelnevalt läbinud mehaanilise, termilise, keemilise või biokeemilise töötuse või eelneva kasutuse (nt tekkinud biojäätmel, kääritusjäät, lammutuspuit).
- Biokütuse hulka kuuluvad nii tahked, vedelad kui gaasilised biomasstoormest saadud (biomassi põhised) kütused.
- **Biogaasi** saadakse orgaaniliste jäätmete (põllumajanduslikud, tööstuslikud ja tahked olmejäätmed, mudad/setted) anaeroobsel kääritamisel. Siia kuulub ka prügila gaas (*landfill gas*). Siia kuulub ka biosüngaas-saadakse biomassi termilisel lagundamisel.



Mõisteid IV

- A **biofuel** is a fuel that contains energy from geologically recent carbon fixation. These fuels are produced from living organisms. Examples of this carbon fixation occur in plants and microalgae.
- These fuels are made by a biomass conversion (biomass refers to recently living organisms, most often referring to plants or plant-derived materials).
- This biomass can be converted to convenient energy containing substances in three different ways: thermal conversion, chemical conversion, and biochemical conversion. This biomass conversion can result in fuel in solid, liquid, or gas form.



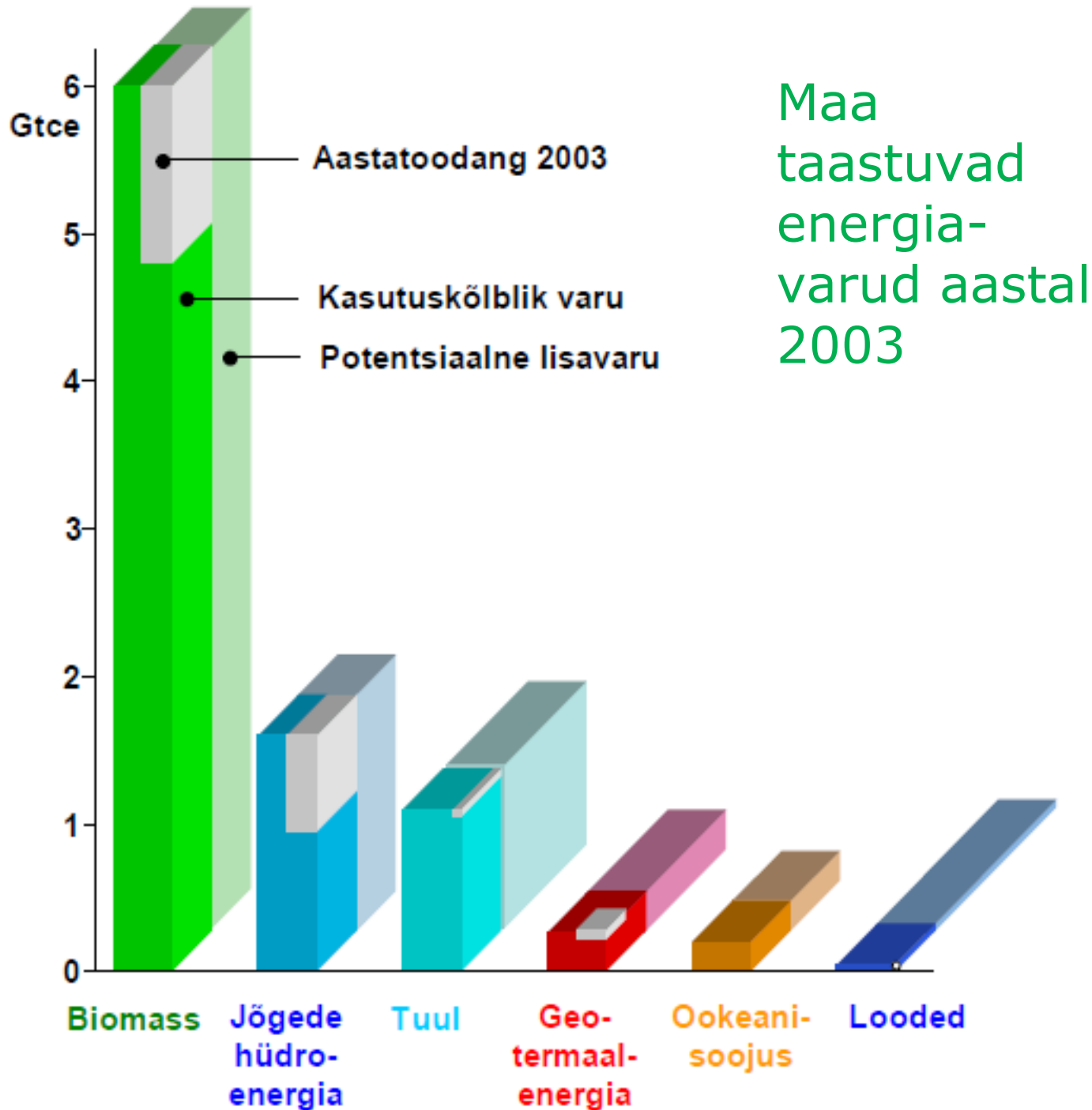
Mõisted V

- **Bioenergia** – biokütuste muundamisel saadav energia (orgaanilise aine süsivesinike muundamine energiaks).
- Useful, renewable energy produced from organic matter - the conversion of the complex carbohydrates in organic matter to energy. Organic matter may either be used directly as a fuel, processed into liquids and gases, or be a residual of processing and conversion (USA).
- <http://www.ttu.ee/ttu-uudised/uudiskiri/juuni-2012/energeetika-otsapidi-tuleviku-biomajanduse-kuljes-2/>



Maa energiabilanss. Biomass

- Suhteliselt väikese koguse energiat (**6 ZJ** ehk ligikaudu 10^{-4} % Maale tulevast päikesekiirgusest) haaravad fotosünteesiks maa- ja veetaimed (esimesed ligikaudu 2 ZJ, teised ligikaudu 4 ZJ). Osa sellest tagastavad taimed soojuskiirgusena atmosfääri, osa salvestavad aga **biomassinä**.
- Maapõues või merepõhjas võib surnud biomass aeglaselt muunduda fossiilkütusteks.
- Osa taimede biomassist tarbivad taimetoiduna elusolendid, kes tarbitud energia samuti osalt soojusena atmosfääri või hüdrosfääri eraldavad, osalt aga omaks biomassiks muundavad, mis samuti võib hiljem salvestuda fossiilkütusena.
- Puiduna, turbana ja väga väikesel määral ka fossiilkütustena salvestub aastas käesoleval ajal ligikaudu 0,4 ZJ energiat.



Olulisim taastuv ehk uuenev energiaallikas energiatootmises on Euroopa Liidus ja ka kogu maailmas seniajani biomass. Selle osakaal kõigist taastuvatest energiaallikatest ELis moodustab praegu veidi üle 68 protsendi.



MÕNINGAID ANDMEID BIOMASSIST

Elusmaterieeria globaalne mass (kaasa arvatud niiskus) – 2000 miljardit tonni.

Maismaa taimede globaalne mass - 1800 miljardit tonni.

Globaalne metsade biomass – 1600 miljardit tonni.

Maismaa biomassi elaniku kohta – 400 tonni.

Maismaa biomassis salvestatud energia – 6 950 PWh

Maismaa biomassi aastane juurdekasv – 400 000 miljonit tonni.

Maismaa biomassi juurdekasv võimsuse ühikutes – 95 TW.

Biomassi globaalne tarbitav võimsus – 1,7 TW.

Biomass - biokütuste tooraine



- Biomass on maailmas neljas suurem energiaallikas peale kivisütt, naftat ja maagaasi.
- Biomass atraktiivsusel on kolm peamist põhjust:
- Taastuv allikas (ressurss), mida saab kasvatada kestlikult,
- Arvestatav positiivne keskkonnamõju, sest vähendab KHG, NO_x ja SO_x emissioone, võrreldes fossiilkütuste kasutamisega.
- Omab suurt majanduslikku potentsiaali, kui fossiilkütuste hinnad tõusevad.
- Siiski on ka negatiivseid mõjusid:
- Põlemisel tekivad polütsüklilised aromaatsed süsivesinikud (PAH), dioksiinid, furaanid, lenduvad orgaanilised ühendid (VOC) ja raskmetallid, eriti otsepõletamisel (traditsioonilisel viisil ahjudes, kaminates).



Biomass - raske tooraine

- Biomassstooraineid iseloomustab nende tohutu mitmekesisus, mille tõttu on neid üsna raske tervikuna iseloomustada.
- Orgaanilist materjali mida saab kasutada koos muundamise protsessides toimetatakse praegu paljuski prügilasse või jäetakse tekkekohta. Nendeks on metsa- ja puidutööstuse jäätmed, põllumajanduskultuuride jäägid, olmejäätmete biolagunev osa, paber, papp, bioplast, toidujäätmed, aia ja pargijäätmed ja muud jäätmed.
- Mittebiolagundatavad orgaaniliste lähteainete, nagu enamik plastist, ei ole biokeemilistes protsessides lagundatavad.
- Biopõhised materjalid nõuavad keemilist, füüsikalist või bioloogilist eeltöötlust, et lagundada biomassi struktuuri.



Biomassi kui biokütuste lähtematerjali peamised kategooriad I

1. Puitmaterjal metsast (*Forest products*):

- – Kogupuu (*Wood*)
- – Raiejäätmel (*Logging residues*)
- – Puud, põõsad ja puitjäätmel (*Trees, shrubs and wood residues*)
- – Saepuru, koor jm (*Sawdust, bark, etc.*)

2. Biolagunevad jätmed (*Biorenewable wastes*):

- – Põllumajandusjätmed (*Agricultural wastes*)
- – Põllukultuuride jätmed (*Crop residues*)
- – Saeveski jätmed (*Mill wood wastes*)
- – Aia ja pargijätmed (*Urban wood wastes*)
- – orgaanilised olmejätmed (*Urban organic wastes*)



Biomassi kui biokütuste lähtematerjali peamised kategooriad II

3. Energiakultuurid (*Energy crops*):

- – Kiirekasvulised puittaimed (*Short rotation woody crops*)
- – Puituvad rohttaimed (*Herbaceous woody crops*)
- – Heintaimed (*Grasses*)
- – Tärklist sisaldavad taimed (*Starch crops*)
- – Suhkrut sisaldavad taimed (*Sugar crops*)
- – Söödakultuurid (*Forage crops*)
- – Õlikultuurid (*Oilseed crops*)

4. Veetaimed (*Aquatic plants*):

- – Mikrovetikad (*Algae*)
- – Merevetikad (*Water weed*)
- – Vesihüatsint (*Water hyacinth*)
- – Pilliroog ja kõrkjad (*Reed and rushes*)



Biomassi kui biokütuste lähtematerjali peamised kategooriad III

5. Toiduviljad (*Food crops*):

- – Teraviljad (*Grains*)
- – Õliviljad (*Oil crops*)

6. Suhkrutaimed (*Sugar crops*):

- – Suhkruroog (*Sugar cane*)
- – Suhkrupeet (*Sugar beets*)
- – Siirup e melass (*Molasses*)
- – Sorgo (*Sorghum*)

7. Prügilajäätmed (*Landfill*)

8. Orgaanilised tööstusjäätmed (*Industrial organic wastes*)

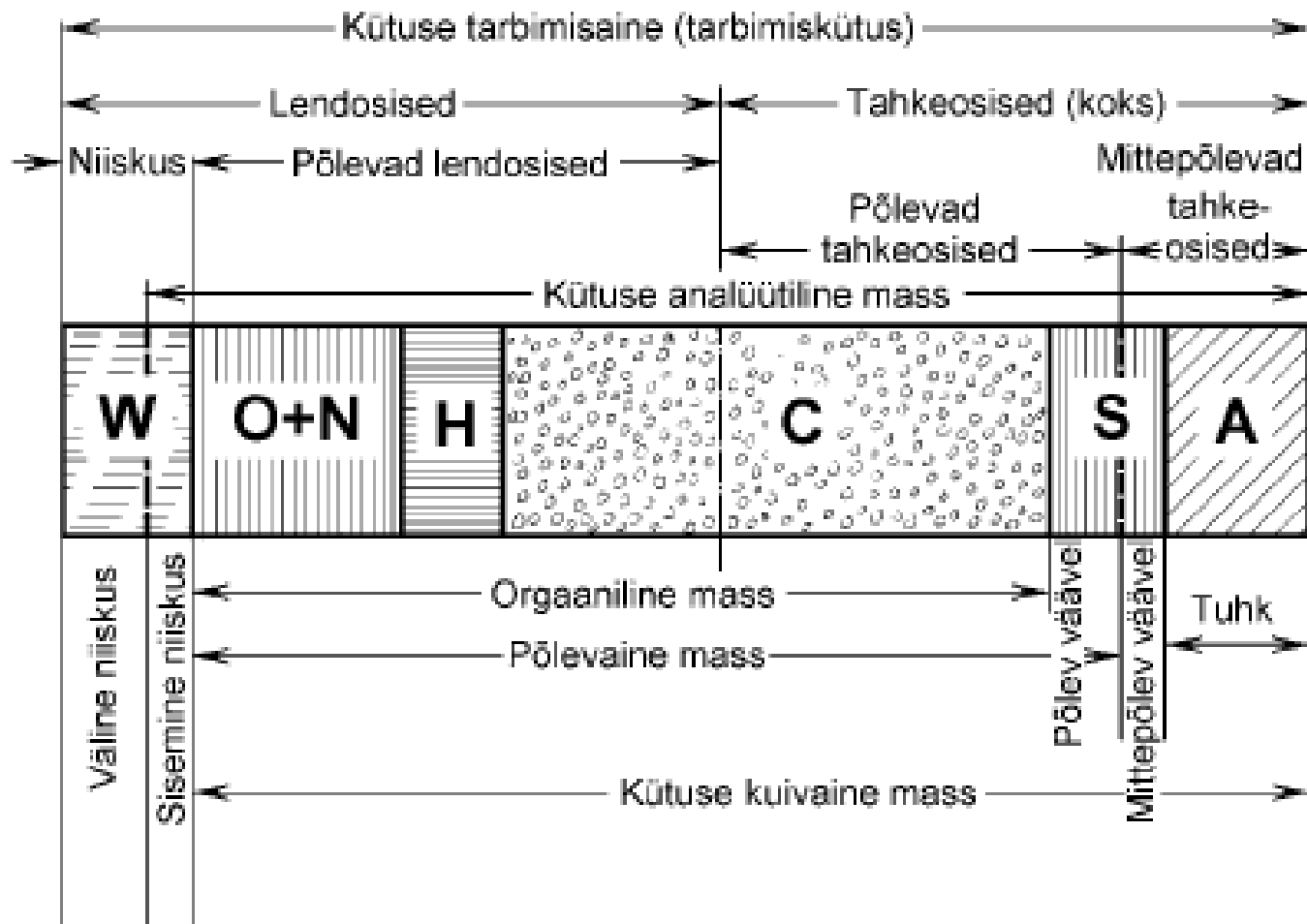
9. Vetikad, pruunvetikad, samblikud ja samblad (*Algae, kelps, lichens and mosses*).



Omadused (niiskus, tuhasus, kütteväärtus, elementkoostis, tuha sulamise karakteristikad) ning nende omavaheline võrdlus.

- Kõik puit- ja teised enne käsitletud biokütused ning turvas kuuluvad tahkete kütuste hulka, mis koosnevad põlevosast ja ballastist.
- Ballasti moodustavad tuhk ja niiskus. Tuhk ja põlevosa kokku (ilma niiskusest) moodustavad kütuse kuivaine.
- Tehniline analüüs (*proximate analys*) – füüsikalised-tehnilised parameetrid.
- Keemiline analüüs (*ultimate analys*) – keemiline koostis.

Kütuse koostis



- Kütus koosneb põlev- ja mineraalosast ning niiskusest.
- Tarbijale saabuvat kütust nimetatakse tarbimiskütuseks.
- Kütuse tarbimisaine koostis:

$$C^t + H^t + O^t + N^t + S_o^t + S_p^t + A^t + W^t = 100\%$$



Keemiline koostis – keemiline analüüs

- **Element(aar)koostis**
 - – Süsinik (C), vesinik (H) ja lämmastik (N)
 - – Väävel (S), kloor (Cl), fluor (F) ja broom (Br)
 - – Täielik analüüs sisaldab tuha ja niiskuse sisalduse, lendosade ja koksi määramist.
- Keskkonna seisukohast on olulised väävel, kloor ja raskemetallid.
- Kõrge leeliste (-metallide) sisaldus nagu kaalium (K), naatrium (Na) ja kloor (Cl - halogeniid) võib põhjustada korrosiooni ja šlakkumist (auru)kateldes ehk soojusjõuseadmetes.
- **Makro- ja mikroelemendid** (mg/kg kuivaine)
 - – Makroelemendid; (Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na ja Ti)
 - – Mikroelemendid; (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V ja Zn).

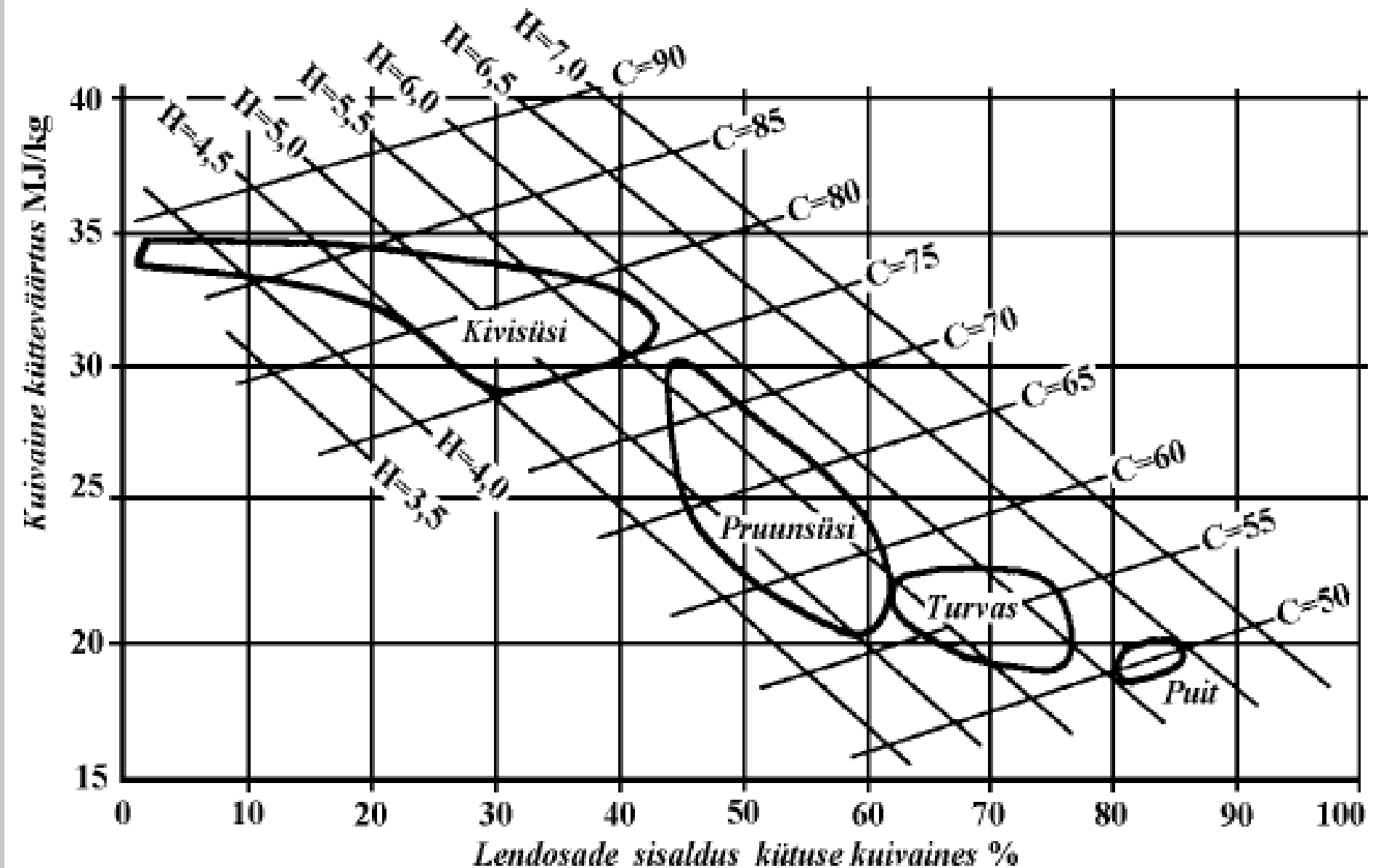


Huumuskütuste põlevaine elementkoostis sõltuvalt kütuse geoloogilisest vanusest

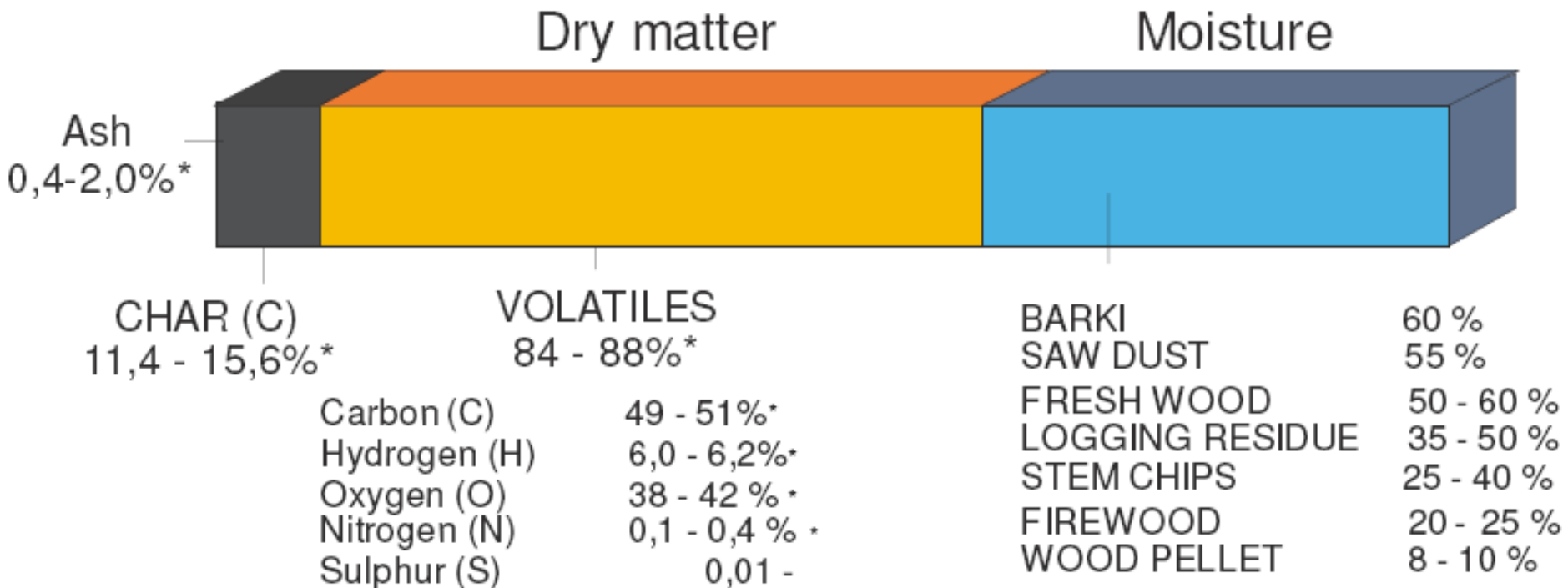
Kütus	Põlevaine koostis %				
	C ^p	H ^p	O ^p	N ^p	S ^p
Puit	50...55	6...7	40...45	0,5	0,05
Turvas	55...60	6...7	30...35	2...3	0,4...0,6
Pruunsüsi	64...77	4...6	15...25	0,8...1,5	0,3...8
Kivisüsi	75...90	4...6	3...16	0,5...3	1...3
Antratsiit	90...93	2...4	2...4	1...2	0,5...2
Põlevkivi	60...80	7...10	8...20	0,1...2	2...15

- Huumuskütused on tekkinud soostunud maismaal kõrgematest taimedest. Huumuskütuste (humiitide) tekkerida võiks olla järgmine:
- maismaataimed → turvas → pruunsüsi → kivisüsi → antratsiit .

Tahkete kütuste võrdlus, süsiniku (C) ja vesiniku (H) sisaldused kütustes



Puidu (keemiline) koostis



* proportion in dry matter (d), %



Eija Alakangas

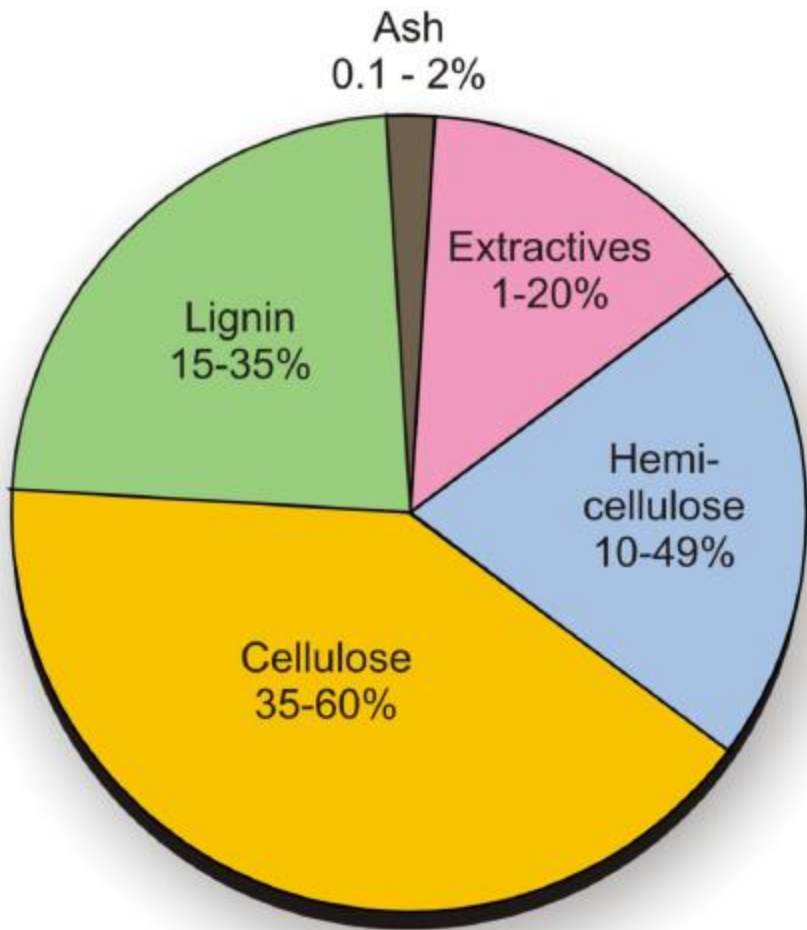
- Kloori sisaldus (Cl) värskes puidus on $< 0,05w\%$ kuivaines.
- Tavaliselt mineraalainete sisaldus väiksem kui $1w\%$ (massiprotsent) kuivaines.
- Kõige olulisemad: kaalium (K), magneesium (Mg), mangaan (Mn), kaltsium (Ca), väävel (S), kloor (Cl), fosfor (P), raud (Fe), alumiinium (Al) ja tsink (Zn).



Biomassi suhteline elementkoostis

	Leelis- metallid	Räni	Kloor	Väävel	Tuhk
Põhk, rohi	Kõrge	Kõrge	Kõrge	Kõrge	Kõrge
Koor, kestad	Keskmine	Madal	Madal	Madal	Keskmine
Puuvilja- kivid	Madal	Keskmine	Keskmine	Keskmine	Madal
Puit	Madal	Kõrge	Madal	Madal	Keskmine

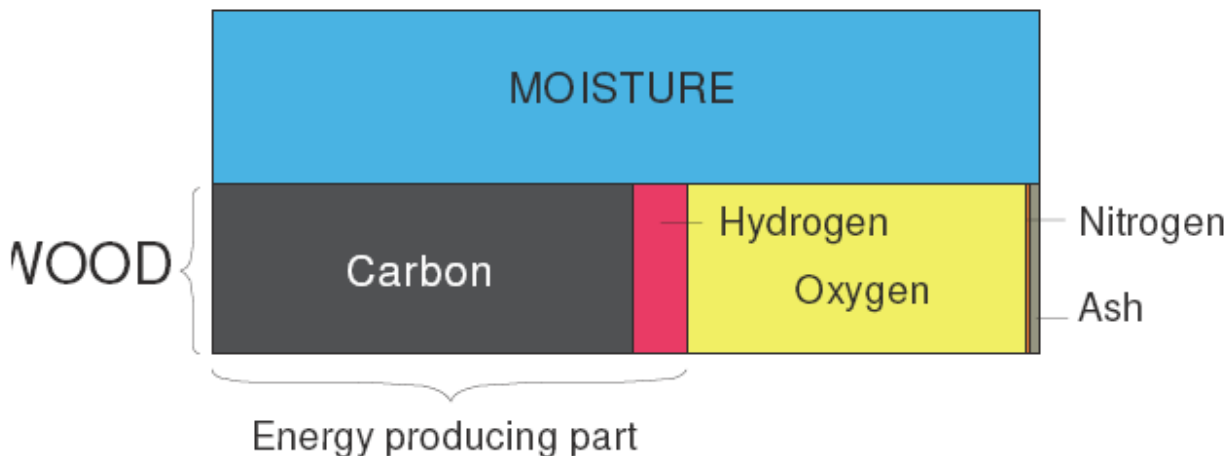
Puidu koostisosad



- Tselluloos (40–50 %)
- Ligniin (20–30 %)
- Hemitselluloos (20–30 %)
- lisaained e ekstratiivained (1–3 %, vihmametsapuudel kuni 15 %) - rasvad, tärklis, sahharoos, valgud, fenoolid, vaha, parkained (ainult lehtpuudel), sterool, vaik, tärpentin
- Tuhk (0,1–0,5 %, vihmametsapuudel kuni 5 %)

Ligniin sisaldab palju süsinikku ja vesinikku – energiat andev.

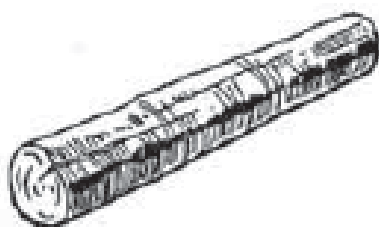
Ligniini sisaldus suurem okaspuudes (pehme puit – *soft wood*) kui lehtpuudes (kõva puit – *hard wood*).



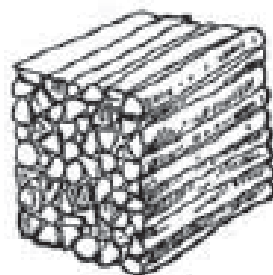
Ümarpalgi, halupuude ja hakkpuidu üleminekutegurid

Assortments	Round-wood	One-meter log woods	Chopped log woods		Wood chips	
			stacked	bulked	fine (G30)	medium (G50)
	m ³	stacked m ³	stacked m ³	bulk m ³	bulk m ³	
1 m ³ roundwood	1	1.4	1.2	2.0	2.5	3.0
1 stacked m ³ one-meter log woods	0.7	1	0.8	1.4	(1.75)	(2.1)
1 stacked m ³ chopped log woods	0.85	1.2	1	1.7		
1 bulk m ³ chopped log woods	0.5	0.7	0.6	1		
1 bulk m ³ forest chips fine (G30)	0.4	(0.55)			1	1.2
1 bulk m ³ forest chips medium (G50)	0.33	(0.5)			0.8	1

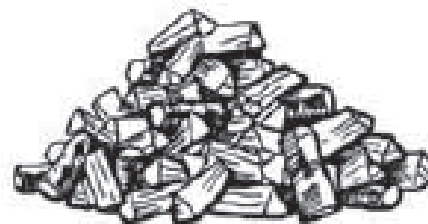
Note: 1 ton of wood chips G30 with M 35% corresponds to around 4 bulk m³ of spruce wood chips and 3 bulk m³ of beech wood chips.



1 m³ roundwood ≈



1.4 stacked m³
one-meter log woods ≈



2 bulk m³ chopped
log woods ≈



3 bulk m³ forest
chips medium (G50)

Tahkete biokütuste elementkoostise võrdlus

Kütus	C	H ₂	S	N	Cl	Na	K
Pilliroog, kevadine	45–49	5.3–5.8	0.04–0.13	0.65–1.1	0.04–0.09	<0.03	0.3–0.5
Pilliroog, sügisene	44.6– 46.7	5.6–5.9	0.06–0.25	0.7–1.1	0.4	< 0.001	1.2–2.3
Energiateravili	45	6.5	0.14	2.0	0.04	0.002–0.005	0.4–1.0
Põhk	45 - 47	5.8–6.0	0.10–0.20	0.4–0.6	0.14–0.97	0.01–0.6	0.69–1.30
Põhupelletid	45 - 47	5.8 – 6.0	0.10–0.20	0.4–0.6	0.14–0.97	0.01–0.6	0.69–1.30
Miscanthus hekseldatud	48	5.5	0.05	0.46	0.7		
Oliivi jäätmed	48 - 50	5.5–6.5	0.07–0.17	0.5–1.5	0.1 (ash)	0	30(ash)
Puit, üldiselt	48 - 52	5,4–6.8	<0.05	0.3–0.5	0.01– 0.03	0.001–0.02	0.02 - 0.4

Omadused antud kuivaine massiprotsentides w-%

Kütuse niiskus



Väline niiskus		Sisemine niiskus (kolloidne)	Hüdraatniiskus (kristallvesi)
Pindmine niiskus	Kapillaarniiskus		
Eraldub õhu käes kuivatamisel temperatuuril 20...30 °C		Eraldub kuivatamisel temperatuuril üle 100 °C	Eraldub temperatuuril üle 500 °C

- Kõik tahked kütused on võimelised endaga siduma teatud koguse niiskust kas keemiliste või füüsikalis-keemiliste jõudude abil.
- Kütuse niiskuse võib jagada väliseks ehk mehaaniliseks ja sisemiseks ehk kolloidseks niiskuseks.
- Väline niiskus paikneb kütuseosakeste pinnal (pindmine niiskus) ja poorides ning kapillaarides.
- Väline niiskus satub kütusesse pinna- ja põhjaveest ning atmosfäärist kütuse tootmisel, transpordil ja hoidmisel. Välist niiskust saab kütusest eemaldada õhus kuivatamisega.
- Sisemine niiskus on seotud kütuse orgaanilise ainega, sõltub kütuse koostisest ja ka vanusest. Kütuse kuumutamisel üle 100 °C eraldub sisemine niiskus täielikult.
- Kütuses esineb vett ka kristallvee ehk hüdraatvee näol, mis eemaldub kütuse kuumutamisel üle 500 °C, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.



Kütuse niiskus

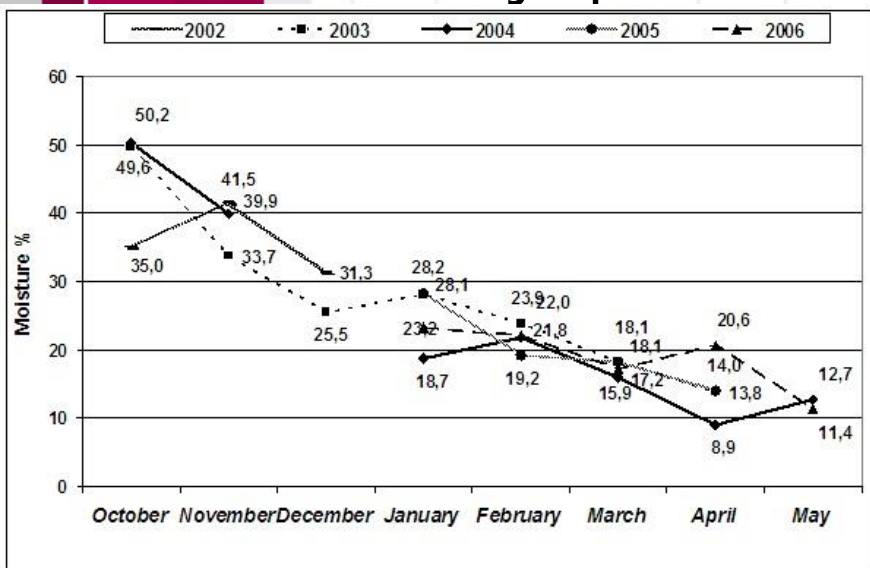
- Niiskus on kütuse kahjulik lisand, mis põhjustab lisakulusid nii transpordil kui ka ladustamisel.
- Niiskuse suurenedes väheneb tarbimiskütuse põlemisel vabanev soojushulk, mis on tingitud nii põlevaine vähenemisest kui ka niiskuse aurustamiseks kulutatud soojus.
- Tahketes kütustes kõigub tarbimisaine niiskus väga suurtes piirides – mõnest protsendist kuni 60%-ni. Suure niiskuse sisaldusega kütused on puit, turvas ja pruunsüsi.
- Vedelkütuste niiskuse sisaldus jääb mõne protsendi piiridesse. Gaasilistes kütustes esineb niiskus veeauruna, mis väljendatakse grammides 1 m³ gaasi kohta.

Puitkütuse niiskus



Niiskus ehk niiskuse sisaldus (M)

- – Puitkütused tavaliselt märjad (niisked) v.a puitpelletid ja –briketid.
- – Niiskus mõjutab kütteväärtust.
- – Tervisemõjud (hallitus, kõdunemine, seened).
- – Niisket kütust raskem (ka ebaökonomsem) transportida (voolavus, talvel jäätumine).
- – Isesüttimise risk.
- – Mõju puistetihedusele.





Kütuse mineraalosa ja tuhk

- Kütuse mineraal- ehk mitteorgaaniliseks osaks nimetatakse kütuses sisalduvat algainet, milles (põlemisel) koldeprotsessis tekivad tuhk ja räbu.
- Mineraalosa mõiste on teataval määral tinglik, kuna mineraalosa võib kütuses esineda iseseisvate väliste lisanditena (erinevate mineraalidena) nn välimise mineraalosana, aga ka kuuluda sisemise mineraalosana orgaanilis-mineraalsete ainete kompleksi.
- **Sisemine** mineraalosa ei ületa harilikult 2...5% kütuse massist ja on küllaltki ühtlaselt jaotunud kogu kütuse orgaanilises osas.
- Kütuse põlemisel aga moodustuvad hästi peened tuha fraktsioonid.
- **Välimine** mineraalosa koosneb harilikult mineraalidest, mis on iseloomulikud antud kütusebasseini (kaevanduse) geoloogilistele kivimitele ning sisaldavad üldjuhul suuri kivimite tükke.
- Kütuse mineraalosa iseloomustatakse selle keemilise ja mineraloogilise koostise kaudu.

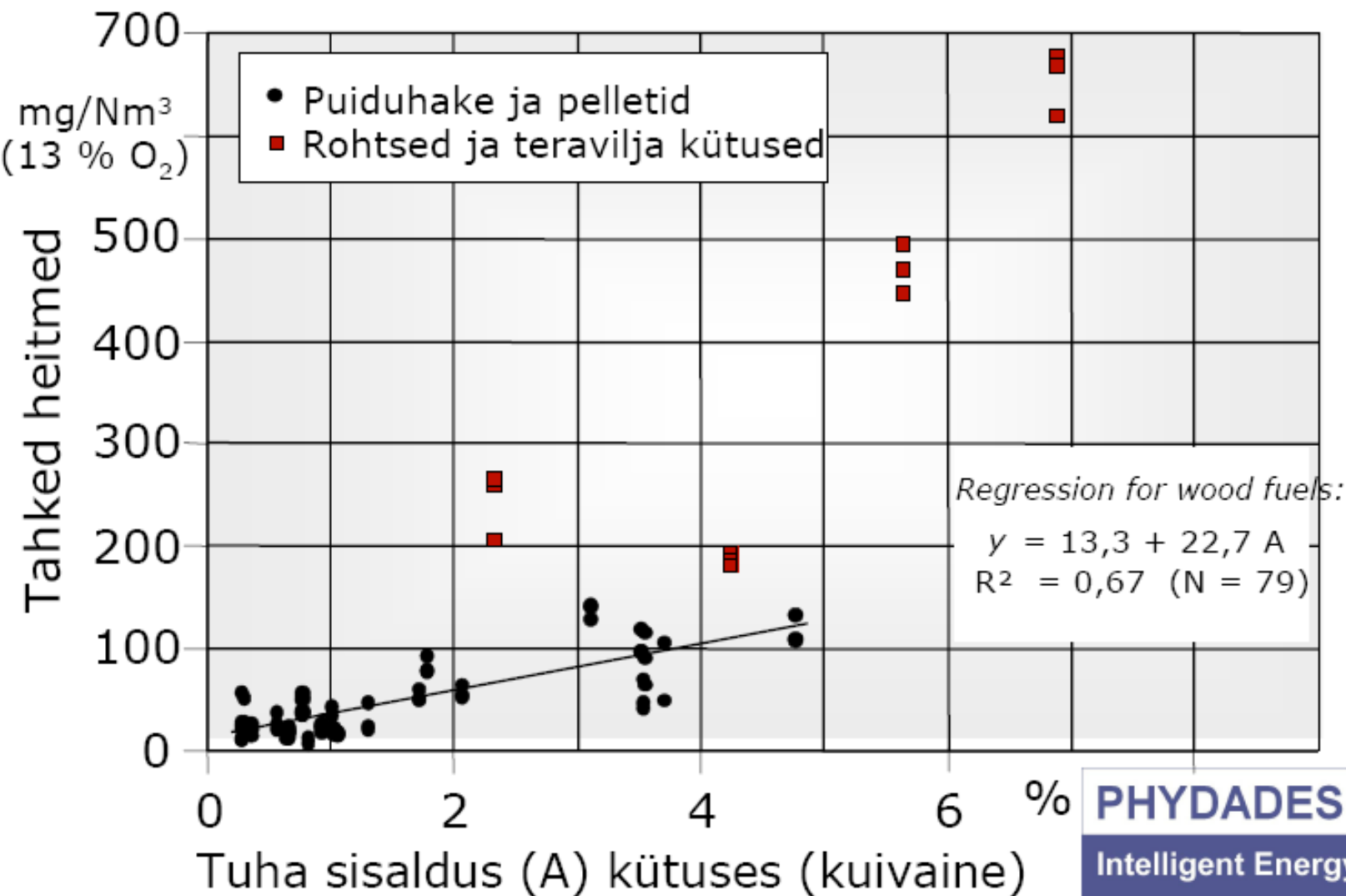
Tuhasus (tuha sisaldus)



Tuhasus e tuha sisaldus (A)

- – Tähtis põlemise ja tuhakäitluse seisukohast.
- – Põhjamaade puuliigid vähese tuhasusega, Lõuna-Euroopa puuliikidel suurem tuhasus.
- – Lisandid nagu liiv, pinnas ja kemikaalid kuuluvad tuhka.
- – Suurtes kateldes probleemid, kui tuhasus ületab 3w-% ja väikekateldes probleemid kui tuhasus ületab 0,5w-%.
- – Tuha koostis mõjutab samuti põlemist ja tuha taaskasutust.

Tuhasuse mõju tahketele heitmetele, 49 kW hakkpuidukatel



PHYDADES

Intelligent Energy

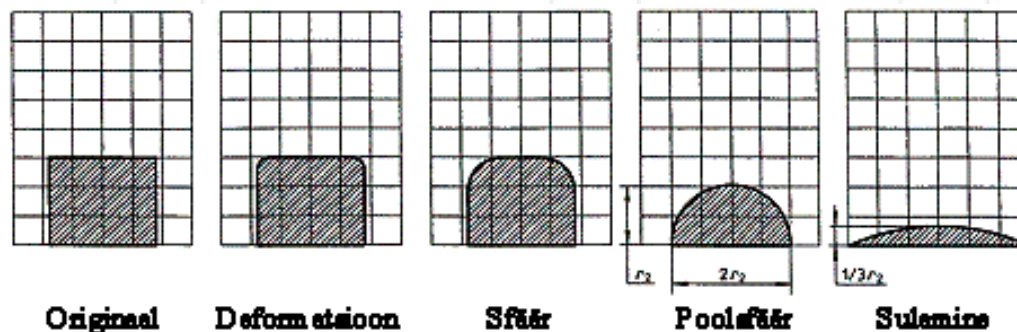


Europe

Tuha sulamise karakteristikad



- Tuha sulamiskarakteristikute määramine toimub kõrgetemperatuurilises elektriahjus vastavate standardite (ISO 540, GOST 2057-82, ASTM D 1857) alusel.
- Meetodi olemus seisneb tuhast proovikeha kuumutamises kindlaks määratud keskkonnas (oksüdeeriv või taandav) ja proovikeha kuju iseloomulikele muutustele vastavate temperatuuride fikseerimises.
- Tuhast proovikehade jälgimisel kasutatakse kas otsest visuaalset või mikroskoopilis-fotograafilist meetodit.





Tuha sulamise karakteristikad

- Deformatsiooni (alguspunkt) temperatuur IT – koonuse tipp või tableti servad ümarduvad – puidutahal: 1150-1490°C;
- Pehmenemistemperatuur ST –koonus vajub kokku – puidutahal: 1180-1525°C;
- Hemisfääriline e poolsfääri moodustamise (punkt) temperatuur HT, koonus (tablett) vajub poolkeraks – puidutahal: 1230-1650°C;
- Voolamistemperatuur FT, vedel tuhk valgub laiali – puidutahal: 1250-1650°C.

Tuha sulamine sõltub selle mineraalsest koostisest ja juba väikesed erinevused koostises võivad oluliselt muuta sulamiskarakteristikaid.



Kütuse lendosised ja koks

- Tahkekütuse kuumutamisel toimub kütuse termiline lagunemine (laguneb orgaaniline osa), mille tulemusena eralduvad gaasilised produktid – kütuse **lendosised**.
- Lendosiste hulk sõltub suuresti kütuse vanusest, vähenedes selle suurenemisega. Seega on kõige väiksema lendosiste sisaldusega kütus antratsiit, suurima lendosiste sisaldusega kütused aga puit, turvas, aga ka eesti põlevkivi.
- Lendosised eralduvad põhiliselt CO_2 , CO , H_2 , metaani (CH_4) ja teiste süsivesinikena. Lendosiste hulgas võib vähesel määral olla H_2S , teisi väävliühendeid ja ka (H_2O).
- Lendosiste eraldumisel järelejäänud tahke mass on **koks**. Koks koosneb põhiliselt süsinikust.

Kütus	Lendosiste sisaldus %	Termilise lagunemise algtemperatuur °C
Puit	80...85	150...160
Turvas	70...80	100...110
Pruunsüsi	40...60	130...170
Kivisüsi	9...60	170...390
Antratsiit	2...9	380...400
Põlevkivi	80...90	250



Kütuse kütteväärtus

- Kütuse kütteväärtus on soojushulk, mis eraldub 1 kg tahke- ja vedelkütuse või normaalkuupmeetri gaaskütuse täielikul põlemisel.
- Kütteväärtuse laboratoorsel määramisel mõõdetakse soojushulk, mis vabaneb kütuse põletamisel kalorimeetrilises pommis.
- Kui põlemisel tekivad veeaur kondenseerub ja vabastab ka kondenseerumissoojuse, siis eralduv soojushulk on ülemine kütteväärtus Q^u MJ/kg.
- Kui aga põlemisel tekivad veeaur ei kondenseeru, siis eralduv soojushulk on väiksem ja seda nimetatakse alumiseks kütteväärtuseks Q^a .



Kütuse kütteväärtus

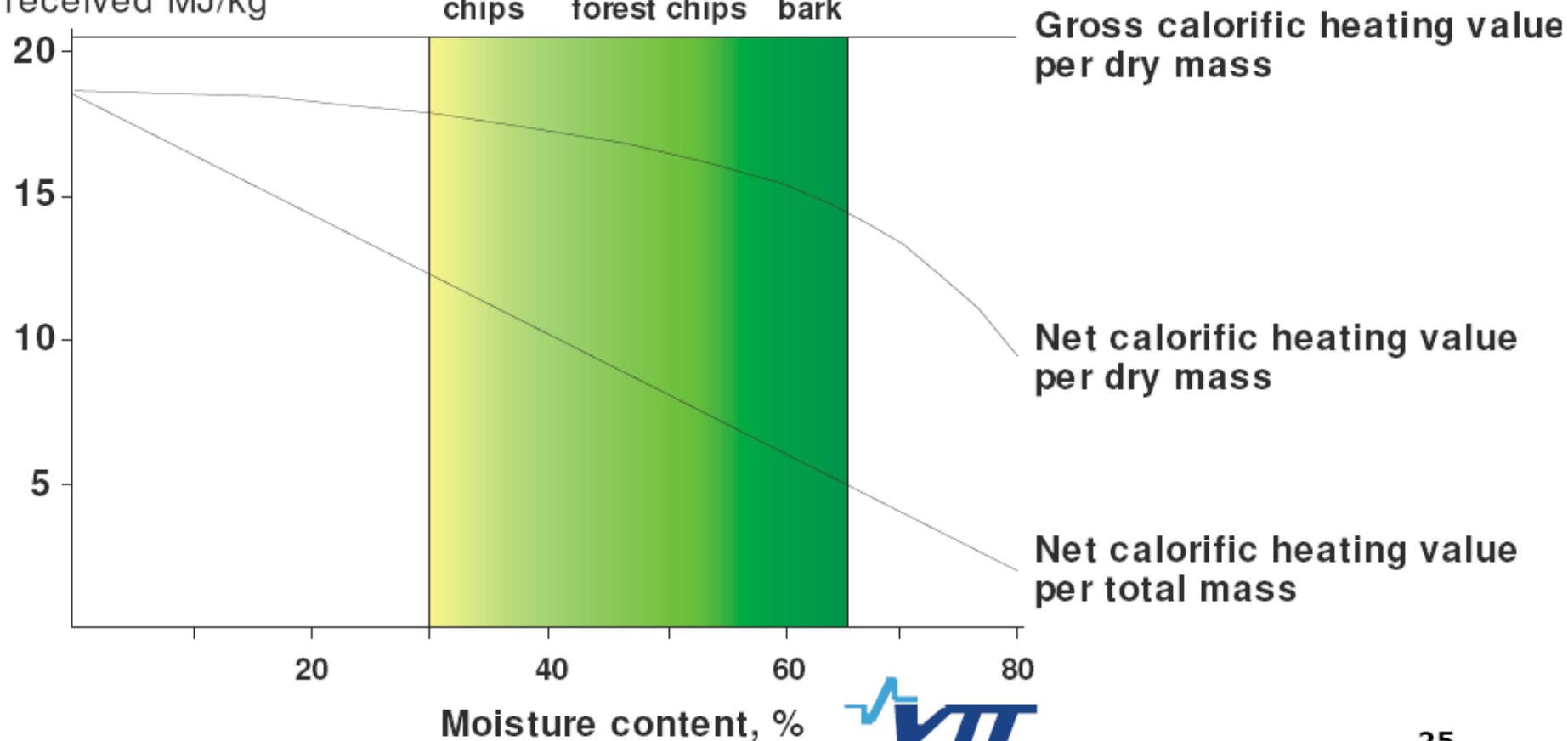
- Praktikas tuleb kasutada (nt katla kasuteguri arvutuses) alumist kütteväärtust, kui põlemisgaasid lahkuvad kondensatsioonkatlast veeauru kondenseerumistemperatuurist kõrgemal temperatuuril.
- Kui põlemisgaasid lahkuvad katlast kondenseerumistemperatuurist madalamal temperatuuril, tuleb kasutada aga ülemist kütteväärtust.
- Kütteväärtus nagu elementaarkoostiski võib olla antud tarbimisaine, kuivaine ja põlevaine kohta.
- Praktikas on levinud iga konkreetse kütuse kohta katseliselt määratud kütteväärtused ehk kütteväärtused kalorimeetrilises pommis.
- Sellest lähtuvalt arvutatakse nii ülemine kui alumine kütteväärtus.



Puitkütuse tarbimisaine alumine kütteväärtus

Net calorific heating value
as received MJ/kg

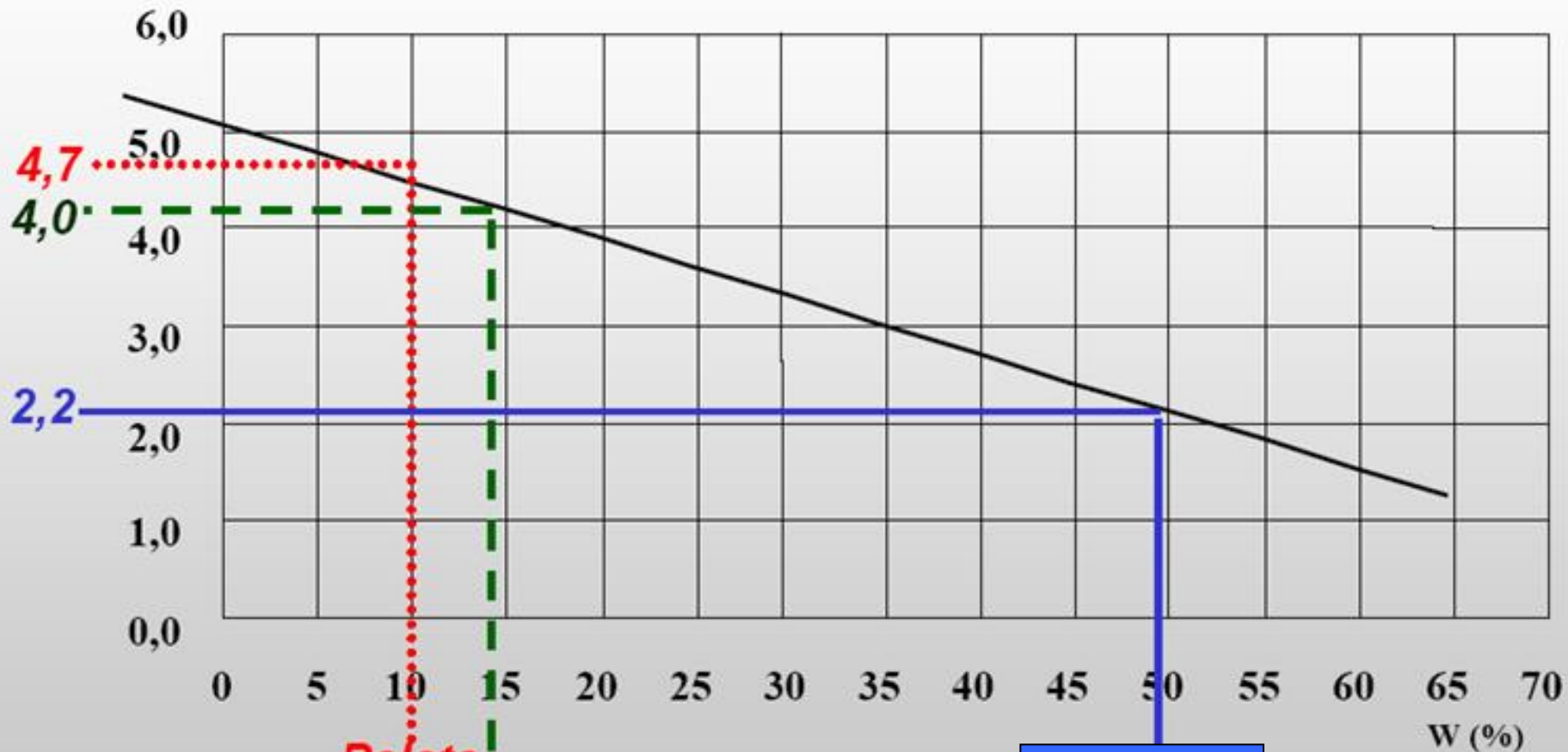
Dry forest chips Fresh forest chips Wet bark



Alumise kütteväärtuse (LHV) sõltuvus niiskusest



PCI (Kwh/kg)

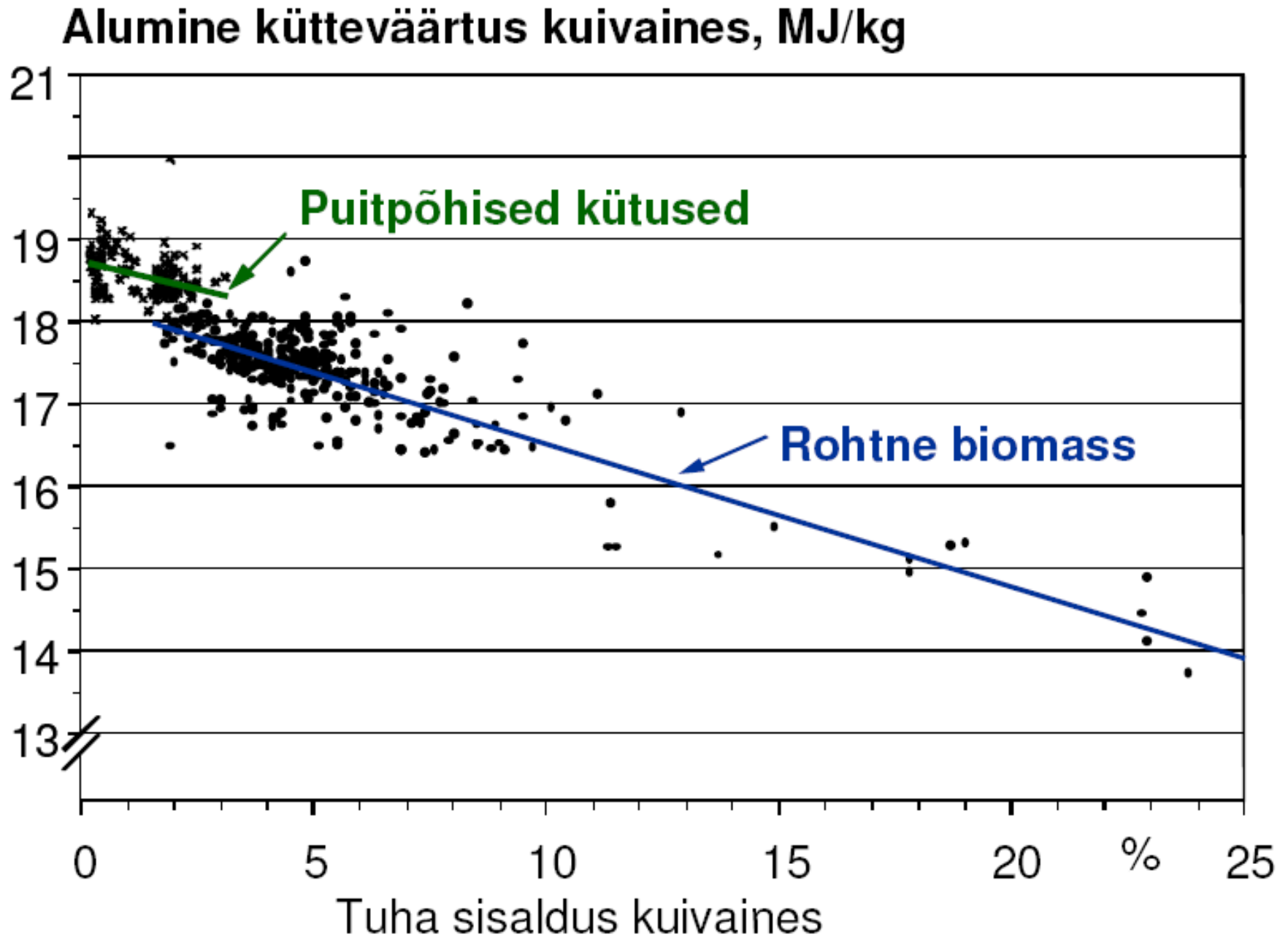


Pelets

2-3 years stored
wood trunks

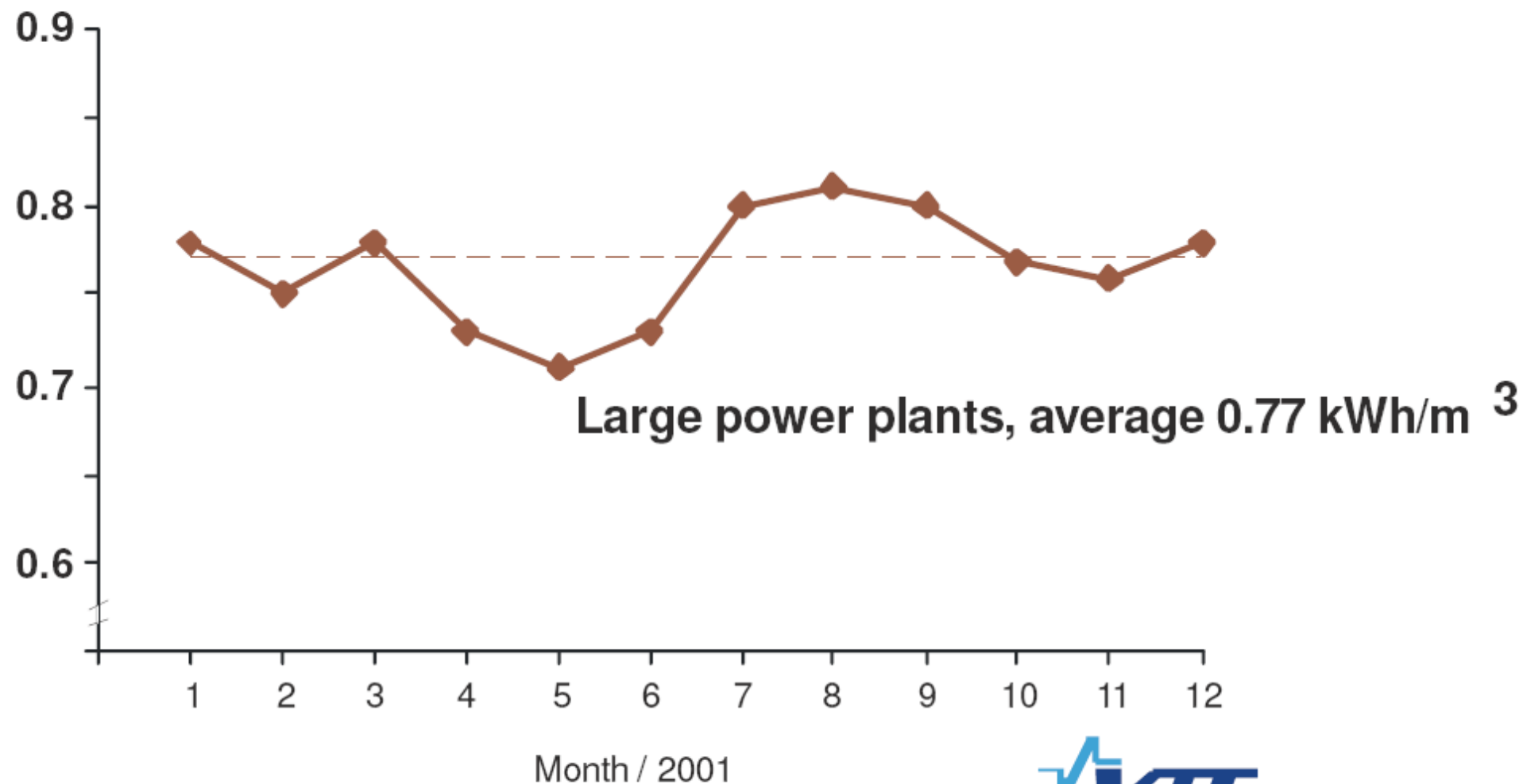
Just cut

Moisture (%)



Saeveskihakke energiasisaldus

Energy density MWh/m³ loose





Mõnede kütuste elementkoostis, kütteväärtus põlemisõhu ja põlemisgaaside kogused, eriheitmed

Kütus	Kütuse kuivaine koostis						Kuivaine alumine kütteväärtus	Teoreetiline põlemisõhu kogus	Teoreetiline suitsugaaside kogus	Teoreetiline kuivade gaaside koostis			Teoreetilised eriheitmed	
	C	H	S	N	O	A	Q_a^k	V^o	V_g	CO ₂	SO ₂	N ₂	CO ₂	SO ₂
	%	%	%	%	%	%	MJ/kg, MJ/m ³	m ³ /kg	m ³ /kg	%	ppm	%	g/MJ	mg/MJ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tahked kütused														
Poola kivisüsi	73,2	4,7	1,0	1,0	9,1	11,0	28,8	7,61	7,94	18,6	940	81,3	93	694
Petšoori kivisüsi	71,2	4,4	0,6	2,2	6,6	15,0	28,7	7,42	7,91	18,5	578	81,4	90	418
Donetski süsi	56,7	4,1	3,45	1,1	9,5	25,1	22,8	6,03	6,33	18,2	4092	81,4	90	3016
Kuznetski süsi	66,7	4,8	0,34	2,2	11,0	15,0	26,2	6,95	7,31	18,53	350	81,4	93	260
Eesti põlevkivi	29,3	3,1	1,6	0,1	18,9	47,1	10,7	2,89	3,19	19,35	3913	80,26	100	2988
Vedelkütused														
Masuut M 40 (Venemaa)	85,3	11,2	2,5	0,2	0,6	0,1	40,5	10,8	11,41	15,8	1712	84,0	77	1231
Masuut M 100	85,5	10,6	2,69	0,2	0,8	0,1	40,2	10,65	11,23	16,04	1869	83,8	78	1339



Mõnede kütuste elementkoostis, küttevärtus põlemisõhu ja põlemisgaaside kogused, eriheitmed II

Kütus	Kütuse kuivaine koostis						Kuivaine alumine kütte- väärtus	Teoreetil ine põlemisõ hu kogus	Teoreeti- line suitsu- gaaside kogus	Teoreetiline kuivade gaaside koostis			Teoreetilised eriheitmed	
	C	H	S	N	O	A	Q_a^k	V^o	V_g	CO ₂	SO ₂	N ₂	CO ₂	SO ₂
	%	%	%	%	%	%	MJ/kg, MJ/m ³	m ³ /kg	m ³ /kg	%	ppm	%	g/M J	mg/M J
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kütteõli N° 6 (USA)	85,7	10,5	2,8	0,2	0,7	0,1	40,1	10,65	11,23	16,06	1941	83,75	78	1395
Kerge kütteõli (Soome)	86,6	13,2	0,3	0,2	0,3	0,0	42,7	11,33	12,06	15,31	198	84,67	73	140
Kütteõli N° 1 (USA)	86,5	13,2	0,1	0,1	0,1	0,0	43,4	11,38	12,1	15,34	66	84,7	73	46
Põlevkiviõli	82,4	9,2	0,62	0,3	7,5	0,2 4	37,6	9,7	10,25	16,83	468	83,1	80	329
Gaaskütused														
Maagaas	73,9	24	0,0	1,5	0,1	0,0	33,6	9,8	10,8	11,75	0	88,3	60	0
Biokütused ja turvas														
Puit	50,4	6,2	0,05	0,5	42,5	0,4	19,1	4,79	5,43	20,0	74	80,0	96	52
Puukoor (mänd)	54,5	5,9	0,05	0,3	37,6	1,7	20,0	5,24	5,83	19,8	67	80,2	99	50
Puukoor (kuusk)	50,6	5,9	0,05	0,5	40,2	2,8	18,6	4,8	5,45	20,1	73	79,9	99	54
Turvas	55,0	5,5	0,2	1,7	32,6	5,0	20,8	5,35	5,90	19,6	263	80,4	96	192
Tükkturvas	49,3	5,2	0,26	2,2	29,6	13, 5	17,9	4,86	5,37	19,4	377	80,6	100	289

Biokütuse toorme tüüpilised omadused võrrelduna kivisöega

<i>Feedstock</i>	<i>Moisture content (%)</i>	<i>Bulk density (kg/m³)</i>	<i>Heating value (LHV) (GJ/t)</i>	<i>Energy density (LHV) (GJ/m³)</i>	<i>Energy content (kWh/t)</i>
Coal (anthracite)	10	870	35	31	9 700
Solid wood	20*	550	15	8	4 200
Wood chips	20*	200	15	3	4 200
Sawdust	10	160	17	3	4 700
Black liquor	25	1 400	12	17	3 400
Wood pellets	10	660	17	11	4 700
Torrefied wood pellets	5	750	21	16	5 800
Pyrolysis oil	25	1 100	17	19	4 700
Straw (baled)	15*	140	15	2	4 200
Organic waste	60	500	7	4	1 200

Osakese tihedus/kütuse puistetihedus

Kütuse tiheduse efektid

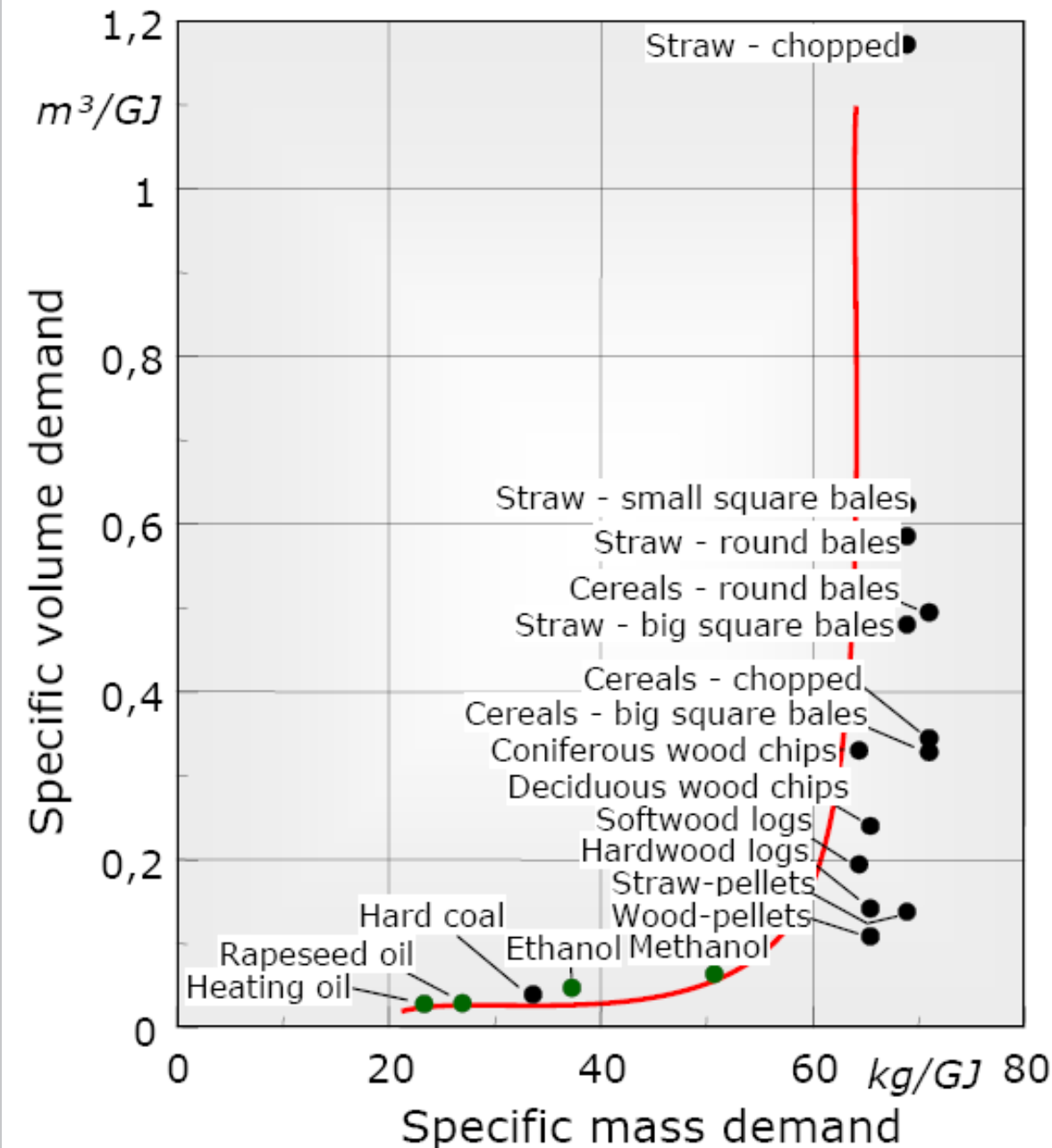
Energiatihedus

Vajalik ruum transpordil ja ladustamisel

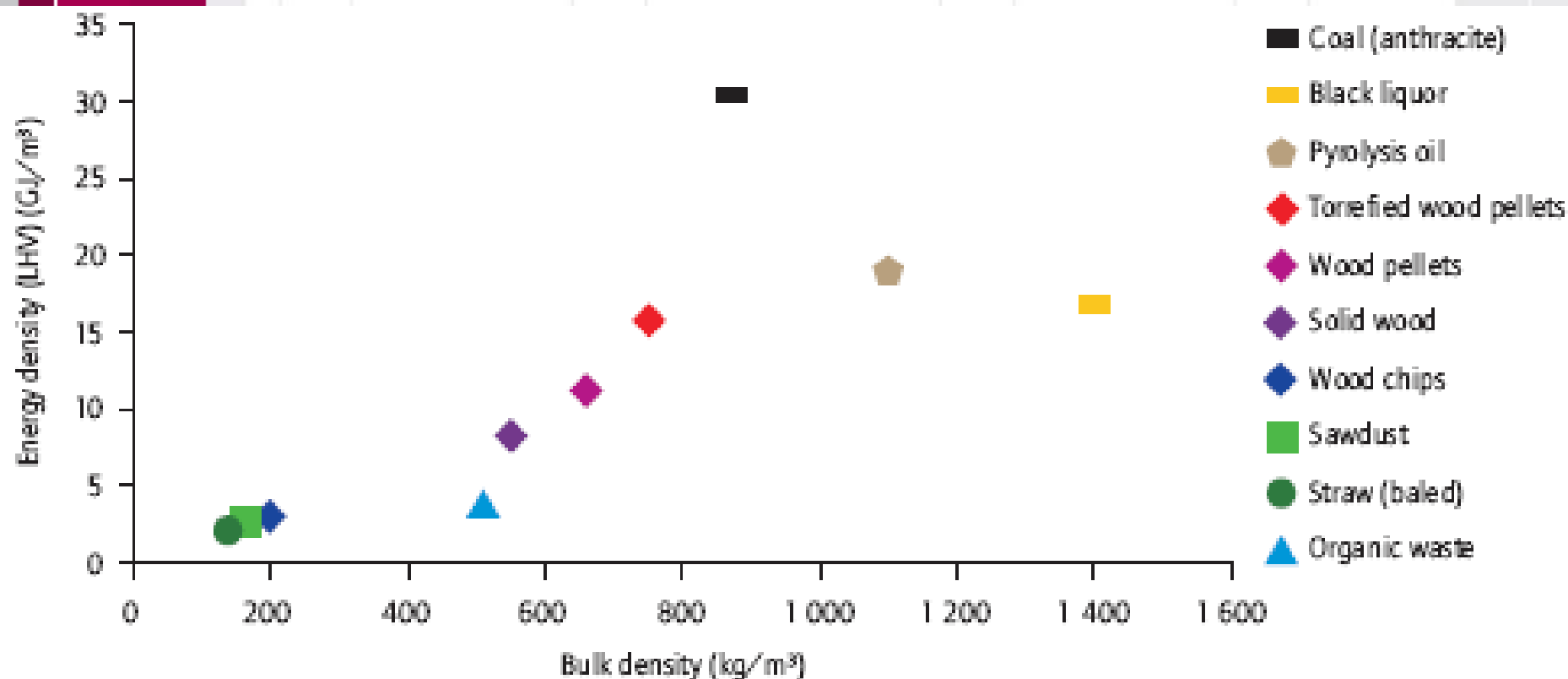
Logistiline planeerimine

Põlemisomadused
(erisoojusjuhtivus,
gaasistumiskiirus)

*(Pressitud materjali
tugevus: Osakese tihedus)*

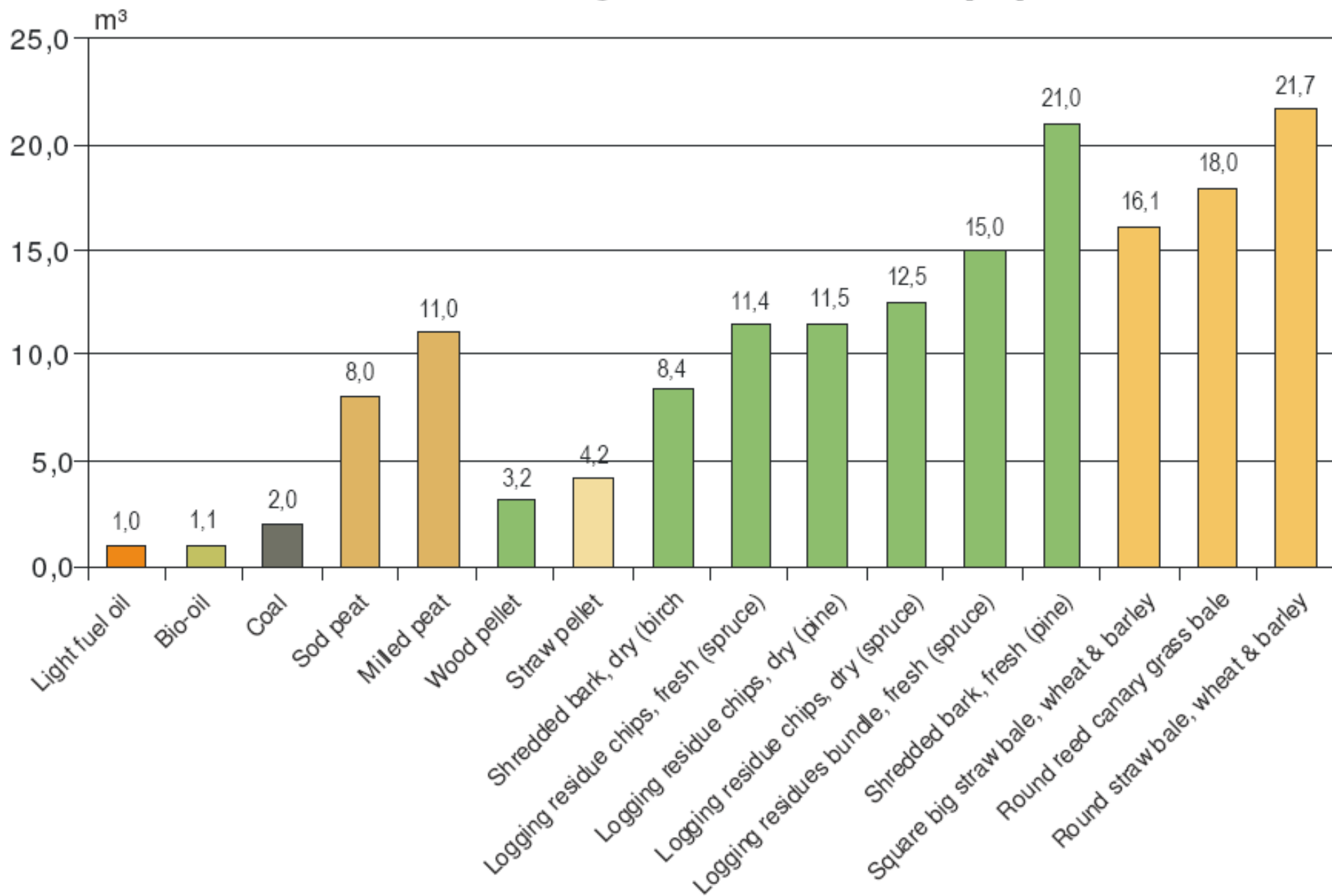


Biokütuse toorme mahuline ja energiatihedus



Laoruumi vajadus 10 MWh energia jaoks, m³

Needed Storage Volume for 10 MWh [m³]





Osakeste suurusjaotus

- **Ebasobiva osakeste suurusjaotuse mehhaanilised efektid**
- - Edastamise ja transpordi süsteemi ummistused või vigastused.
- - Häired materjali pidevas voolus.
- - Võlvumine ladustamisel või edastamisel.
- - Suurenev takistus õhu voolule aereerimisel või kuivatamisel.
- - Takistatud osakeste levimine tulekolletes(se)
- - Tolmu tekkimine transpordil

Kütusetüki pikkust sõelumisel ei määrata!



Kütuse võlvumine laos (mahutis)

- **Võlvumine summeerib mitmeid nähtusi**
 - – Stabiilse silla (võlvi) moodustumine üle ava
 - – Vertikaalse voolu horisontaalne ebaühtlus
 - – Ummistumise oht edastamisel
- **Võlvumist mõjutavad omadused**
 - – osakeste suurusjaotus
 - – maksimaalne osakese pikkus
 - – keskmine laiuse/pikkuse suhe
 - – osakese kuju (sfäärilisus)
 - – niiskus
 - – tihedus





Kvaliteedi karakteristikad (omadused) puit(bio)kütuste standardiseerimises

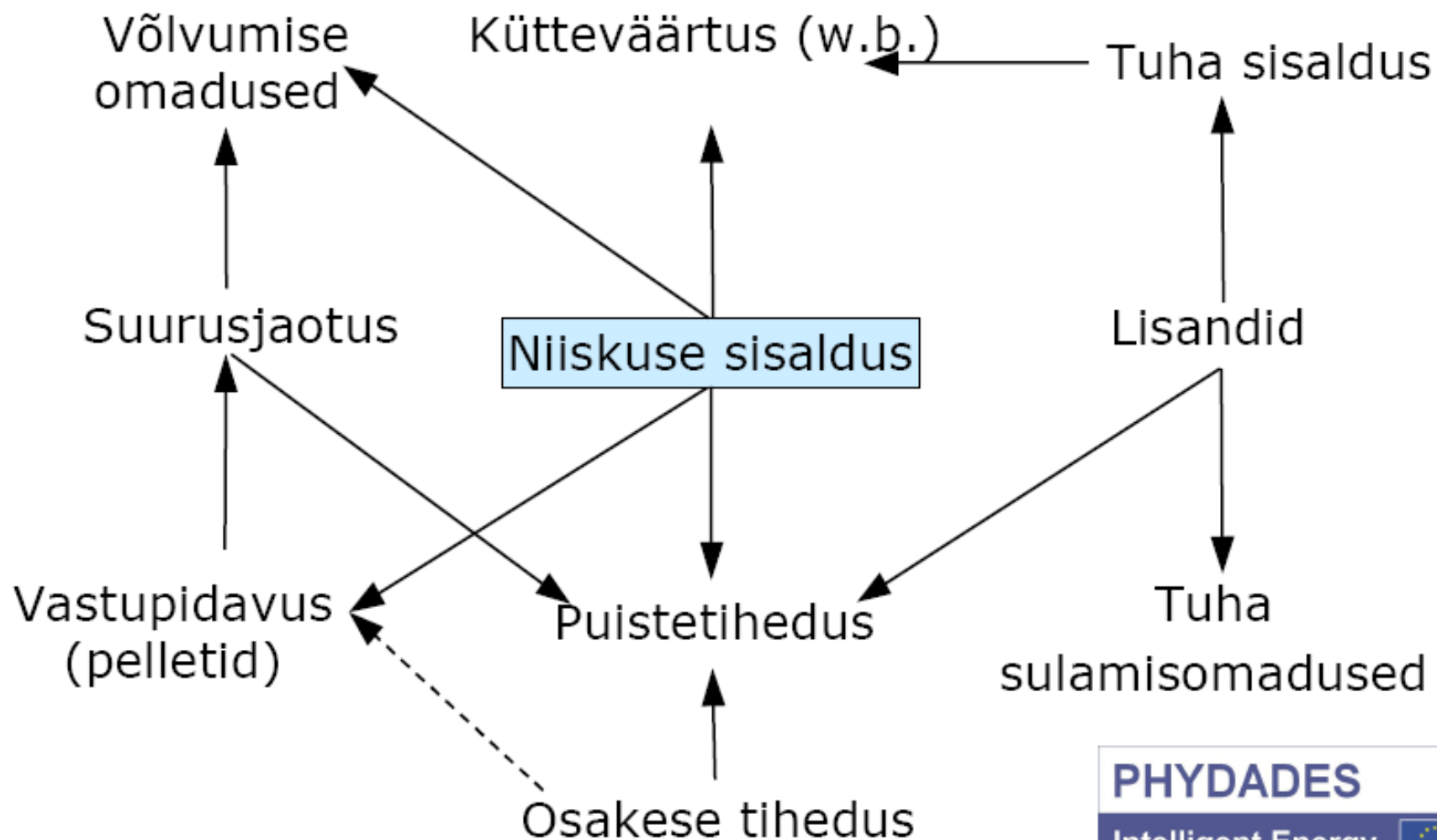
- **Põlemisega seotud omadused**
- – niiskus (niiskuse sisaldus) - EN 14774
- – kütteväärtus - EN 14918
- – lendosad - EN 15148
- – tuhasus (tuha sisaldus) - EN 14775
- – tuha sulamisomadused - EN 15370
- **Mehhaanilised omadused**
- – puistetihedus / osakeste tihedus – EN 15103/15150
- – osakeste suurusjaotus - EN 15149
- – vastupidavus (tihendatud kütused) – EN 15210

Küttepuidu tüüpide kvaliteedi nõuded (Quality Assurance..., 1998)

Tarbimisaine minimaalne energiasisaldus (energiatihedus) puistemahus, MW·h/m³ e MW·h/pm											
Kvaliteediklass			Hakkpuit (hake)			Saepuru			Koor		
E1			0,9			0,7			0,7		
E2			0,8			0,6			0,6		
E3			0,7			0,5			0,5		
E4			0,6			0,4			0,4		
Niiskusesisaldus w-%, maksimaalne											
Kvaliteediklass			Hakkpuit (hake)			Saepuru			Koor		
K1			40			30			40		
K2			50			50			50		
K3			60			60			60		
K4			65			65			65		
Tükisuurus (osakesesuurus) 95 % < mm											
Kvaliteediklass			Hakkpuit (hake)			Saepuru			Koor		
P1			30			5			60		
P2			45			10			100		
P3			60			20			200		
P4			100			30			Rebitud, kooritud		



Füüsikaliste/mehhaaniliste omaduste vastastikused mõjud





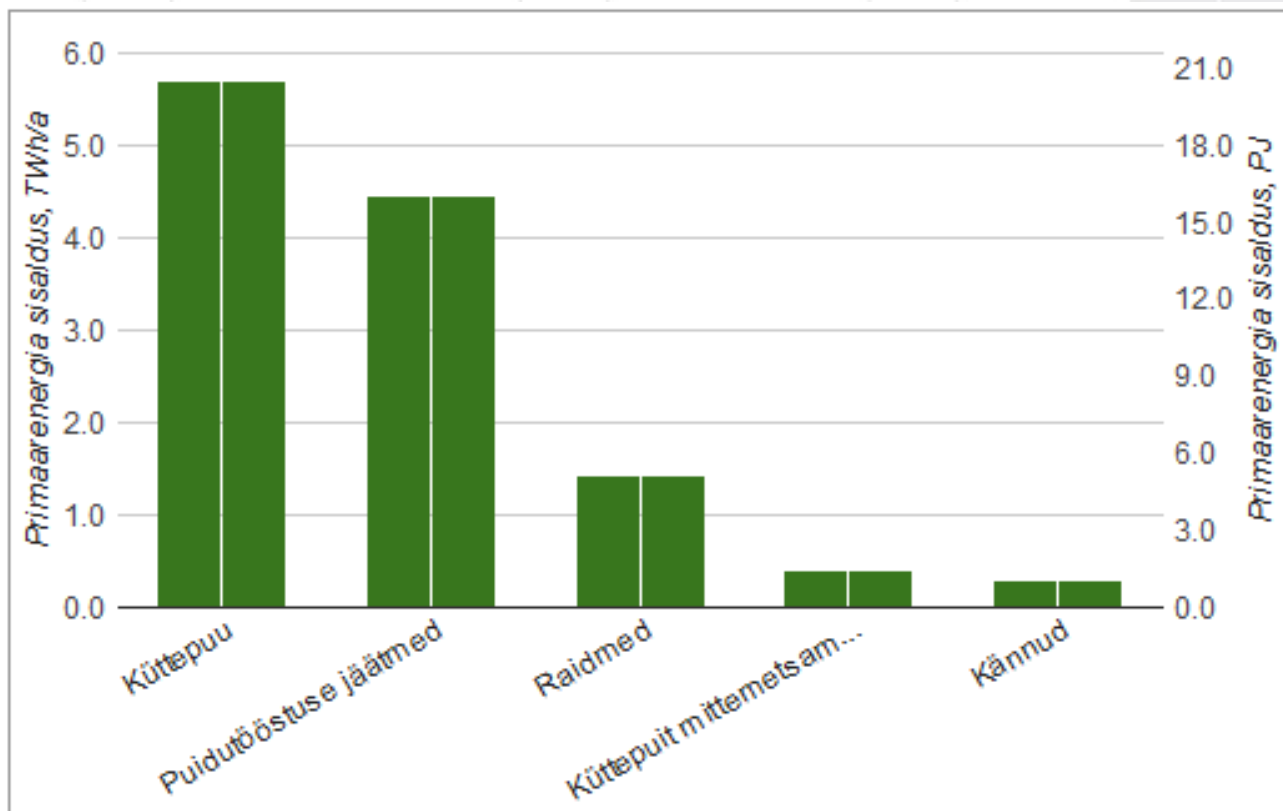
Biokütuste kättesaadavus, piisavus Eestis. Biokütuste hinnad





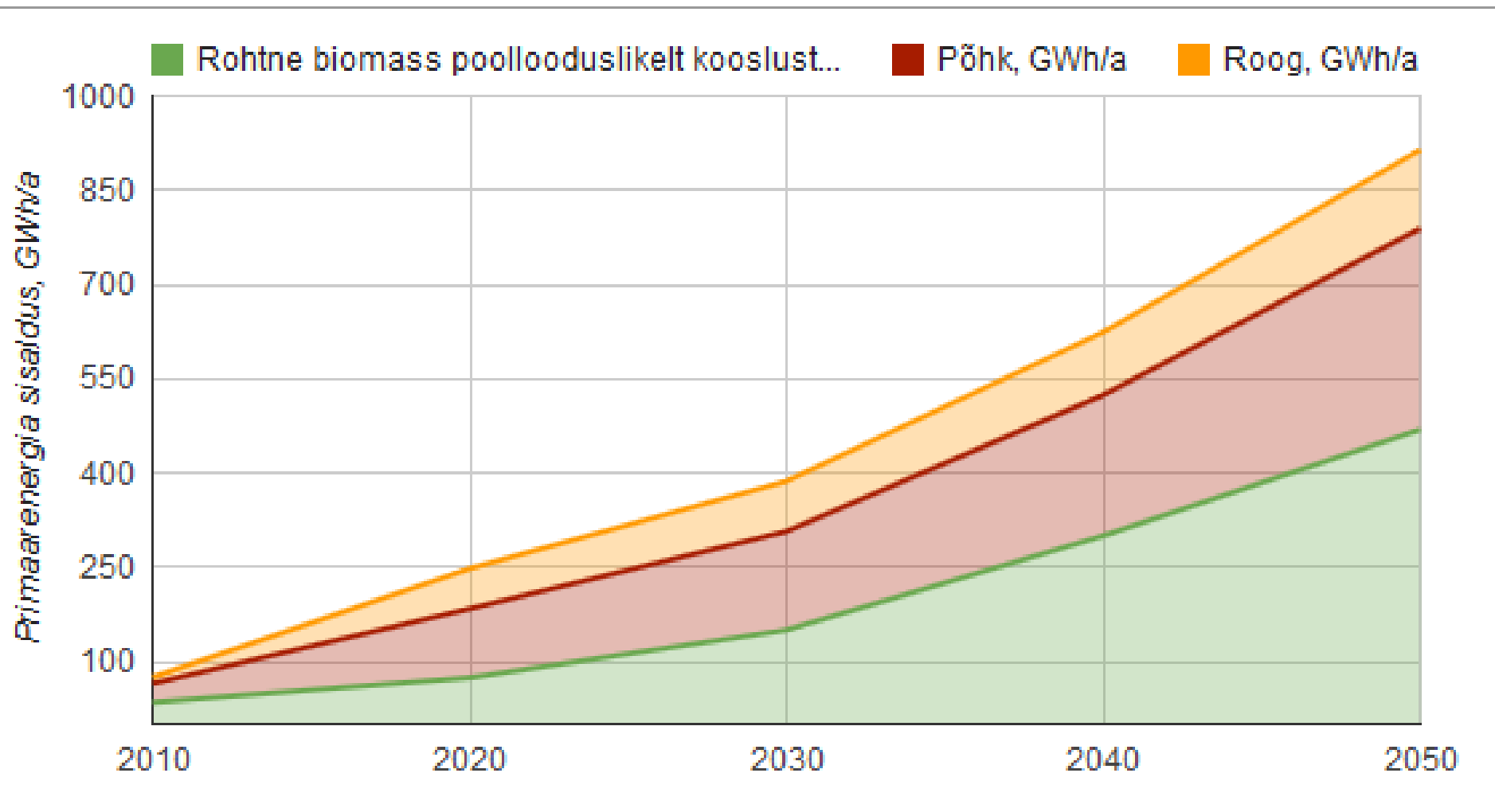
	<i>TWh</i>	<i>PJ</i>
<i>Küttepuu</i>	5,7	20,6
<i>Puidutööstuse jäätmed</i>	4,5	16,1
<i>Raidmed</i>	1,4	5,2
<i>Küttepuut mittemetsamaalt</i>	0,4	1,4
<i>Kännud</i>	0,3	1,1

Puidu
potentsiaalne
energeetiline
ressurss
(ENMAK2030⁺)



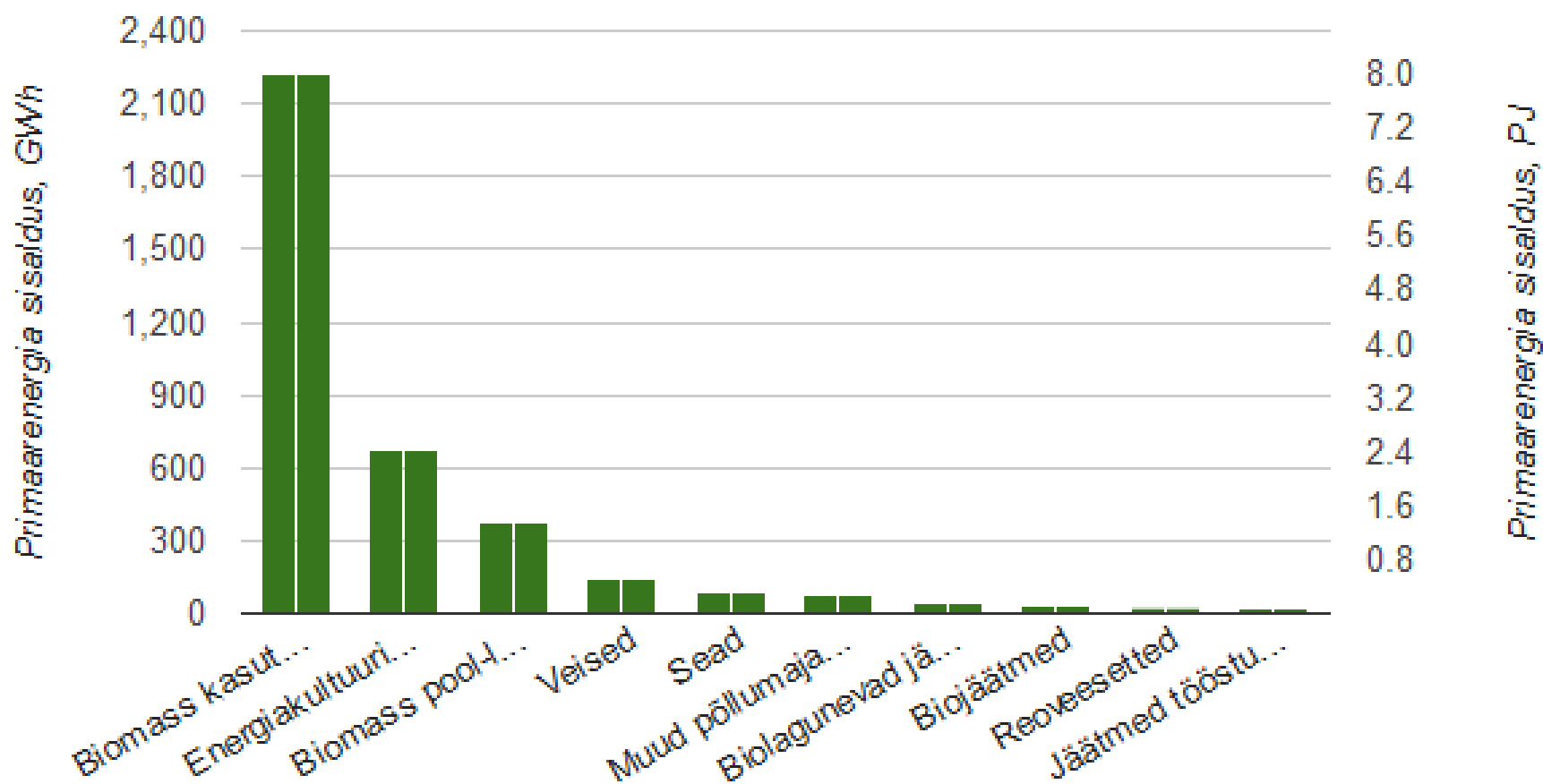


Rohtse biomassi primaarenergia kasutamise prognoos (ENMAK2030⁺)





Biogaasi energeetiline potentsiaal (ENMAK2030+)





Biomassi lähteressursid Eestis

- Puit on kõige suurema majandusliku potentsiaaliga biokütus nii soojuse kui ka elektri tootmiseks Eestis. Vastavalt kütuse- ja energiamajanduse pikaajalisele riiklikule arengukavale aastani 2015 (eelmine arengukava) on puidu kogu võimalik majanduslik aastane primaarenergia kogus 5,72 TWh.
- ENMAKis on see hinnatud võimaliku küttepuude kogusena.
- Energiapuidu kogus ilma tööstuslike jäätmeteta oleks 7,5 TWh ja koos nendega 12 TWh.

Tahke, vedela ja gaasilise biokütuse tootmine ja tarbimine energiana, TJ



Küttepuid
2010 -
1883 tuh
tm

	Tootmine			Import			Eksport			Tarbimine energiatooteks		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
KÕIK KOKKU	28 569	33 679	37 375	1 544	3 614	2 813	7 007	9 345	7 683	23 238	23 315	27 125
sh kokku puidu biomass	27 856	31 586	36 907	1 230	2 494	2 373	5 234	6 842	7 510	22 782	23 006	26 565
sh hakkpuit	2 914	5 878	9 387	-	-	-	-	-	-	2 870	5 872	9 387
küttepuid	12 817	12 981	13 555	746	1 715	1 491	373	597	746	10 833	9 350	8 299
puidujäätmed	7 316	6 101	6 578	-	-	-	-	-	-	7 284	5 952	6 566
must leelis	...	...	...	-	-	-	-	-	-	1 363	1 227	1 448
puidugraanulid ja puitbrikett	4 809	6 626	7 387	484	779	882	4861	6245	6764	432	605	865
sh taimne tahke biomass põllumajandusest	351	607	37	-	-	-	321	577	-	30	30	37
sh rohtsed kultuurid	14	19	29	-	-	-	-	-	-	14	19	29
põhk	4	5	6	-	-	-	-	-	-	4	5	6
raps ja rüps	323	580	-	-	-	-	321	577	-	2	3	-
kokku teraviljad	10	3	-	-	-	-	-	-	-	10	3	-
sorteerimisjäägid	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
sh transpordi biokütused	...	1 074	39	314	1 120	440	1 433	1 926	172	178	72	325
sh bioetanool	-	-	-	9	34	2	2	0	0	60	4	191
biodiislikütus	...	1 074	39	305	1 086	438	1 431	1 926	172	118	68	134
sh kokku biogaas jm	362	412	392	-	-	-	19	-	1	248	207	198
sh biogaas	213	245	239	-	-	-	-	-	-	145	103	126
liha-kondijahu	72	95	82	-	-	-	-	-	-	46	34	2
tehniline rasv	77	72	71	-	-	-	19	-	1	57	70	70

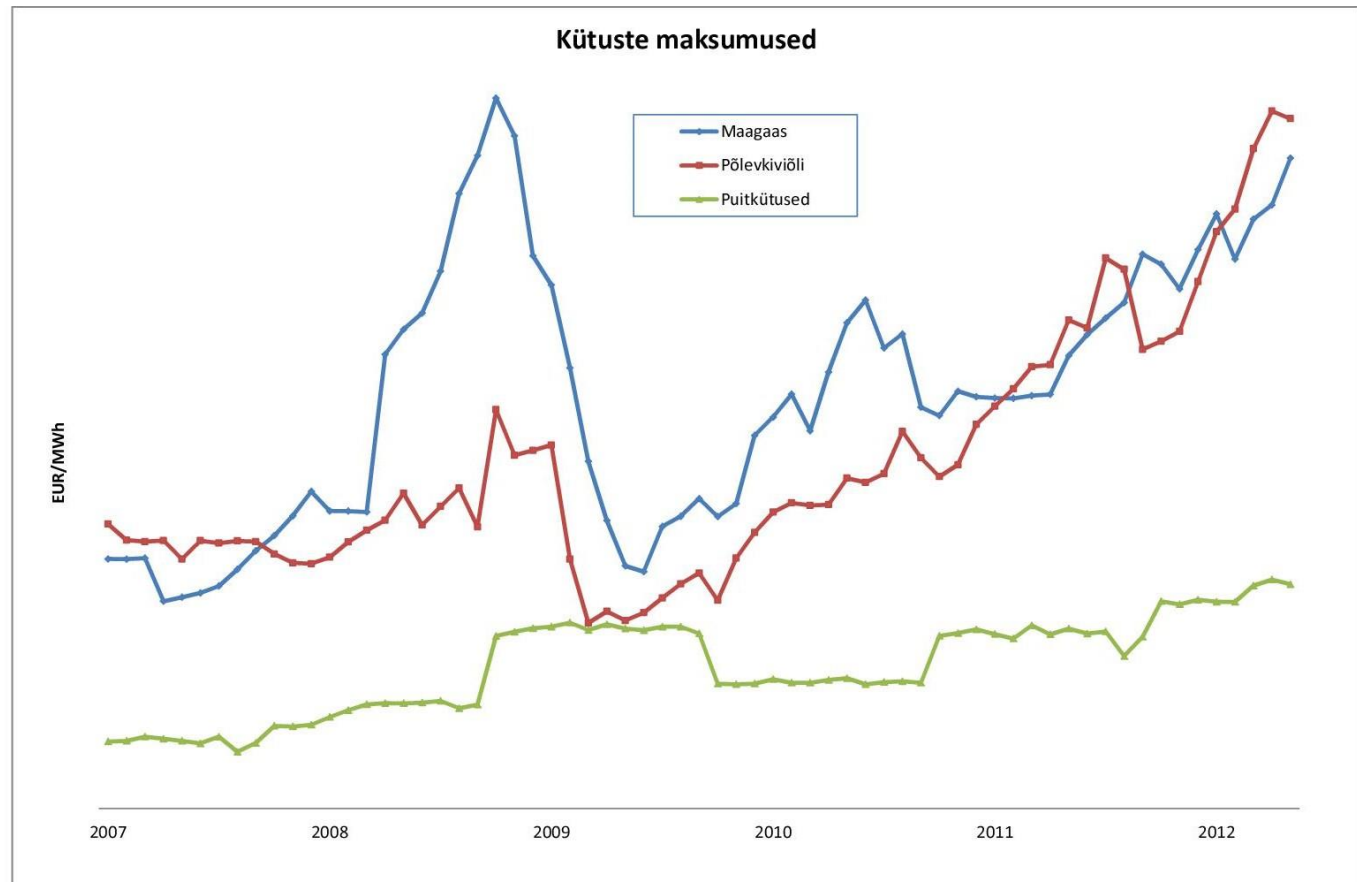


Kütuste käibemaksuta hindade muutumine ajavahemikus 2007 – 2010

Kütus/Aasta	2007	2008	2009	2010	Nelja aasta keskmine	Kütuses sisalduva energia keskmine hind, €/MWh
Kerge kütteõli, €/t	504,2	646,3	442,0	444,4	509,23	43,23
Põlevkiviõli, €/t	239,2	302,9	251,2	296,6	272,48	25,23
Turbabrikett, €/t	81,36	79,89	97,34	102,4	90,25	21,49
Kivisüsi, €/t	54,59	80,27	63,98	54,90	63,44	9,06
Tükkturvas, €/t	27,17	30,10	32,40	33,62	30,82	9,07
Puitpellet, €/t (2013)	-	-	-	-	168,00	35,70
Küttepuud, €/tm	23,01	23,97	21,79	24,29	23,27	12,53
Hakkpuit, €/pm ³	7,29	9,97	12,40	11,12	10,20	12,74
Puitjäätmel, €/pm ³	5,11	6,01	8,12	7,03	6,57	9,12



Kütuste hindade omavahelise suhte dünaamika



- Allikas: Eraküte OÜ



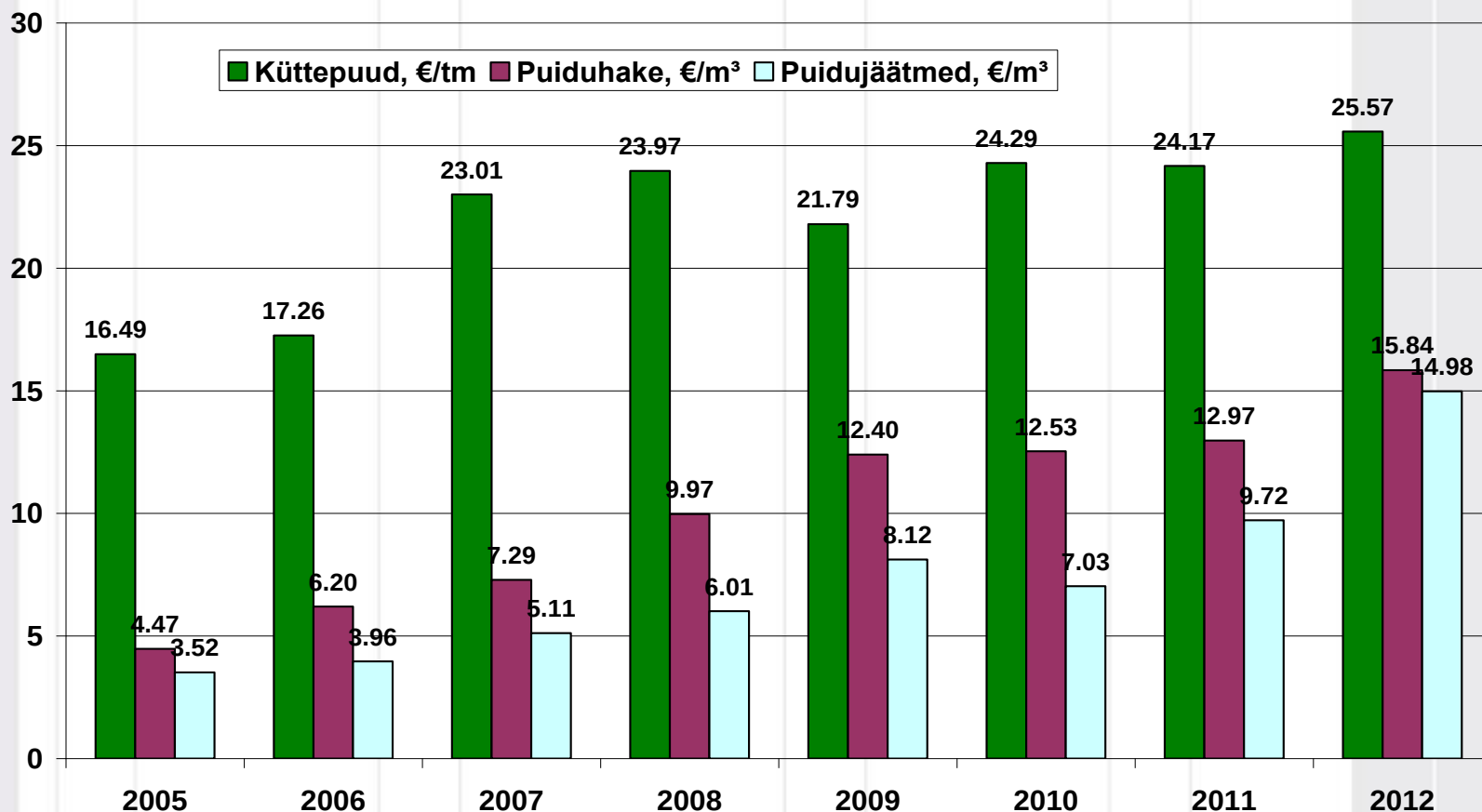
Väikekütteseadmete kütuste hinnavõrdlus

Nr	Kütus	Kütte- väärtus MJ/kg	Erikaal kg/m ³	Kütte- väärtus MJ/liiter	Hind €/l; €/m ³ ; €/t	Energia hind €/MWh
1.	Gaas (LPG)	46,1	580,0	26,7	0,56	75,40
2.	Kergkütteõli	42,5	833,8	35,4	0,73	74,16
3.	Põlevkiviõli	40,5	930,1	37,7	0,52	49,70
4.	Puidupellet	17,3	620,0	10,7	180,00	37,46
5.	Puiduhake	10,0	285,0	2,9	10,00	12,63

- Allikas: SW Energia OÜ
<http://www.swenergia.ee/8-tegevusalad-teraviljakuivatid.html>



Puitkütuste keskmised käibemaksuta hinnad ettevõtetes, 2005–2012

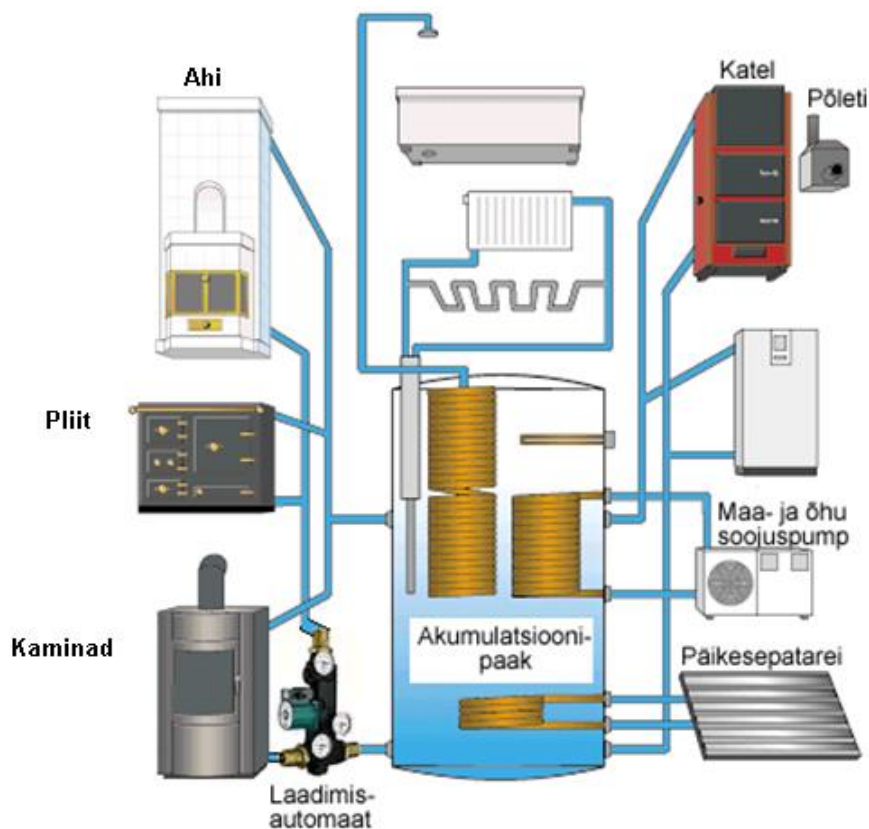


- Allikas: TTÜ ja EMÜ uuring: Puitkütuste ja puitkütuseks sobiliku toorme kasutus Eestis



Üksikhoonete ja ruumide kütmislahendused ja kütteseadmed, nende tüübid ja sobivus.

Soojussalvestid.

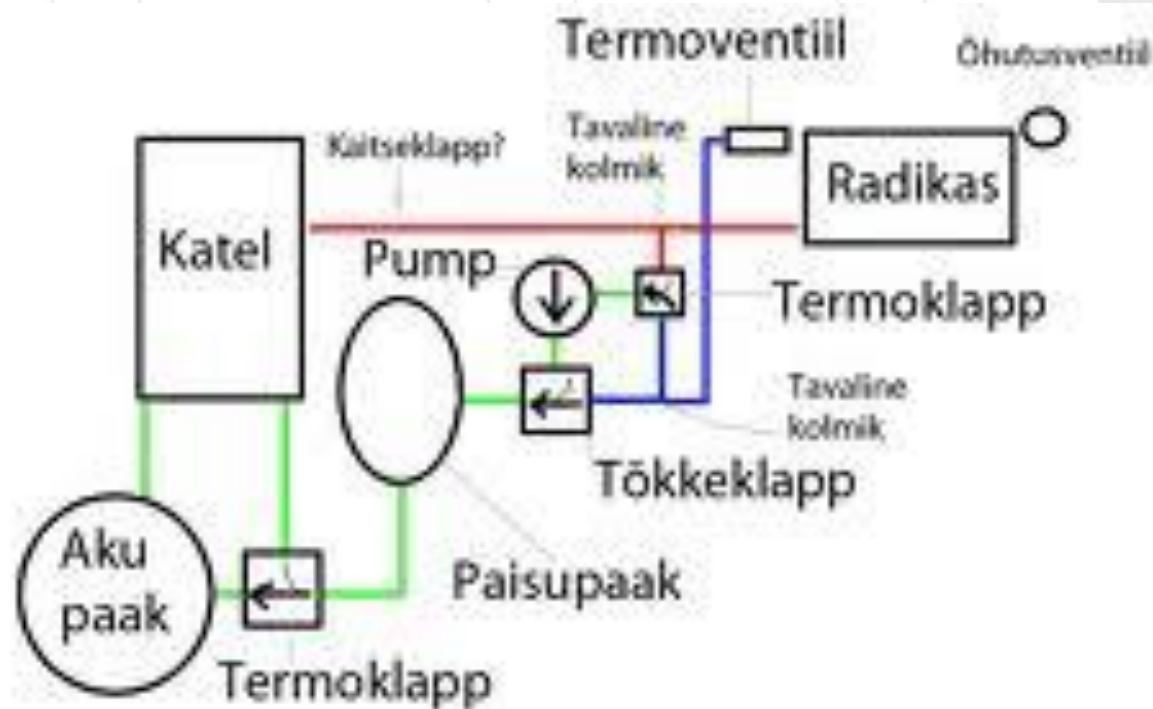


Hoonete küttesüsteemid



- Hoone küttesüsteemi ülesanne on soojuse vähimate kadudega [tootmine (muundamine), kui on lokaalkatlamaja], edastamine ja jaotamine tarbijate (küttekehade) vahel nii, et hoone kõikides ruumides oleks tagatud vajalik minimaalne siseõhu temperatuur nendes tekkiva vabasoojuse maksimaalse ärakasutamisega.
- Küttesüsteemi kuuluvad:
- Lokaalne katlamaja koos kütuse laoga (kui vajalik) või soojussõlm seal olevate seadmetega (soojusvahetid, pumbad automaatikaseadmed jm), magistraal ja jaotustorustik, küttekehad, sulg- ja reguleerimiseseadmed koos vajaliku juhtimise ja automaat-kontrolli seadmetega.

Hoone lokaalne katlamaja





Küttesüsteemide liigitus

- Hoonete küttesüsteeme võib liigitada mitmete kriteeriumide kohaselt: tootmise iseloomu, toimimispõhimõtte, ehituslike iseärasuste, asukoha, energiakandja jms järgi.
- **Soojusallika asukoht:**
 - **Kohtküttesüsteem** – köetakse iga ruumi eraldi kütteallikaga või max ühte korterit ühe soojusallikaga. Ahi, pliit soemüüriga, kamin, elekterküttekeha, gaaskütteseade, soojuspumpseade jms.
 - **Lokaalküttesüsteem** (keskküttesüsteem) – soojus toodetakse väljaspool köetavaid ruume, kuid jaotatakse samaaegselt mitmete ruumide vahel. Soojusallikas on hoones või selle vahetus naabruses. Katlamaja, maasoojuspump jms.
 - **Kaugküte** – ühest allikast köetakse mitmeid hooneid samaaegselt, hoones soojussõlm.

Küttesüsteemide liigitus II



- **Energiakandja:**
- **Põlevloodusvara:**
 - Fossiilkütus,
 - Tahke – kivisüsi, pruunsüsi, põlevkivi, turvas jt.
 - Vedel – kerge kütteõli (ahjukütus) põlevkiviõli jt.
 - Gaasiline – maagaas, põlevkivigaas
 - Biokütus
 - Tahke – puit (halud, briketid, pelletid jm)
 - Vedel – bioetanool, biodiislikütus jt.
 - Gaasiline – biogaas, süngaas jt.
- **Mittepõlev loodusvara:**
 - Päikesekiirgus,
 - Tuul,
 - Keskkonnasoojus.
- **Elekter** – nii fossiilset kui taastuvat päritolu

Küttesüsteemide liigitus III



- **Kasutusviis:**
- Pidev küte – ruumi ja hoonega kohtkindlalt ühendatud küttesüsteemi abil toimub pidevalt soovitud siseõhutemperatuuri tagamine (eluhooned, haiglad, hooldekodud jms).
- Perioodiline küte - ruumi ja hoonega kohtkindlalt ühendatud küttesüsteemi abil toimub mitte pidev ruumide siseõhutemperatuuri tagamine vastavalt kasutajate vajadusele (ei viibita ruumis) ja soojusallika (ahi) iseärasusele. Toimib nii eluhoonetes, tööstushoonetes, büroohoonetes jm.
- Ajutine küte – kasutatakse lühikest aega mingil konkreetsel ajavahemikul, seadmed ei ole tavaliselt kohtkindlalt ühendatud, vaid teisaldatavad.



Küttesüsteemide liigitus IV

- **Soojuskandja:**
- Vesiküte – soojuskandjaks on vedelik, kas vesi või mittekülmuv vedelik (glükool).
- Aurküte – soojuskandjaks on aur (nt veeaur), on vaakum-, madal- ja kõrgrõhu aurküttesüsteeme. Tänapäeval vaid tööstustes.
- Õhkküte – soojuskandjaks on õhk, kasutatakse ühiskondlike ja tootmishoonete, kuid ka elamute (peamiselt eramute) kütteks.

Küttesüsteemide liigitus V



- **Soojuse levimine:**
- **Konvektiivküte**
- Valdav osa soojusest antakse ruumi konvektsiooni teel. Traditsioonilised vesiküttesüsteemid ja õhkküttesüsteemid. Madalama temperatuuriga ruumiõhk puutub kokku kõrgema temperatuuriga küttekeha pinnaga soojeneb ja liigub ruumis. Kasutatakse ka õhu sundliikumist.
- **Kiirgusküte**
- Valdav osa soojusest antakse ruumi kiirguse teel. Üherealised plekk- ja paneelradiaatorid, kus kuni 50% soojusest eraldub kiirguse teel. Gaas- ja elektrilised kiirgurid ja elekterpaneelid.
- Mida kõrgemal asub küttekeha, seda enam soojust eraldub kiirguse teel (el. laepaneelid), sest ruumi ülaosas konvektiivsete õhuvoolude intensiivsus väheneb.
- Kiirguskütte puhul saavutatakse ruumisviibijate mugavustunne madalama ruumiõhu temperatuuri juures ja väiksemate küttekuludega kui konvektiivküttel.



Küttekehad

- Küttekeha ülesandeks on soojuskadude kompenseerimiseks vajaliku soojuse ülekandmine köetavale ruumile (kas küttesüsteemis ringleva vee kaudu, elektritakisti, kütteseadmes põleva kütuse (ahi jt, mis on pigem kütteseadme) või ringleva õhu kaudu).
- Olenevalt küttekeha konstruktsioonist ja välispinna iseloomust toimub soojuse ülekanne küttekehalt ruumiõhule valdavalt kas konvektsiooni või konvektsiooni ja kiirguse või valdavalt kiirguse teel. Soojusjuhtivuse osakaal on alati minimaalne ja seda ei arvestata.
- Küttekehade konvektiivset ja kiirguslikku soojusülekannet mõjutavad pinnatemperatuur, mõõtmed, paiknemine ruumis, värvus, kujundus.

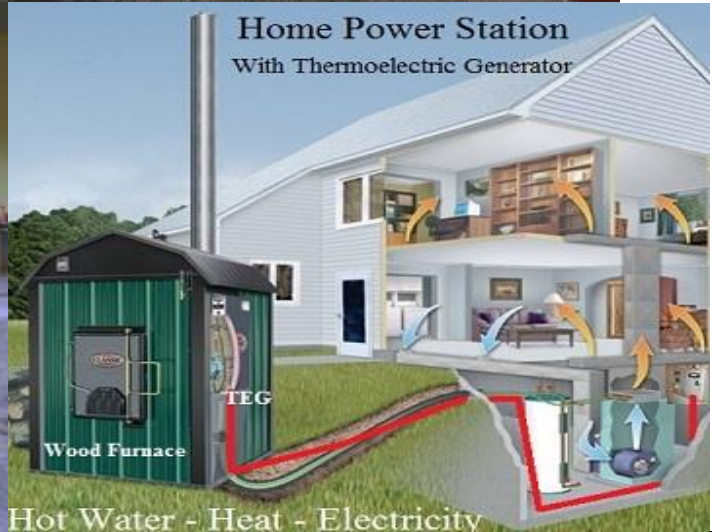
Küttekehad II



- Ruumi sisekliima seisukohalt tuleks eelistada kiirgussoojusülekannet, sest see tagab ruumis ühtlasema temperatuuri ja parema mugavustunde (*puudus: kui kiirguspaneel asub laes, siis selle all oleval laua taga istuja jalad külmetavad*).
- Konvektiivne soojusülekanne põhjustab märgatavaid õhutemperatuuri erinevusi ruumi kõrguses (ka eri osades), kaasnevad õhuvoolud kannavad edasi tolmu ja mikroorganisme.
- Siledapinnalised küttekehad eraldavad rohkem soojust kiirguse teel ja loovad mugavama tunde elanikele.

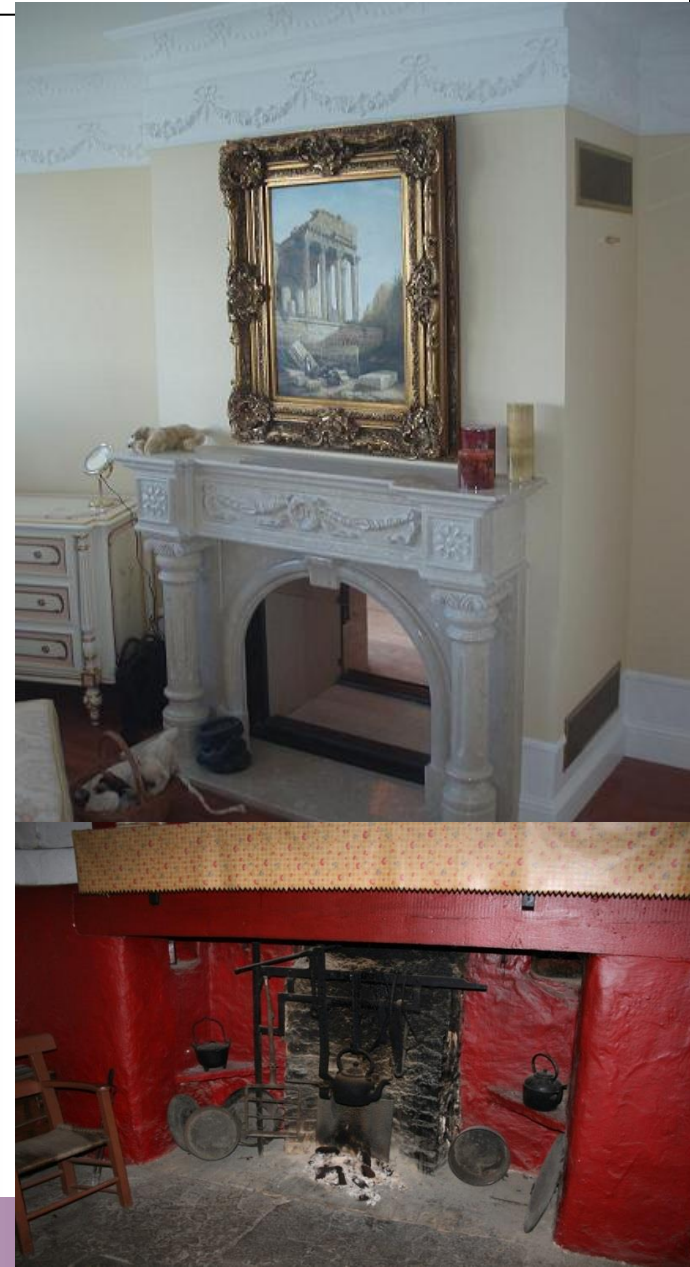
Väikekütteseadmete liigid (tüübid)

- Tulekolded - leeaug, suitsusauna kerised
- Hüpokaust (muistne õhkküttesüsteem)
- Kaminad (s.h välikamin, mis pole kütteseade)
- Pliidid
- Ahjud - saunaahjud, kerisahjud, vene ahi
- Väikekatlad
- Mikrokoostootmiseseade – (bio)gaasigeneraator + mootor; mikrobioloogiline elektrolüütiline rakk, termoelektriline generaator jm.
- Elektreküttekehad



Väikekütteseadmed. Kaminad

- **Kaminad** - ladina keeles "*caminos*" - ahi. Esialgset kaminat kasutati tulekoldena ruumi soojendamiseks (peamiselt kiirguse teel) ja valgustamiseks. Tänapäeva kamina funktsioonid on muutunud, lisandunud on ka salvestusvõimalus (õhu soojendamine konvektsiooni teel). Lahtise avaga kamina kasutegur on 5-15%.
- Küttekaminad - terasplekist või malmist valmistatud kaminad (kütteseadmed), sageli klaasuksega. Iseloomulik on väike salvestusmass ja kütuse pidev lisamise vajadus.
- Kaasaegsete salvestavate kaminade kasutegur ulatub 85%ni.



Väikekütteseadmed. Kaminad IId II

- Kaasaegsed kaminad on tippkvaliteediga kaasaegse tehnoloogiaga kütteseadmed, millede suur kasutusmugavus ja ökonoomne kütusekulu võimaldavad kasutada neid ruumides küttekehana, luues samal ajal ka hubase, elava tulega õhkkonna.
- Ruume võib kütta ühe või mitme küttekaminaga kuhu võib olla sisse ehitatud kuuma vee tsirkulatsioonisüsteem või lisatud innovaatiline kolmanda põlvkonna soojusalvestav süsteem keraamilistest 41 kg moodulitest ja keraamilistest 34 kg plaatidest. Küttekamina ja korstna vahele jääv soemüür kiirgab soojust ruumi kuni 24 tundi.
- Kui ei ole võimalik ehitada väga suure massiga kaminat, siis võib kaminasüdamikule peale paigaldada hüpokausti ringmoodulitest kuni 8 tunni soojasalvesti.
- Keraamilise salvesti asemel võib kasutada kaminas eraldi seisvat veemahutit, mis on ühendatud keskküttesüsteemiga.

Väikekütteseadmed. Kaminad III



Soojustalvestav
süsteem (pilt üleval
vasakul) firmalt
CEBUD

Hüpokaust ringmoodulitest,
kuni 8 tunni soojasalvesti
(pilt üleval paremal)

Kamina veemahuti, mis on
ühendatud keskküttesüsteemiga
(alumine pilt).



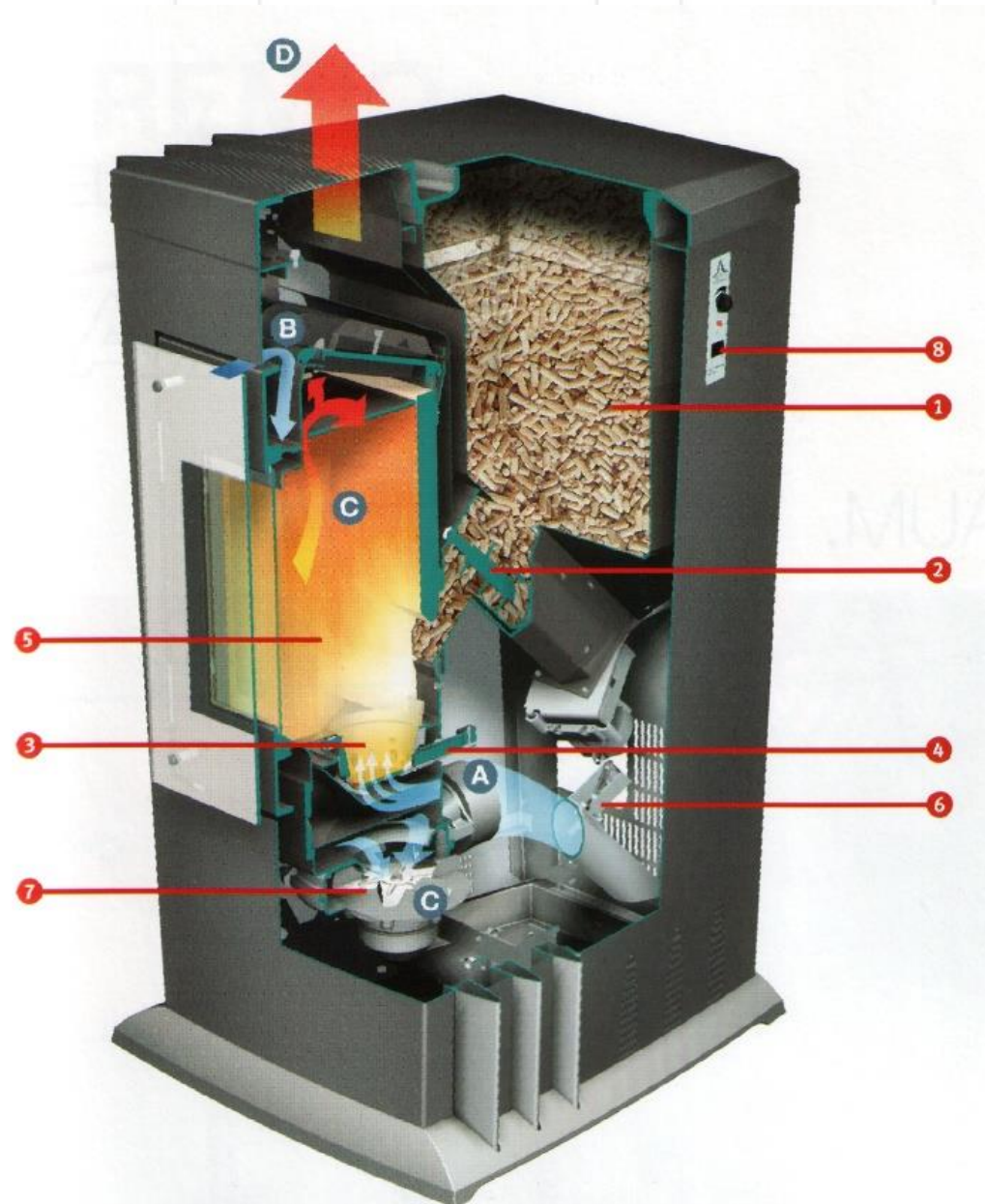
Väikekütteseadmed. Kaminad V

- Kaminaid köetakse tavaliselt puitkütusega (küttepuud, puitbrikett) ja vähesel määral turbabriketti. Spetsiaalselt selleks projekteeritud ja kohaldatud kaminates ja kaminasüdamikes saab kasutada ka pelleteid, kivisütt, maagaasi ja propaani. Kaasajal ka bioetanool.
- Lähiaastatel kindlasti seoses energiakandjate olulise kallinemisega kamina- ja ahikütte osatähtsus tõuseb! Korterite ja eramute küttekulude vähendamine kaasaegse kõrge kasuteguriga küttekaminaga on lihtne ja odav viis saavutamaks soovitud kokkuhoidu.





Pelletikamin



Väikekütteseadmed. Kaminad VIII

- **Millele tuleks tähelepanu pöörata ja millega arvestada, kui paigaldada korterisse küttekamin:**
- Kuhu paigaldada kütusevaru (kuiv ruum, varu min 1-2 rm);
- Kus oleks sobiv koht ja kas seda üldse on (mass paarisajast kilost kuni tonnini);
- Kuidas suitsugaasid välja juhtida (kõrge temperatuur, maht);
- Kuhu ja milline korsten paigaldada (sademete läbijooks);
- Kuidas tagada põlemisõhu juurdepääs;
- Ruumi mahu ja kamina suudme ristlõike vahel on kindel seos;
- Kuhu viia tuhk (ettevaatust hõõguvate sütega);
- Tuleb hankida load (KÜ, Päästeamet, KOV).

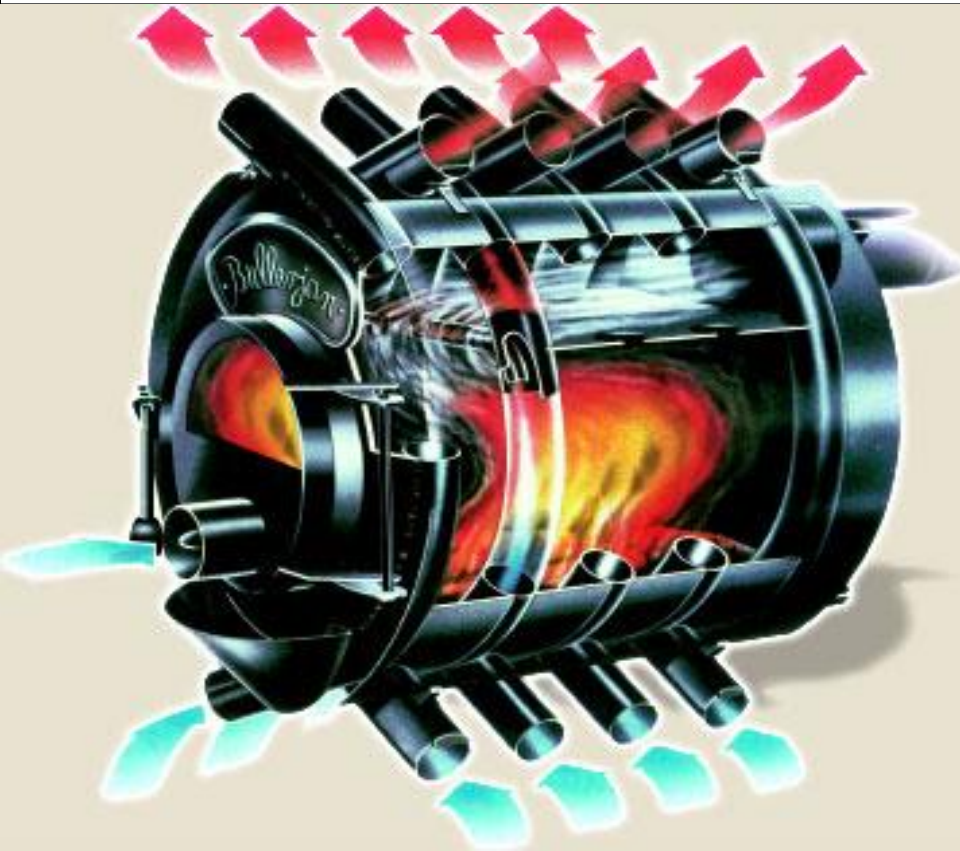
Väikekütteseadmed. Ahjud

- **Ahjud** – energiamuundamise (soojuse tootmise) ja salvestamise seadmed, kus põletatakse põhiliselt biomassi (puitkütuseid jm) või fossiilseid kütuseid.
- Ruumide kütmise eesmärkidel ehitatud ahje võiks liigitada:
- *Reheahjud* (eesmärk - vilja kuivatamine)
- *Tellisahjud* (vooder tulekindlatest, väliskest kuumakindlatest tellistest);
Plekkahjud (sees kivivooder, väljas plekk-kest, ka voodrita terasahjud);
- *Kahhelahjud* (pottahjud) - glasuuritud ahjupottidest pottsepa poolt ehitatud soojustsalvestavad ahjud, mis koosnevad küttekoldest, lõõristikust ja seda ümbritsevatest kahhelpottidest ehitatud väliskestast (Hollandi ahi).
- *Kamin-ahjud* - kahe siibriga, telliskivist, voolukivist või muust materjalist ahju tüüp, mis vajadusel salvestab ahju soojust.
- *Moodulahjud*, metallsüdamikuga ahjud, bullerjanahi.

Eristatakse veel –
umbpõhjalisi ja
restkoldega ahje –
kasutegur –
45 → 85 %



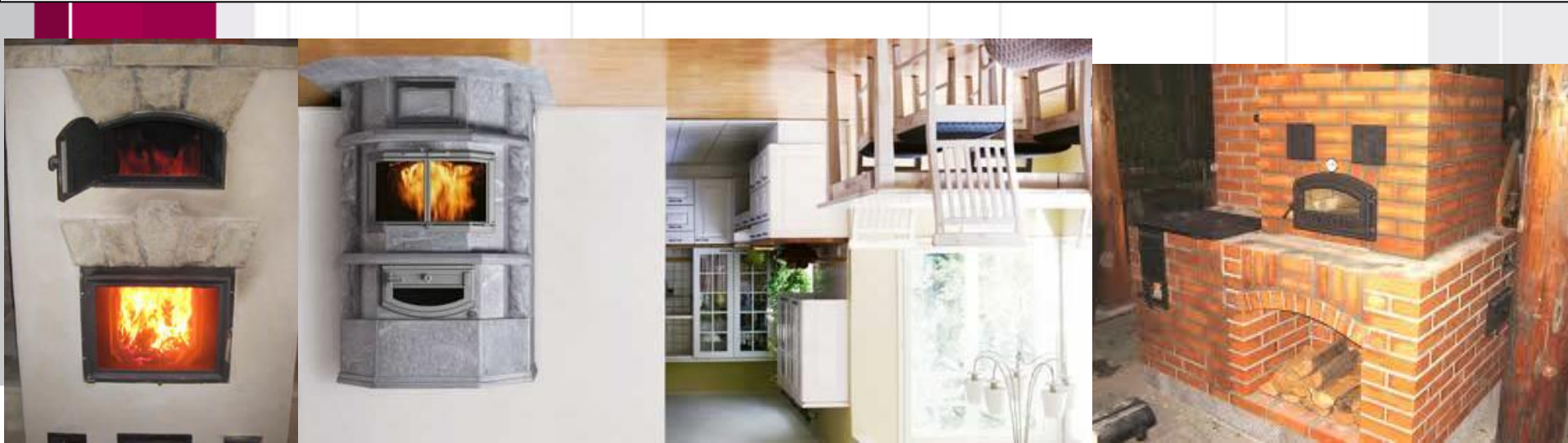
Väikekütteseadmed. Bullerjan-ahi



Bullerjan ahi on õhu kalorifeer tahkel kütusel, mida on võimalik kasutada nii elu- kui tööstusruumide kütmiseks. Soojus jaotub ühtlaselt ühe kogu köetava ruumi ilma ventilaatori abita. Külma õhk tungib kollet ümbritsevasse torudesse, kus see soojeneb 60-80 °C, ning seejärel voolab välja köetavasse ruumi. Kasutusala: suvemajad, laopinnad, töökojad, kauplused, elamud jne õhumahuga kuni 1300 m³. Näiteks, kõige väiksem ahju tüübi tootlikus on 4,5 m³ sooja õhku minutis. Kasutegur kuni 75%.

Väikekütteseadmed. Ahjud II

- Eesti ühepere-elamute ja taluelamute peamiseks kütteseadmeks on tänapäevani ahi (tüübilt väga erinevad) ja kütuseks puitkütused (~80%).
- Tavaline ahi on nii soojuse generaator kui ka soojuse salvestaja.
- Soojus tekib küttematerjali põlemisel koldes, akumul eerub kolde ja lõõride seintesse, s.o kogu müüritisse.
- Köetud ahjust kandub soojus välispinna kaudu ruumiõhule konvektsiooni ja kiirguse teel.



Väikekütteseadmed. Ahjud III



- Ahju tootjad (ka pottsepad) peaksid andma ahju kohta teada kõik olulised tehnilised parameetrid nagu:
- ahju kasutegur,
- ahju salvestuskestus,
- ahju salvestusvõime,
- ahju soojuseralduse võime,
- kütteseadme nimivõimsus (ahju võimsus),
- maksimaalne kütusekogus,
- põlemisaeg ja väljuvate suitsugaaside temperatuur
- ahju ehitusplaan (joonised), kütteseadme kasutusjuhend, kütteseadme lõõri pikkus, kütteseadme õhutusvahe.



Väikekütteseadmed. Ahjude üldnõuded

- Suuruselt ja asendilt peab vastama ruumi suurusele;
- Välispind peab kuumenema enam-vähem ühtlaselt 2-3 tunni jooksul;
- Pärast kütmist peab ahi eraldama ühtlaselt soojust vähemalt ühe ööpäeva (24 tunni) jooksul;
- Peab olema lihtsalt käitav ja ohutu tuletõrje seisukohalt;
- Puhastamiseks ja korrashoiuks peavad olema avad (uksed, luugid, tepslid);
- Peab olema tugev, mehaaniliselt vastupidav ja pika kasutuseaga (25-30 aastat), remonditav.
- Välispinnal ei tohi olla pragusid, millest suitsugaasid välja pääsevad;
- Konstruktsioon ja materjalid peavad vastama kasutatavale kütusele, põlemine peab toimuma tõhusalt;
- Olgu nägus, siledapinnaline ja sobigu ruumi kujundusega.

Väikekütteseadmed. Pliidid

- **Pliit** – seade toiduvalmistamiseks, tarbevee soojendamiseks ja ühtlasi ruumi kütmiseks. Viimasel juhul on oluline soemüüri olemasolu (viimane on väikese soojusmahtuvusega ahi, aga tõstab oluliselt pliidi kasutegurit)
- Kahhelpliidid - kahhelpottidest käsitöönduslikult ehitatud pliidid. Põhiline soojus tuleb pliidi plaadilt ca $1\,200\text{ Wh/m}^2$, kiirgussoojusena.
- Malmpliidid – tööstuslikult valmistatud toiduvalmistamise seadmed. Võib lisada veesoojenduse elemente (omaaegne Pioneer-pliit).
- Soemüür (soojamüür) - sageli pliidi juurde kuuluv soojenev küttekeha osa, mis suurendab pliidi kasutegurit ja soojendab ka ruumi. Soojamüüri võimsuseks loetakse $350\text{--}400\text{ W/m}^2$.
- Pliite võib eristada kasutatava kütuse järgi – puupliit (tahkekütuse pliit), gaasipliit, petrooleumi pliit, elektripliit.



Väikekütteseadmed. Pliit-soemüür





Väikekütteseadmete ühendamine keskküttesüsteemiga

- Kuna energiaallikad muutuvad järjest kallimaks ning keskkonnanormid karmistuvad, tuleb leida võimalusi, kuidas kütuses sisalduv energia hulk võimalikult efektiivselt ära kasutada.
- Üheks lahenduseks on keskküttesüsteem ühendada ahju, kamina või pliidiga, kus küttekolletes toodetud soojus salvestatakse vees.
- Tänapäevase keskküttesüsteemi “süda” on akumulatsiooni paak, kuhu kogutakse kõigi süsteemi ühendatud energiaallikate toodetud energia ning kasutatakse seda vastavalt vajadusele ruumide kütmiseks.
- Keskküttesüsteemi ühendamiseks sobivad keskküttekatlad, -pliidid, -kamina- ja ahjusüdamikud, -valmiskaminad ning saunaahjud, millele on sisse ehitatud “veesärk”.

Väikekütteseadmed. Kütmine

- Mida peab silmas pidama väikekütteseadmete kütmisel
- Tõmme
- Piisav õhu juurdepääs
- Kütuse kvaliteet (õhukuiv $W \leq 25\%$, tükisuurus jm)
- Kolde täitmine
- Kütuse süütamine
- Õhu ja põlemisgaaside segunemine (min CO, vingugaas)
- Põlevmaterjali kobestamine (minimaalselt häirida põlemisprotsessi)
- Õigeaegne koldeukse sulgemine
- Tuha eemaldamine
- Seadmete puhastamine
- Ohutus

Väikekütteseadmed. Küttekatlad

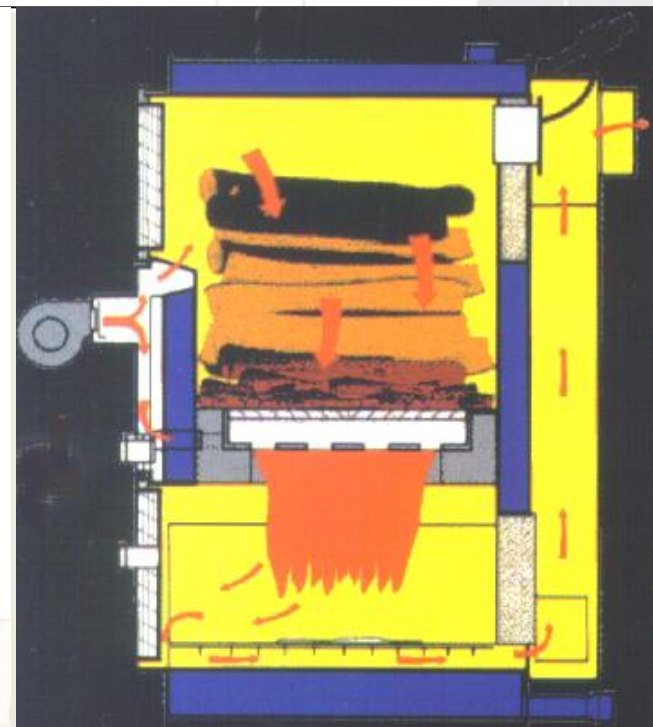
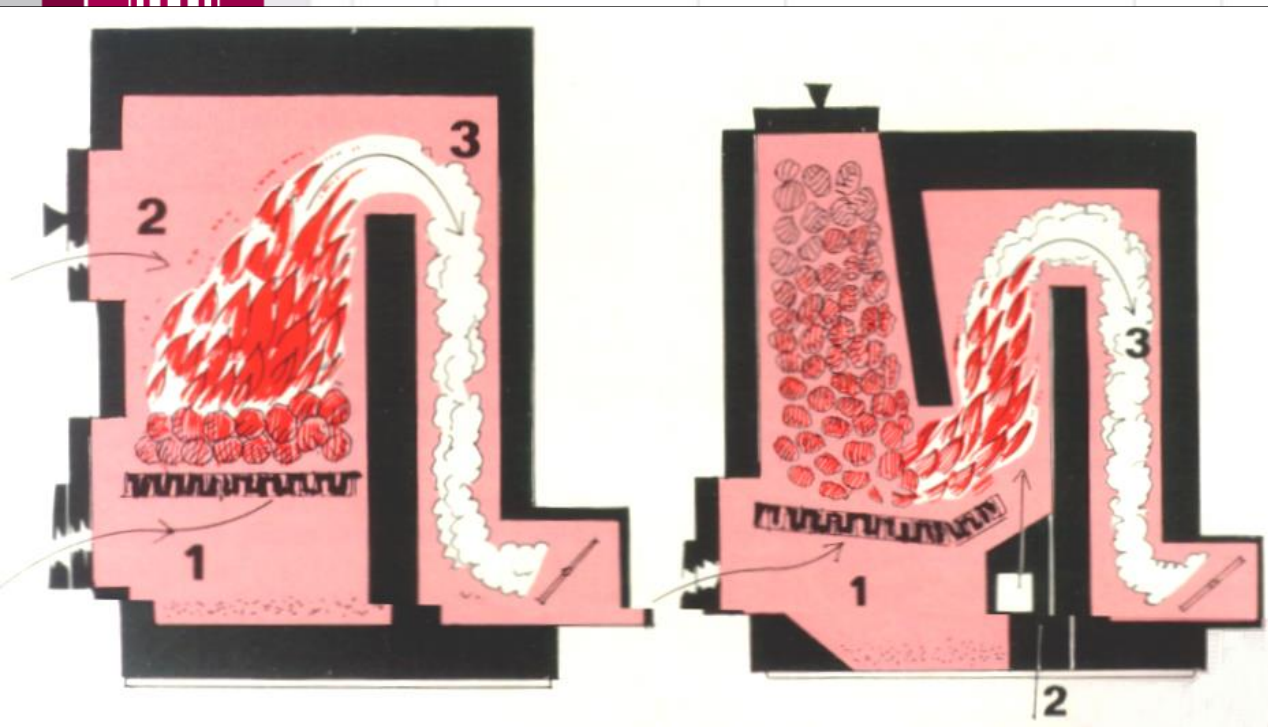
- **Küttekatel** – seade ruumide (hoone) kütmiseks kaudsel teel soojuskandja (tavaliselt vedelik või ka õhk) ja küttekehade (radiaator, kalorifeer jms) vahendusel.
- Energiaallika järgi eristatakse:
 - Elektrikatel;
 - Gaasikatel;
 - Õlikatel;
 - Tahkekütuse katel (puukatel, pelletikatel, söekatel jms)
- Võib eristada veesärgi materjali järgi:
 - Teraskatel;
 - Malmkatel.
- Eristatakse põlemisprintsibi järgi:
 - Alumise põlemisega,
 - Ülemise põlemisega,
 - Pöördpõlemisega katel (gaasistuskatel).

Piisav kolde maht

Õhkuiv kütus

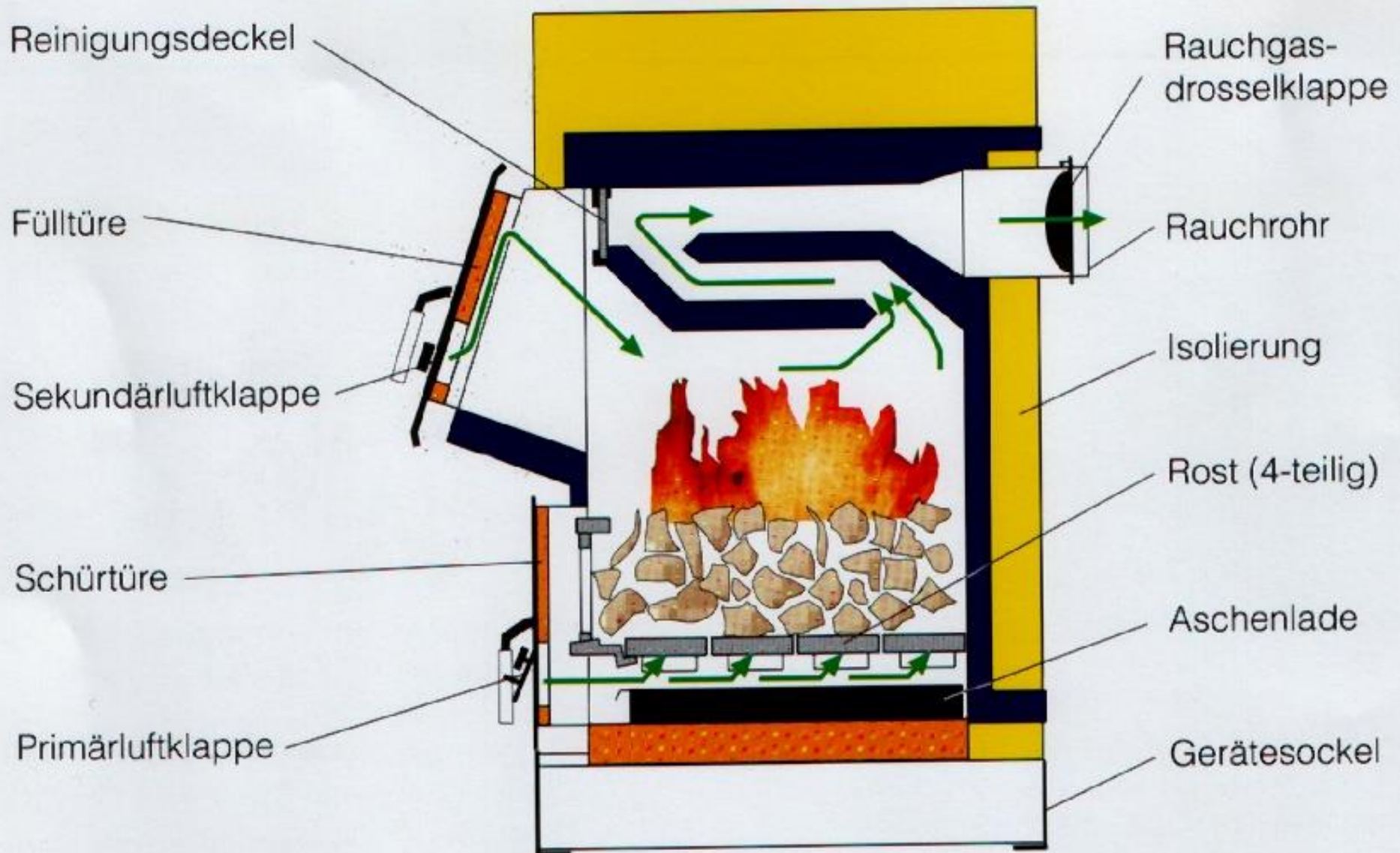
Hea segunemine põlemisõhuga

Väikekütteseadmed. Küttekatlad II II

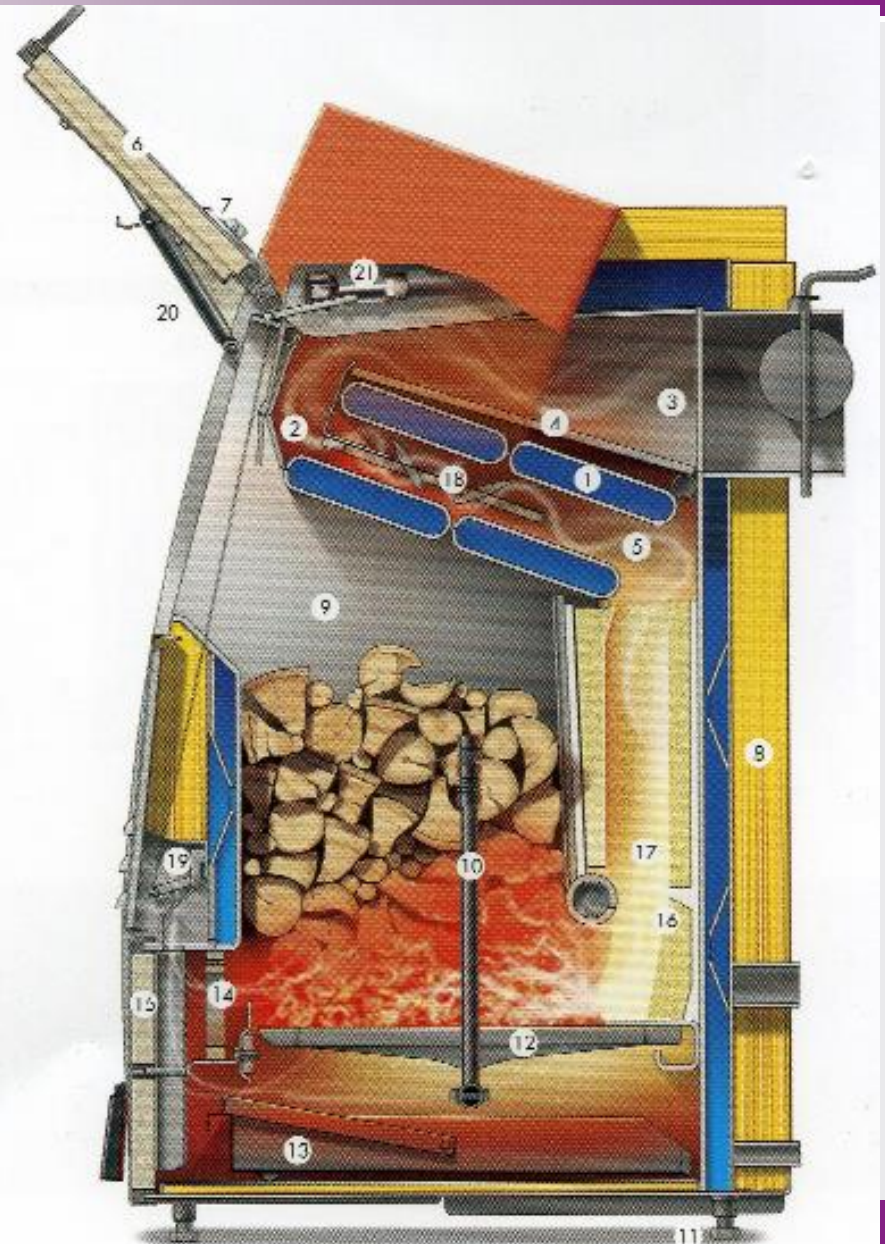


Ülemine põlemine - Alumine põlemine - Pöördpõlemine

Ülemise põlemisega katel



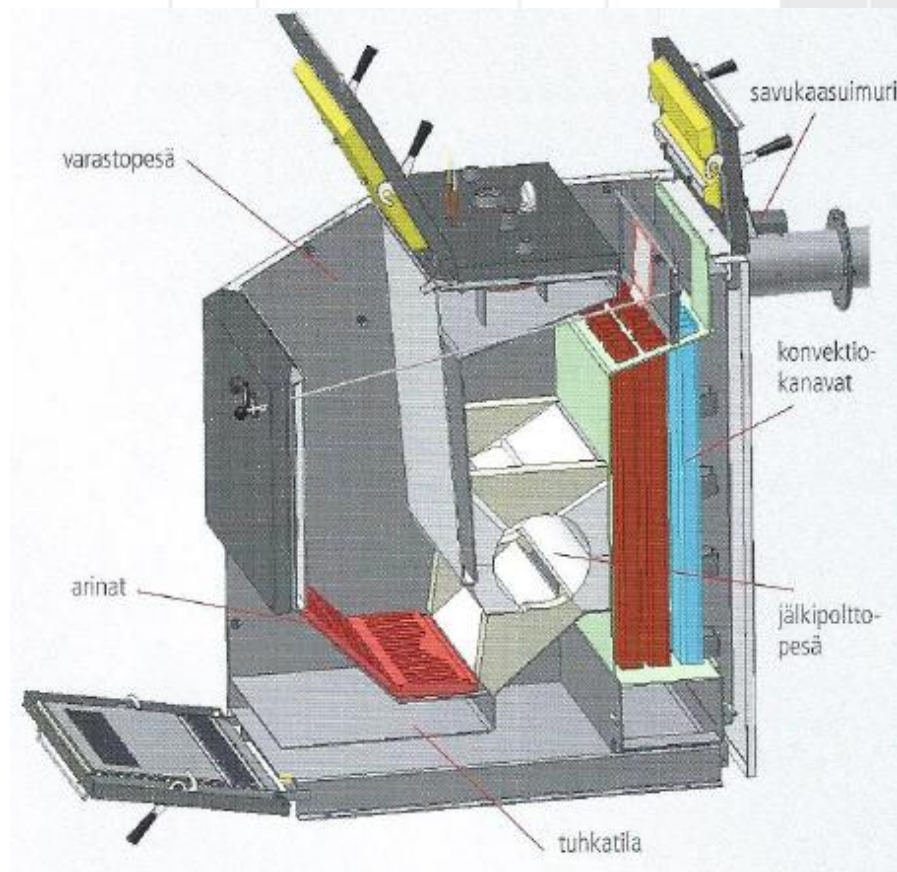
Alumise põlemisega katel



Alumise põlemisega puitkütusekatla Ariterm 35+ ja 60+ eestvaade ja ristlõige

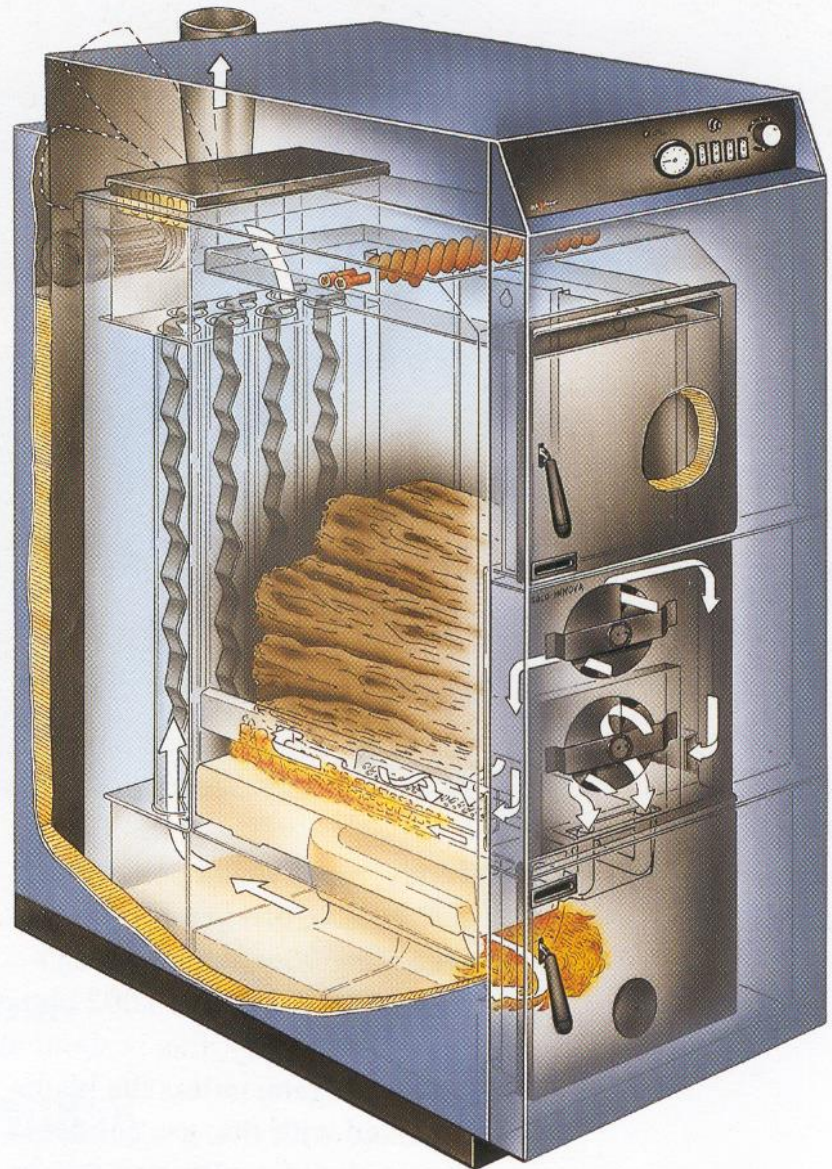
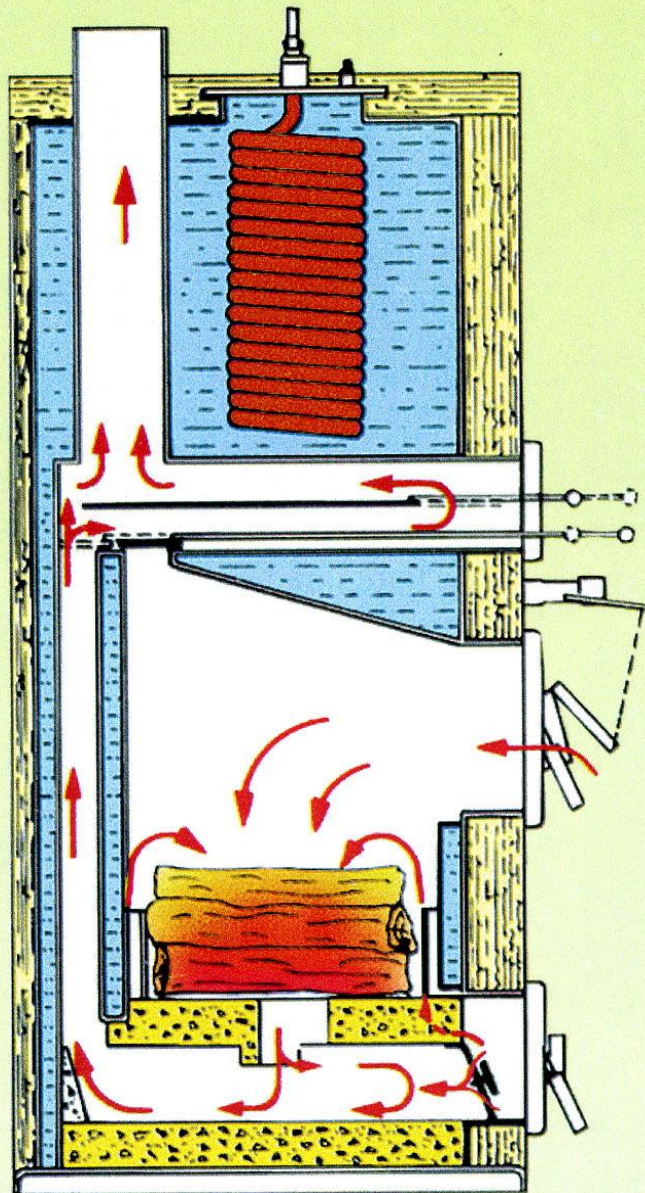


Alumise
põlemisega
katel töötab
ühe laadungiga
3-3,5 h.



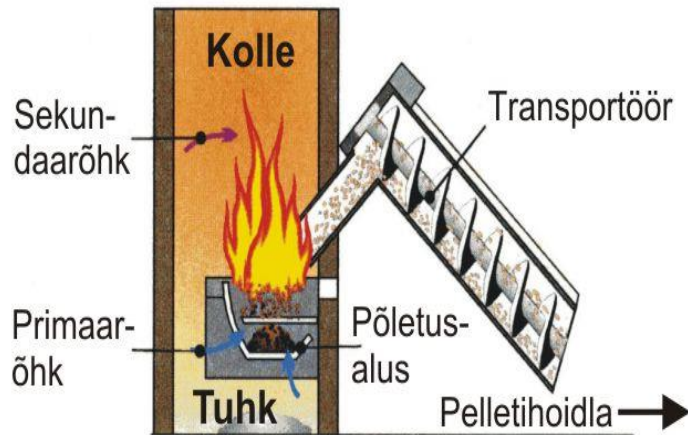
• Katla soojuslik võimsus:	36,2	52 kW
• Kasutegur:	90,1	92%
• Suitsugaaside temperatuur:	100	107 °C
• Vingugaas (CO):	770	884 mg/Nm ³
• Tahked osakesed:	36	31mg/Nm ³

Pöördpõlemisega katel

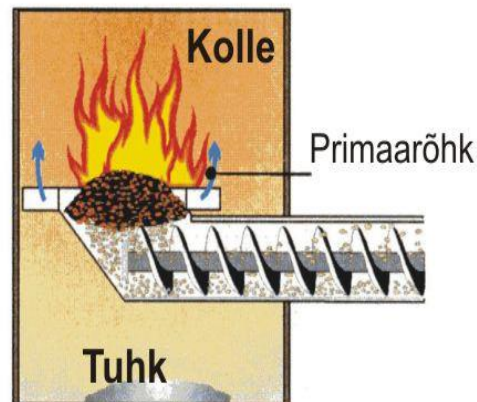


Pelletite koldesse söötmise ja põletamise tehnoloogilised lahendused

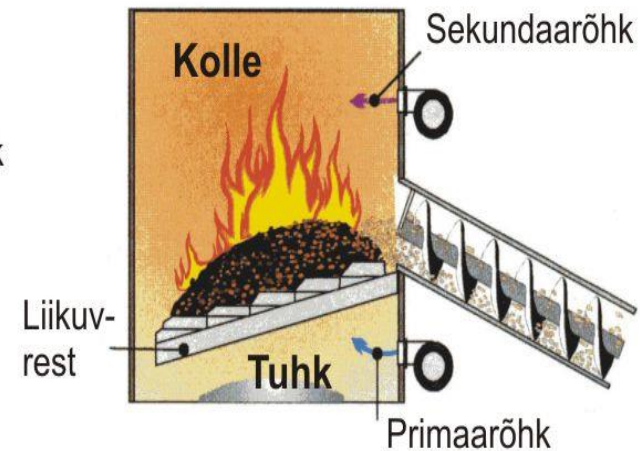
a)



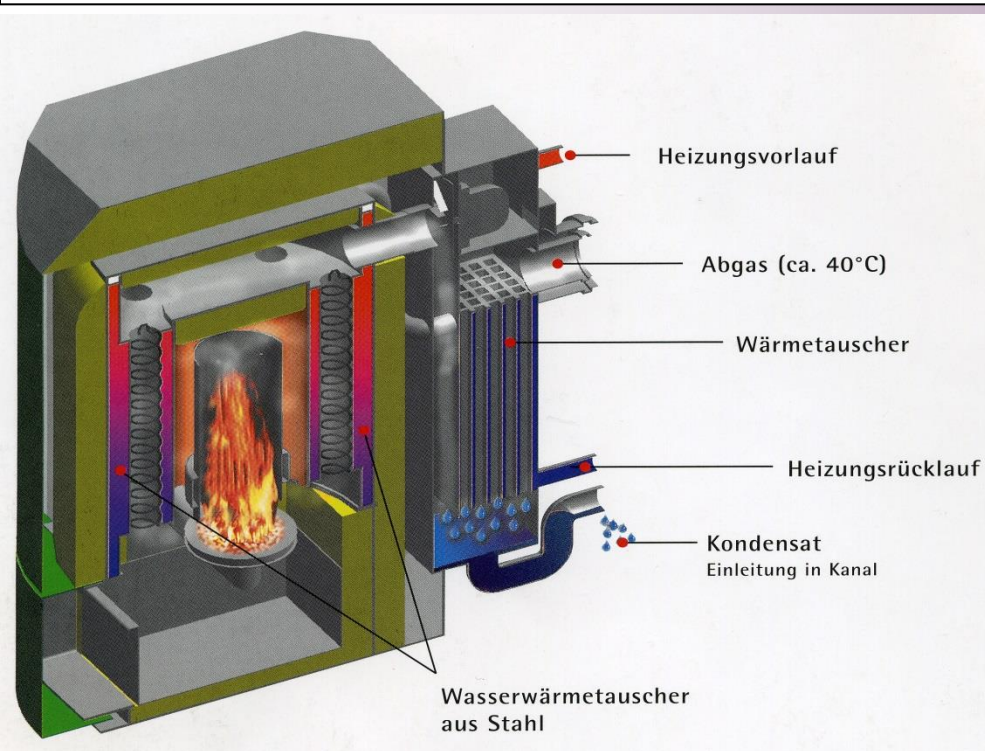
b)



c)



Pelletikatel, hakkpuidukatel

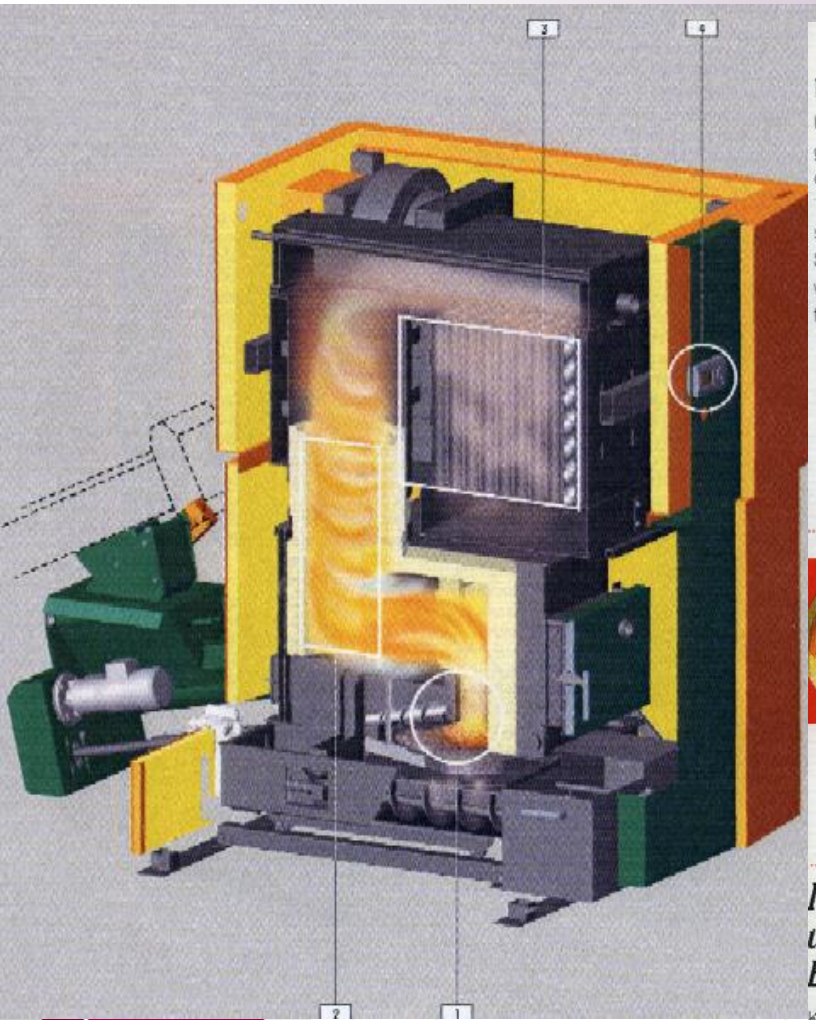


Ülal: pelletikatel ja pelletipõleti

Paremal all: Hakkpuidukatla
koldepõhi



Arendatud pelletikatlad



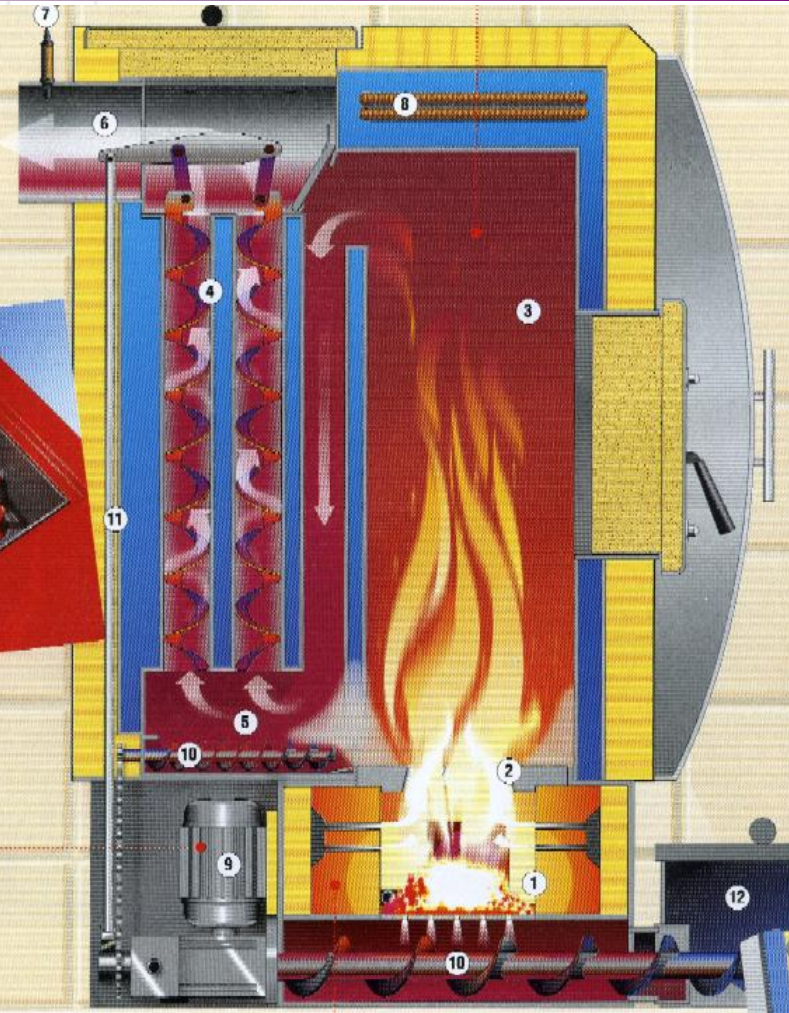
Wirbel im Rundrohr

Um die gewonnene Energie voll zu nutzen, leiten wir die erhitzte Luft mit den Turbulatoren in einem spiralförmig verlängerten Strömungsweg so nahe wie möglich an die Wärmetauscher heran.

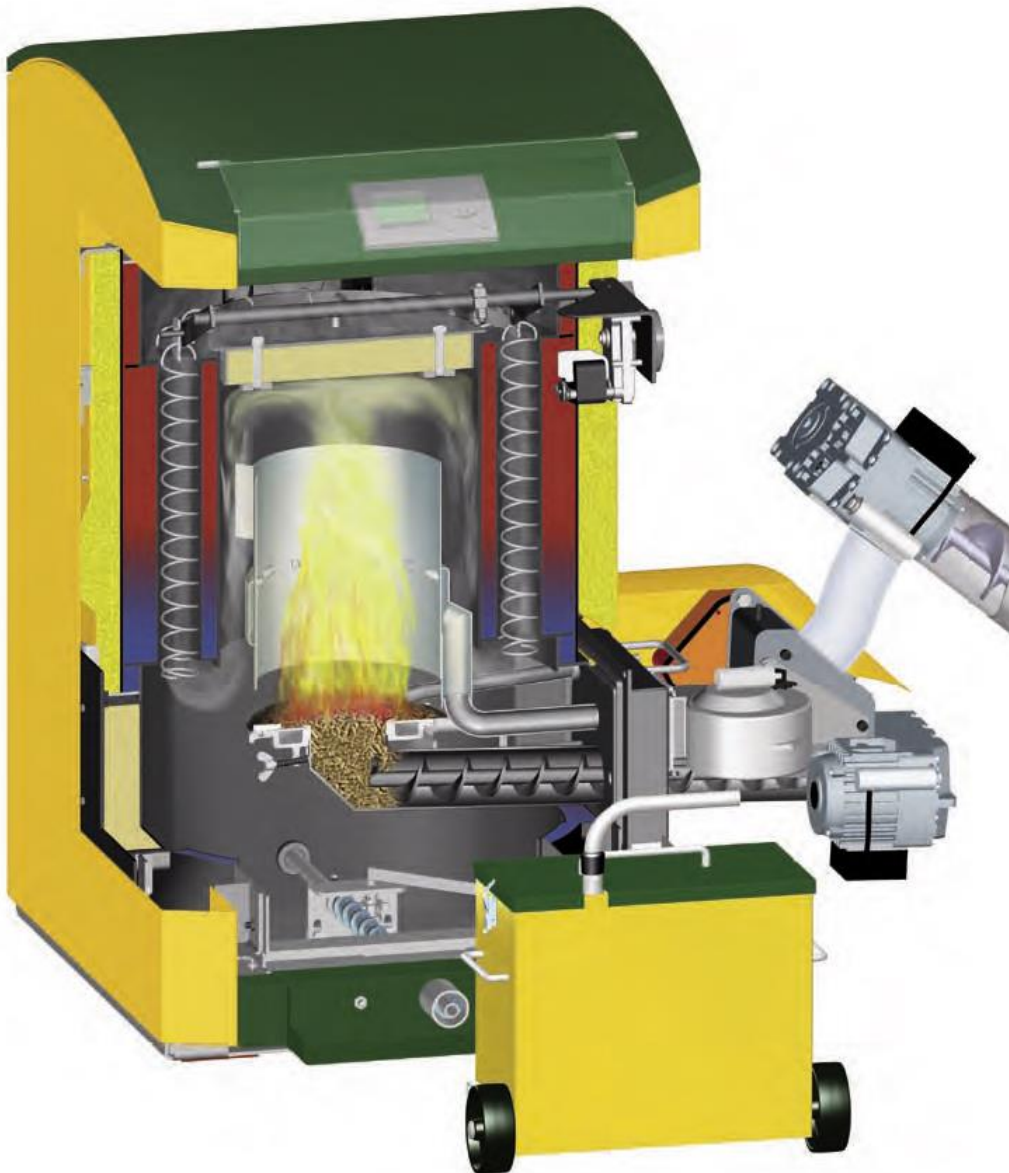


Innovative Technik von Hargassner: Ein Motor für alles

Kesselputzeinrichtung, Flugasche-

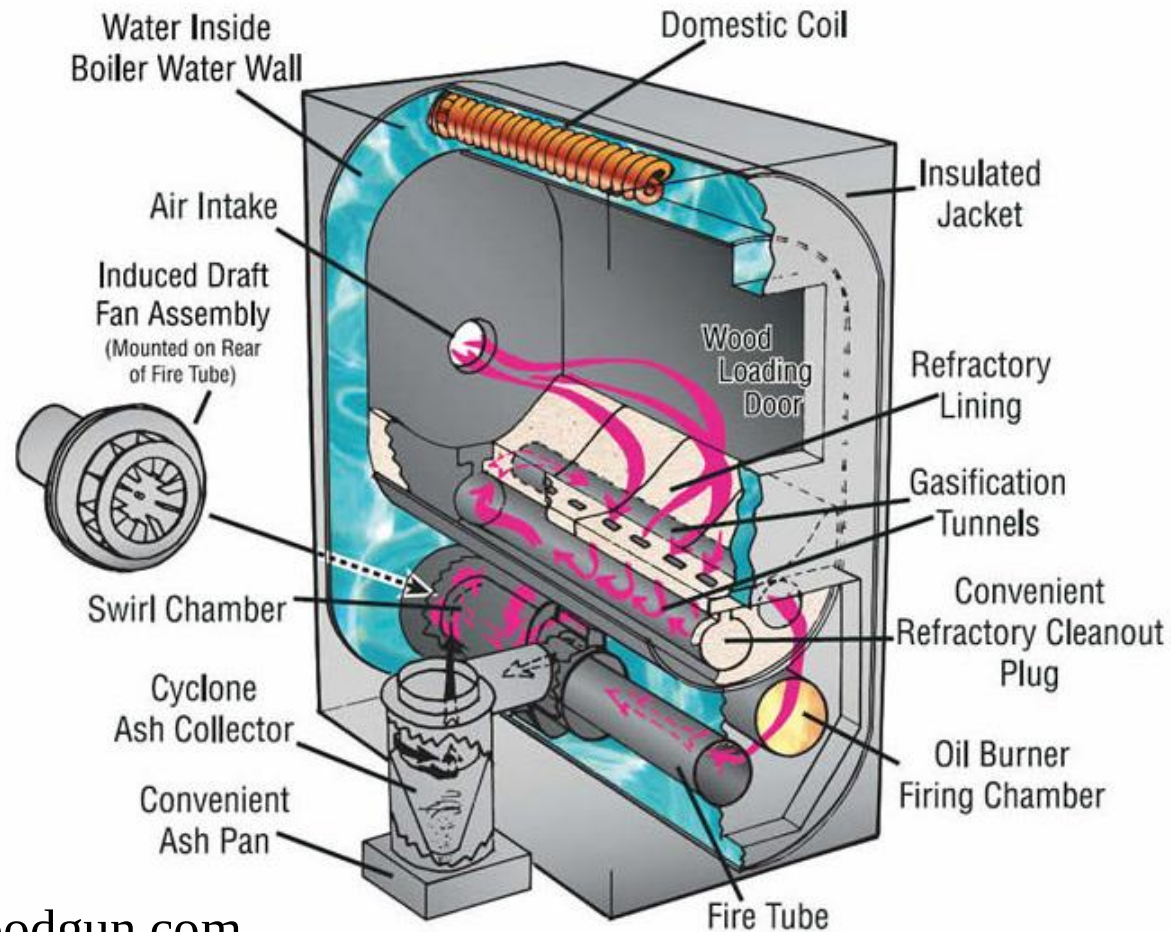


Arendatud pelletikatel



Arendatud halupuu katel

<http://alternateheatingsystems.com/wood-gun/wood-gun-sales-video.html>



www.woodgun.com

Puidu gaasistamisega saab kasutada elektrigeneraatoreid, sisepõlemismootoreid (s.h teedeväliseid masinaid), aga ka tavalisi soojavee katlaid. Üks näide on Wood Gun katelseade. Alternate Heating Systems Inc. USA.

Ariterm BioJet põleti



Keraaminen paloholvi

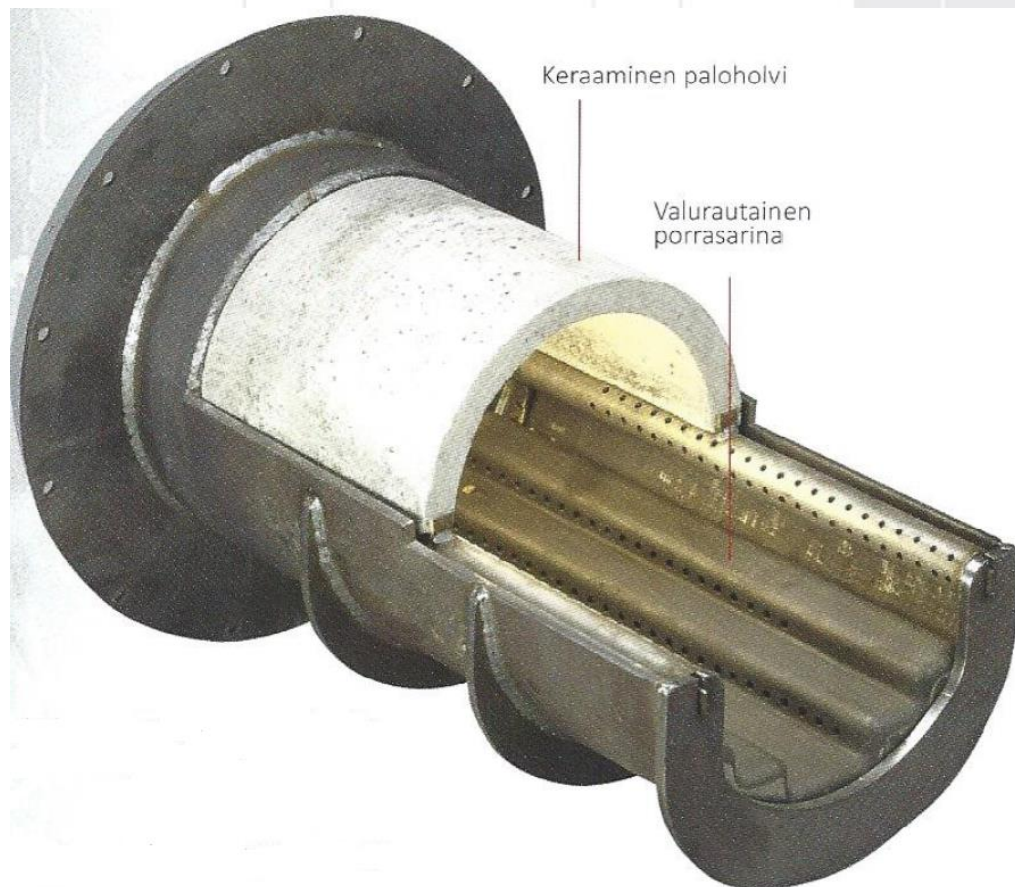
Porrasarina

Vesijäähdytteinen vaippa



- Põleti töötab hästi koormusvahemikus 20-100%. Ariterm BioComp katlaga on saadud kasutegur nimikoormusel ning pelletikütel 95,2% ja 94,8% hakkpuidu kütel. Toodetakse võimsustel 60-1500 kW. Suurematel kateldel 2 põletit.

Arimax katlale HakeJet põleti



- Primaar- ja sekundaarõhule on eraldi põlemisõhu ventilaator. Maksimaalne hakkpuidu niiskus võib olla 40%.

Biokütuse (hake, pellet) katel elamu keldris

<http://www.miripiri.eu/structure>

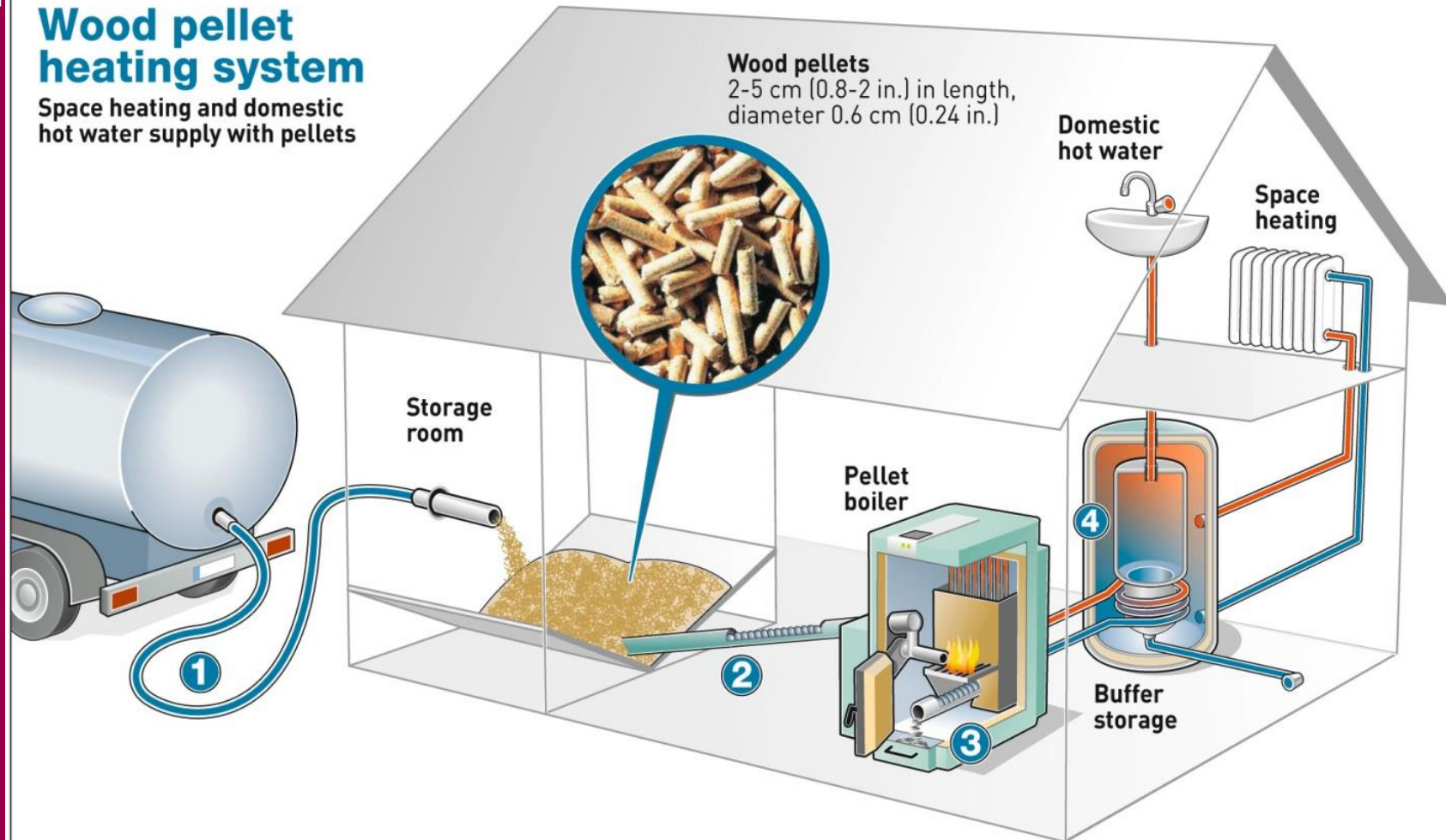


Elamu küttesüsteem pelletitega

<http://www.northernforest.org/faqs.html>

Wood pellet heating system

Space heating and domestic hot water supply with pellets



① Once or twice a year the pellets are delivered by a silo tanker. A loaded storage room of 4.5 m² is enough to keep a single-family house warm for one year.

② The pellets are carried from the storage room to the boiler by a fully automatic pellet feed.

③ After the burning process all that's left is ash – with a weight of only 0.5 per cent of the original pellet. The ash can be disposed of with the domestic waste.

④ If the pellet boiler is interconnected with a buffer storage, emissions can be reduced and efficiency increased.

Katla võimsuse valikust



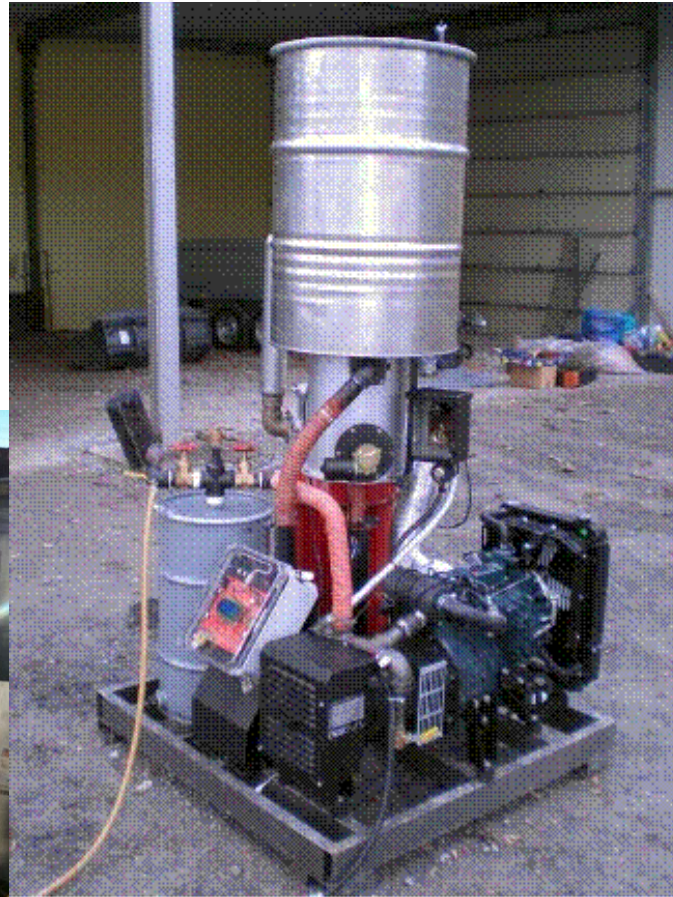
- Arvutus lähtub läbi piirete minevate ja õhuvahetuse soojuskadude ning sooja vee vajaduse leidmisest $[Q_{(W)} = U_{(W/m^2K)} * A_{(m^2)} * dT_{(K)}]$.
- Vanade soojustamata majade puhul võib võtta soojusvajaduseks 90 W/m^2 e 100 m^2 maja korral oleks katla võimsus 9 kW .
- Puitkütuse katlad valitakse reeglina suuremad (võimsamad), sest pidevalt neid üldjuhul ei köeta, nn perioodilise kütmisega katlad.
- Kaasaegsete, uuemate elamute küttevõimsus oleks $40\text{-}50 \text{ W/m}^2$.
- Võimsuse osa sooja tarbevee vajaduse katmiseks peaks juurde liitma. Osalt kompenseeriks akumulatsioonipaak.
- Puitkütuse kateldest leiab $\sim 10 \text{ kW}$ võimsuse piires ainult pelletikatlaid.

Puugaas, 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.

http://gekgasifier.com/gasification-store/gasifier-genset-skids/?_kk=biogas&_kt=c6382e74-2011-4197-a1c4-cbc2f7ac4710&gclid=CLCHjI2hka0CFcUI3god3VtaoQ



Power Pallets: Integrated Gasifier-Genset Skids

Biomassi gaasisti koos gaasimootoriga 10-20 kWe (teisaldatav, lohistatav).

Maksumus 1-2 USD watt (keskmise hind 22500 \$, 17,3 tuh € ehk 270 000 EEK)



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 – Meccalte genhead: \$16,995

20 kw GEK Power Pallet, GM engine – Meccalte genhead: \$25,995
US Ast kohale toimetamine \$1800-2500.

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 kW_{el} and 70 - 110 kW_{th}.



Holz-Kraft von Spanner: Durch und durch deutsche Wertarbeit

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





Puitkütusel töötavate SEKide võimsusvahemikud (*wood-power-plant*)

Võimsusvahemik	Soojuse väljastus		
	Karburaator- sõlm	CHP seade	Kokku
30 kW electrical 66 kW thermal	ca. 10 kW	ca. 56 kW	ca. 66 kW
40 kW electrical 88 kW thermal	ca. 12 kW	ca. 76 kW	ca. 88 kW
45 kW electrical 100 kW thermal	ca. 15 kW	ca. 85 kW	ca. 100 kW
Hakkpuidu vajadus: 1 kW elektrilise võimsuse kohta umbes 1 kg tunnis			

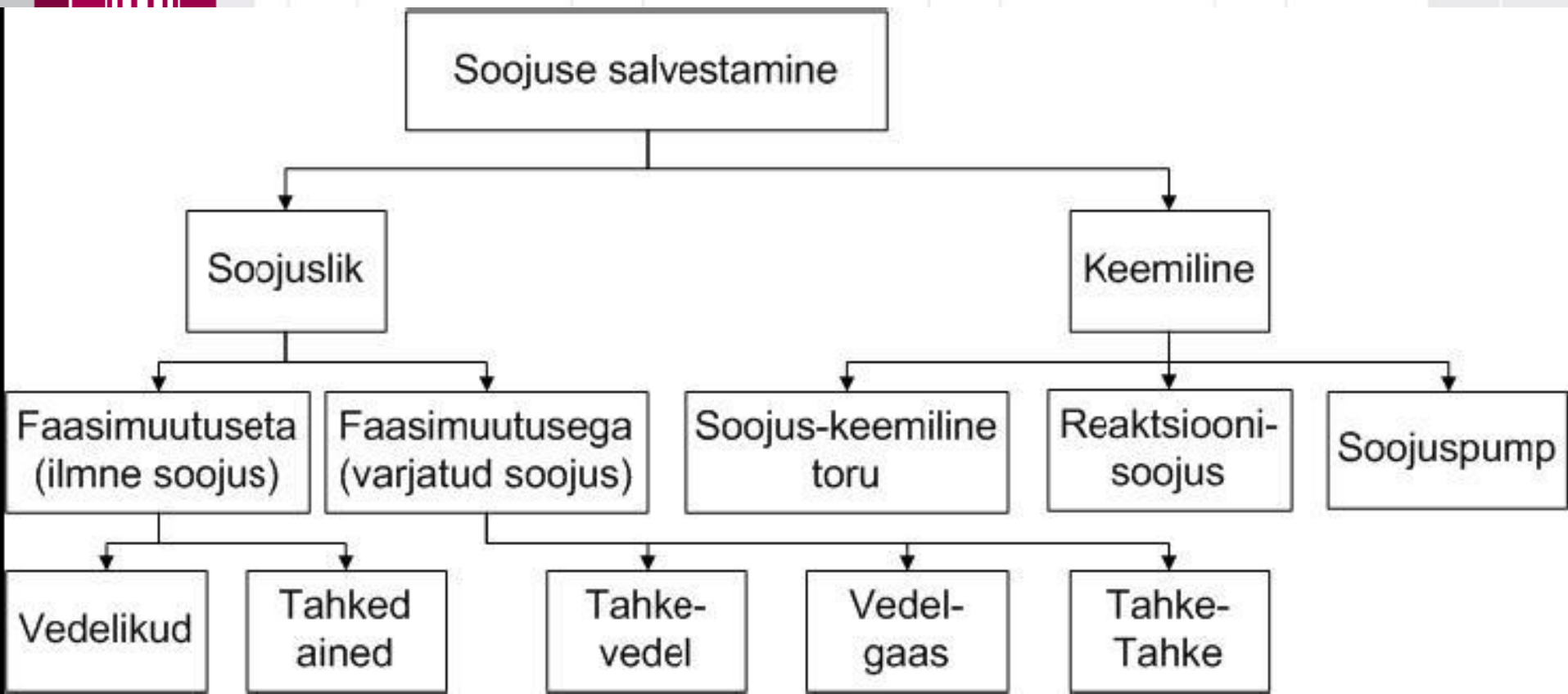


Energia salvestamine - soojussalvestid



- Allikas: TTÜ. Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele.
Osa II: ENERGIASALVESTID JA SALVESTUSTEHNOLOOGIAD

Päikeselt saabuva energia salvestamine soojusena



Soojuse salvestamisel juhitakse soojust salvestavale ainele ning soojuse kasutamisel eemaldatakse soojus salvestavalt ainelt.



Soojuse salvestus

- Madalatemperatuuriline soojuse salvestamine toimub temperatuuridel kuni 200 °C.
- Seda on laialdaselt uuritud ning see leiab kasutust ka hoonete kütte- ja jahutussüsteemides.
- Kõrgetemperatuuriline soojuse salvestamine on üle 200 °C ning see leiab rakendust nt tööstuses, elektrijaamades (sh päikeseelektrijaamad).
- Soojuse salvestamist võib klassifitseerida - aktiivne, passiivne või salvestusmehhanismi järgi - faasimuutusega, faasimuutusega ja keemiline.



Passiivne soojuse salvestamine

- Passiivsete süsteemide korral kasutatakse soojuse ülekandmiseks soojust salvestavale ainele soojuskandjat.
- Soojust salvestav aine ise on nõ paigal ja soojust salvestavaks aineks võib olla nt tahke aine, vedelik, faasimuutusega materjal või mõni muu aine keemiliseks soojuse salvestamiseks.

$$W = m c (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

W salvestatud soojus J

m salvestusaine mass kg

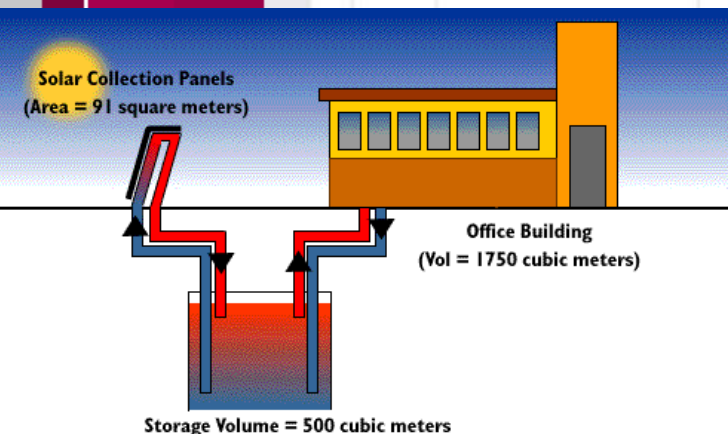
c salvestusaine erisoojus J / (kg K)

ϑ_2 kuumutustemperatuur °C

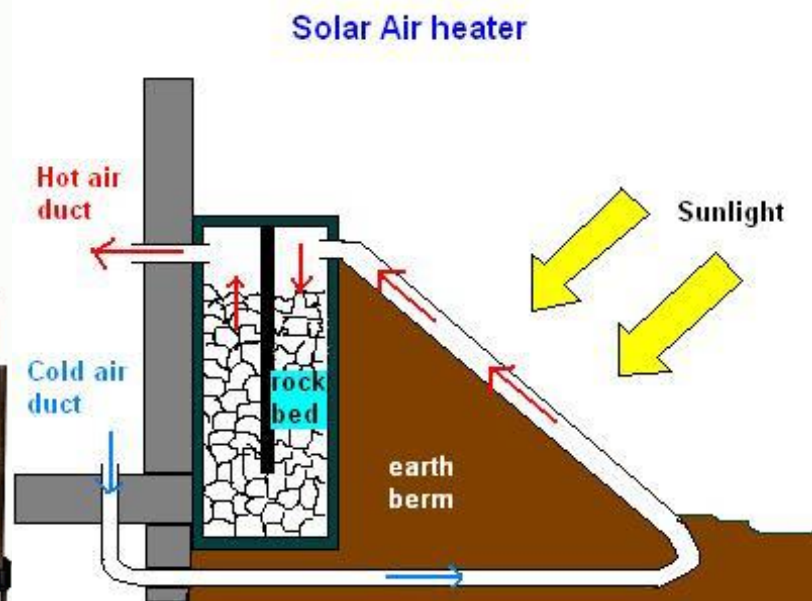
ϑ_1 alg- või mahajahtumistemperatuur °C

Erisalvestusvõime on seega

$$w = W / m = c (\vartheta_2 - \vartheta_1) .$$



Soojussalvesteid - faasimuutuseta



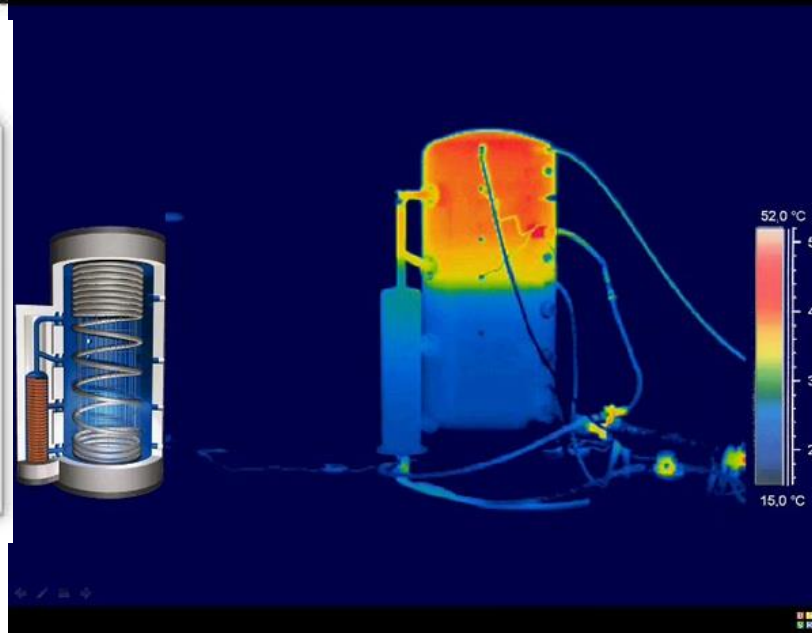
Wood:
3 kg
ca. 12 kWh



Stone:
1200 kg, 0,48 m³
12,1 kWh



Salt hydrate
130 kg, 0,10 m³
12,1 kWh





Faasimuutusega salvestamine

- Faasimuutusega salvestamine põhineb mingi aine faasimuutusel, st salvestamisel muutub aine agregaatolek nt tahkest vedelaks ning salvestatud soojuse eemaldamisel toimub vastupidine protsess.
- Näiteks vedelas oleks sulatatud sool sisaldab rohkem soojust massi kohta kui tahkes olekus sool.
- Faasimuutusega salvestamist peetakse paremaks kui faasimuutuseeta salvestamise viisi tänu suuremale salvestusvõimele sama massi/mahu ühiku kohta ehk suuremale energiatihedusele.
- Faasimuutusega materjalide üheks puuduseks on madal soojusjuhtivustegur, mille tõttu on soojuse salvestamise kui ka salvestatud soojuse tarbimise protsess suhteliselt aeglane.



Faasimuutusega salvestamine II

- Faasimuutusega salvestamisel avaldub salvestatud soojus valemiga:

$$W = m [c_t (\vartheta_s - \vartheta_1) + C + c_s (\vartheta_2 - \vartheta_s)]$$

W salvestatud energia J

m salvestusaine mass kg

c_t erisoojus tahkes olekus J / (kg K)

c_s erisoojus sulas olekus J / (kg K)

C sulamissoojus J/kg

ϑ_1 algtemperatuur °C

ϑ_s sulamistäpp °C

ϑ_2 kuumutustemperatuur °C

Uuringud on näidanud, et näiteks võrreldes kaljupinnasega vajab Parafiin 116 Wax seitse korda väiksemat salvestusmassi, meditsiiniline parafiin viis korda ja $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ kaheksa korda.



Salvestite sidumine ehitistega

- Ehitiste juures uuritakse erinevaid võimalusi faasimuutusega soojussalvestite integreerimiseks hoone konstruktsiooni ja ehitusmaterjalidega.
- Kolm kõige lootustandvamat tehnoloogiat on faasimuutusega materjali otsene kokkusegamine konstruktsioonimaterjaliga, immersioon (sukeldamine) või kapseldamine.
- Faasimuutusega salvestamist ei kasutata hoonetes mitte ainult soojuste salvestamiseks vaid ka külma salvestamiseks, nt öisel ajal salvestatakse külma, mida on võimalik päeval ajal kasutada hoone jahutamiseks jahutustippude silumiseks.

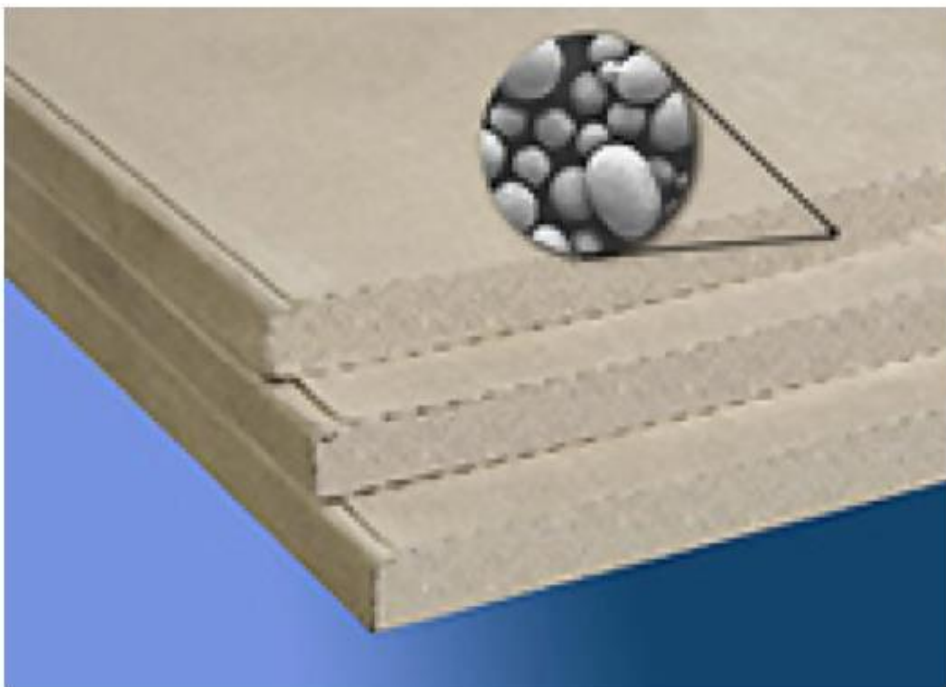


Mikrokapseldamine

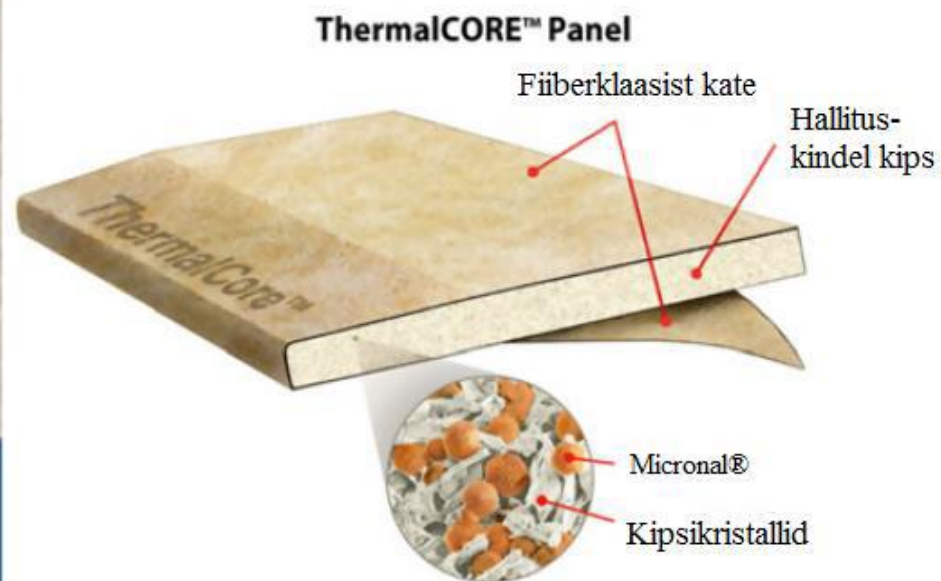
- See on meetod, kus faasimuutusega materjal suletakse õhukesse, hermeetilisse, suure molaarmassiga polümeersesse kilesse, mis säilitab oma kuju ja väldib faasimuutusega materjali leket.
- Mikrokapselduse tehnoloogia abil on faasimuutusega materjale lihtsam ja ökonoomsem liita ehitusmaterjalidega.
- Siiski on oht, et selline meetod vähendab ehitusmaterjali tugevusomadusi.
- Samuti vajab täiendavat uurimist tuleohutus.
- BASF on välja arendanud faasimuutusega materjali Micronal®, mida pakutakse kasutamiseks ehitusmaterjalides.



Micronal® faasimuutusega materjali sisaldav kipsplaat (BASF) b) thermalCORE faasimuutusega kipsplaat (National Gypsum)



(a)



(b)

- Allikas: TTÜ. Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele. Osa II: ENERGIASALVESTID JA SALVESTUSTEHNOLOOGIAD



Kommertskasutuses olevad faasimuutusega materjalid.

Materjal	Sulamistemperatuur, T_s (°C)	Sulamissoojus, C (kJ/kg)	Erisoojus, c_p (kJ/(kgK))	Soojusjuhtivus , λ (W/(mK))	Tootja
RT 20	22	172	-	-	Rubitherm GmbH
RT 25	25	147	2,9(tahke) 2,1(vedel)	1,02(tahke) 0,56(vedel)	Rubitherm GmbH
RT27	26-28	179	1,8(vedel) 2,4(tahke)	0,2	Rubitherm GmbH
STL 27	27	213	-	-	Mitsubishi Chemicals
Climsel C23	23	148	-	-	Climator
Climsel C24	24	216	-	-	Climator
S27	27	190	1,5(tahke) 2,22(vedel)	0,79(tahke) 0,48(vedel)	Cristopia
TH 29	29	188	-	-	TEAP
SP 22 A 17	22	150	-	0,6	Rubitherm GmbH
SP 25 A 8	25	180	2,5	0,6	Rubitherm GmbH
SP 29	29	157	-	0,6	Rubitherm GmbH

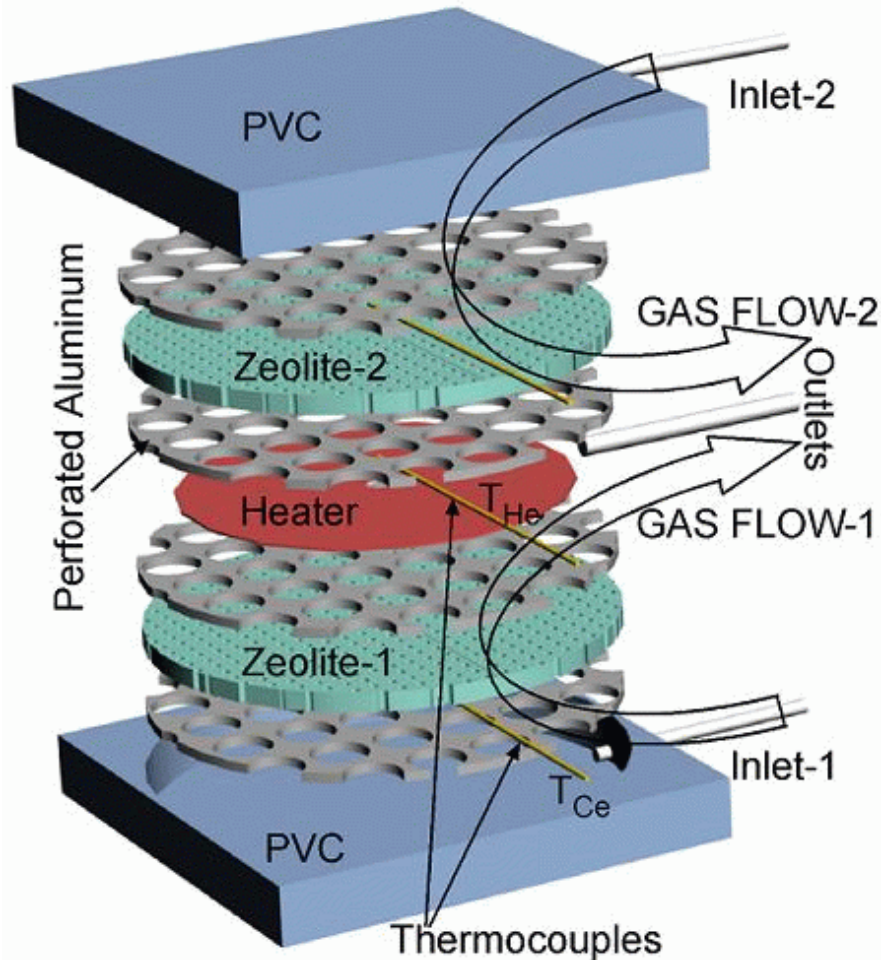


Faasimuutusega salvestid hoones

- On uuritud stabiilse kujuga faasimuutusega materjali sisaldavat komposiitplaatide kasutamist põrandamaterjaliga päikeselt tuleva soojuse salvestamiseks.
- Sulamissoojus peaks sellisel juhul olema suurem kui 120 kJ/kg ja soojusjuhtivus 0,5 W/(mK). Plaadi paksus ei tohiks olla paksem kui 20 mm.
- On välja töötatud ja patenteeritud faasimuutusega soojuse salvestamisel põhinevad plaadid. Need absorbeerivad soojust päikeselt päevasel ajal ja vajadusel kütavad maja öisel ajal.



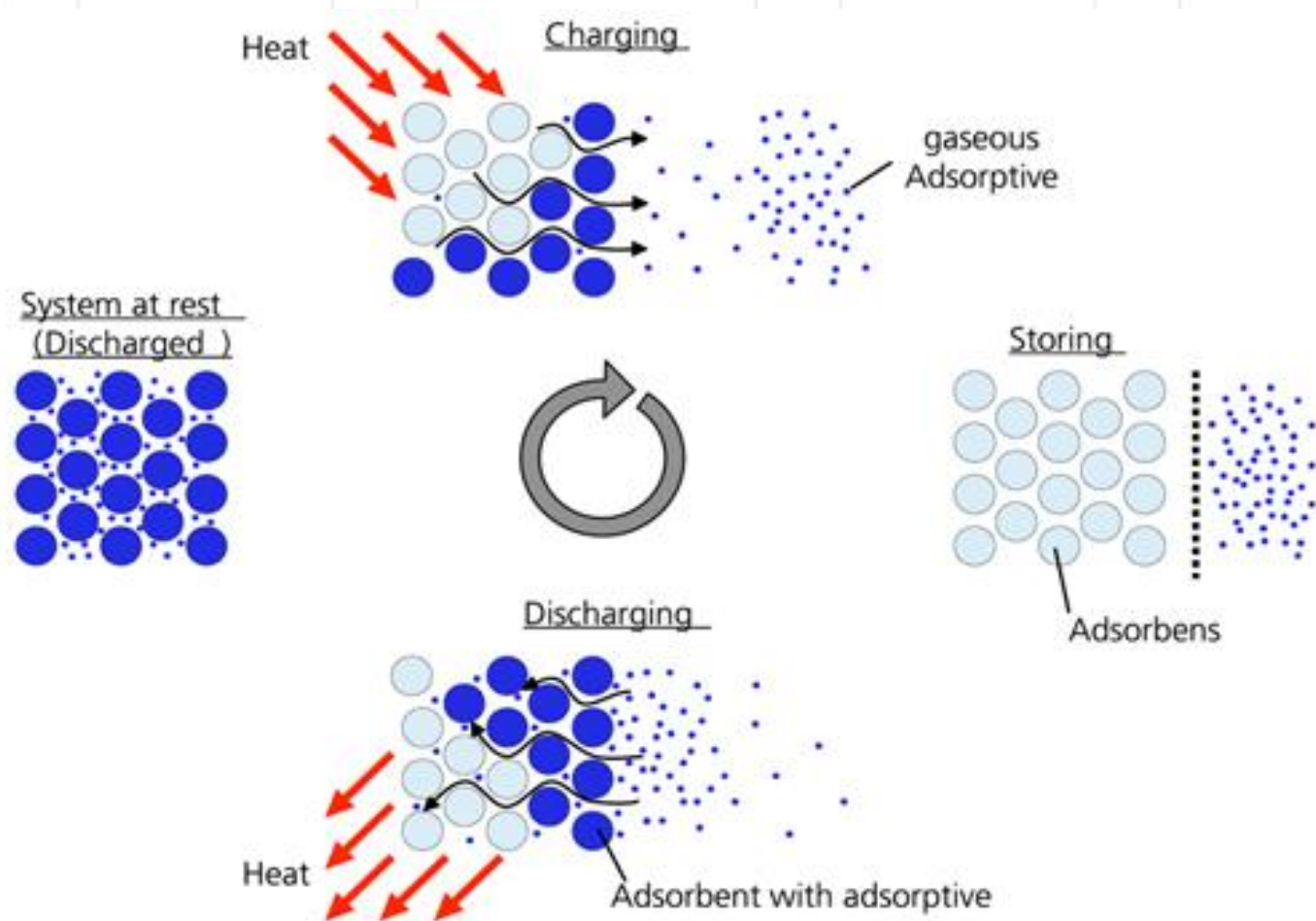
Tseoliitsalvesti



Tseoliidid on vett sisaldavate alumosilikaatide hulka kuuluvad looduslikud või tehismineraalid - Si-Al-O

- Joonisel on kujutatud tseoliidipõhine soojussalvesti. Gaas (õhk) puhutakse läbi nanopoorse tseoliidi (adsorbeerib soojust keemilistes sidemetes) külmast kuumale poole termilise aurumise kaudu.

Soojuse neeldumisel põhineva salvesti töö põhimõte

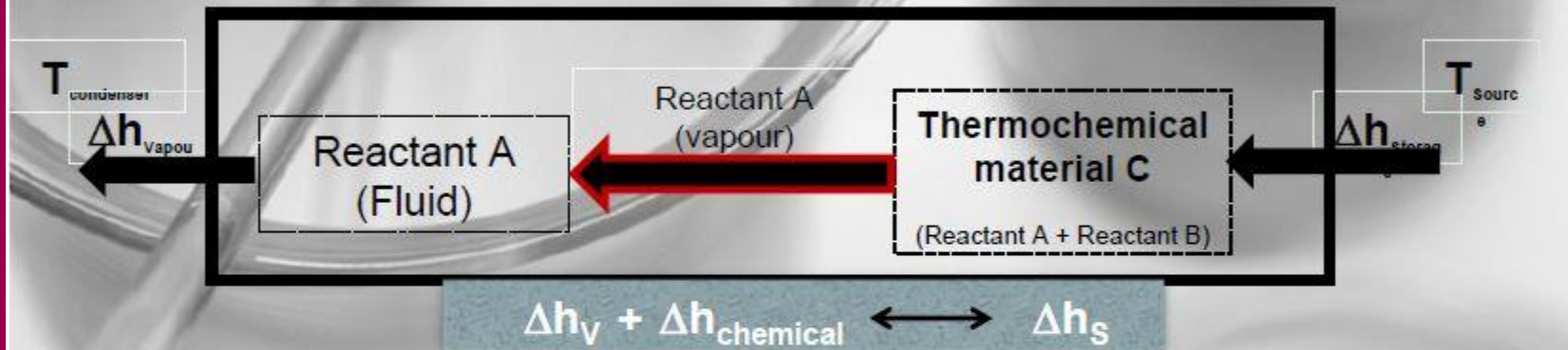


Termo-keemiline (TC) ehk sorptsioon-soojussalvesti

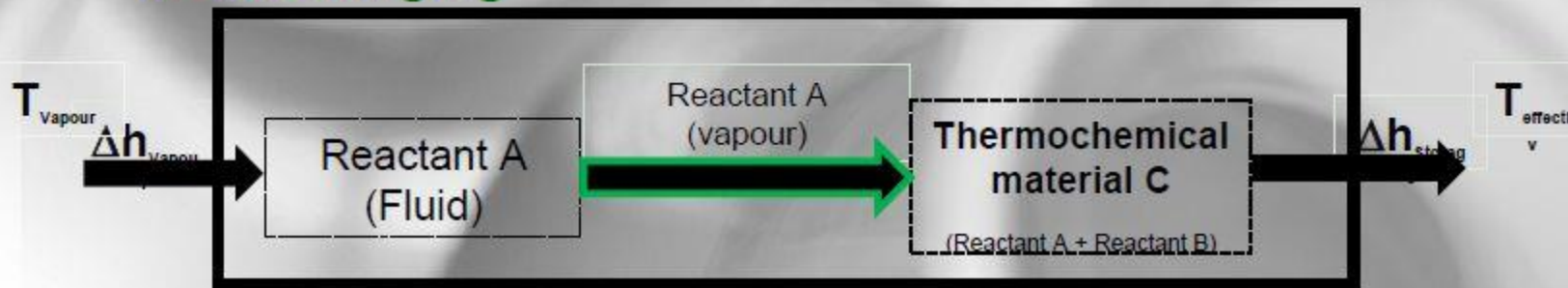


Principle of Thermochemical Heat Storage System

I. Charging



II. Discharging

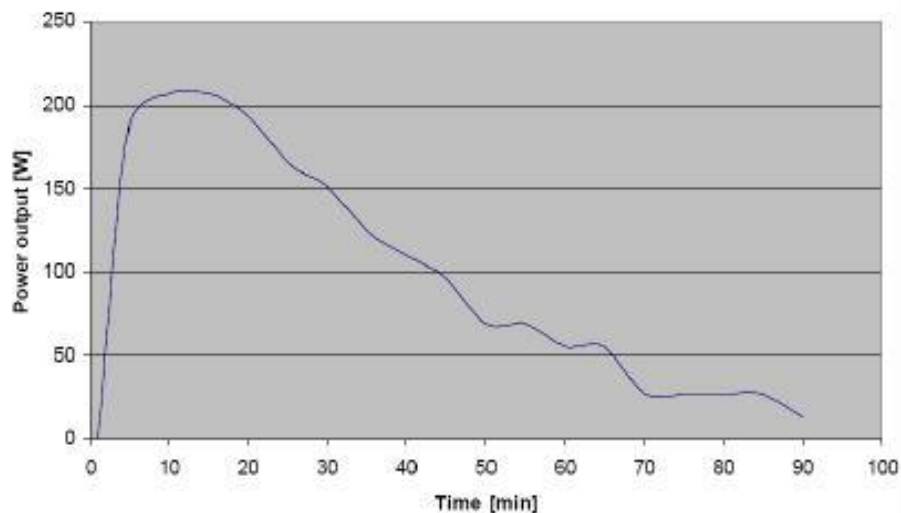


- Salvestis on väikesed tseoliitkuulikesed

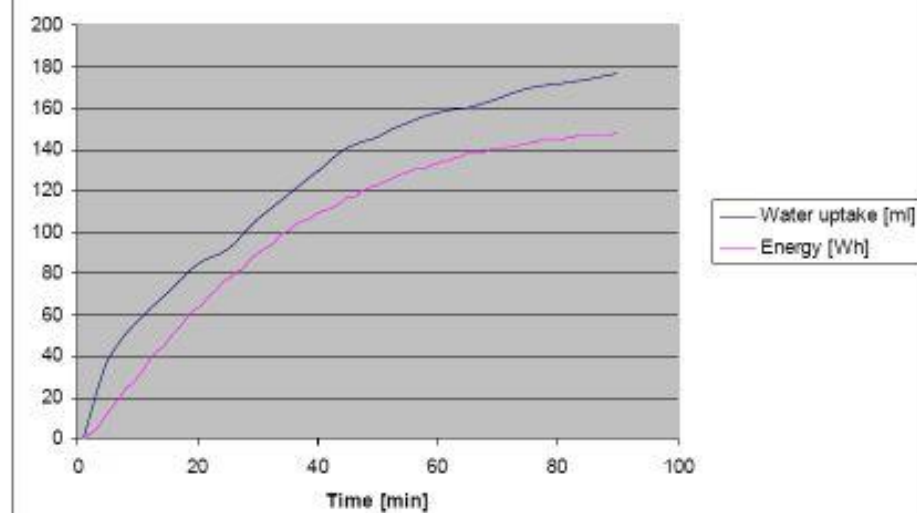


Salvesti laadimise ja tühjendamise dünaamika

Power profiles

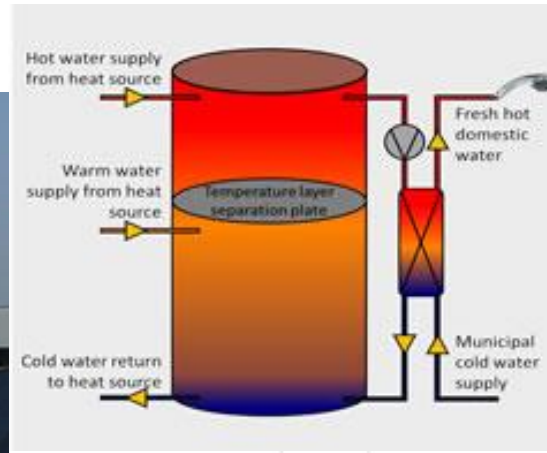
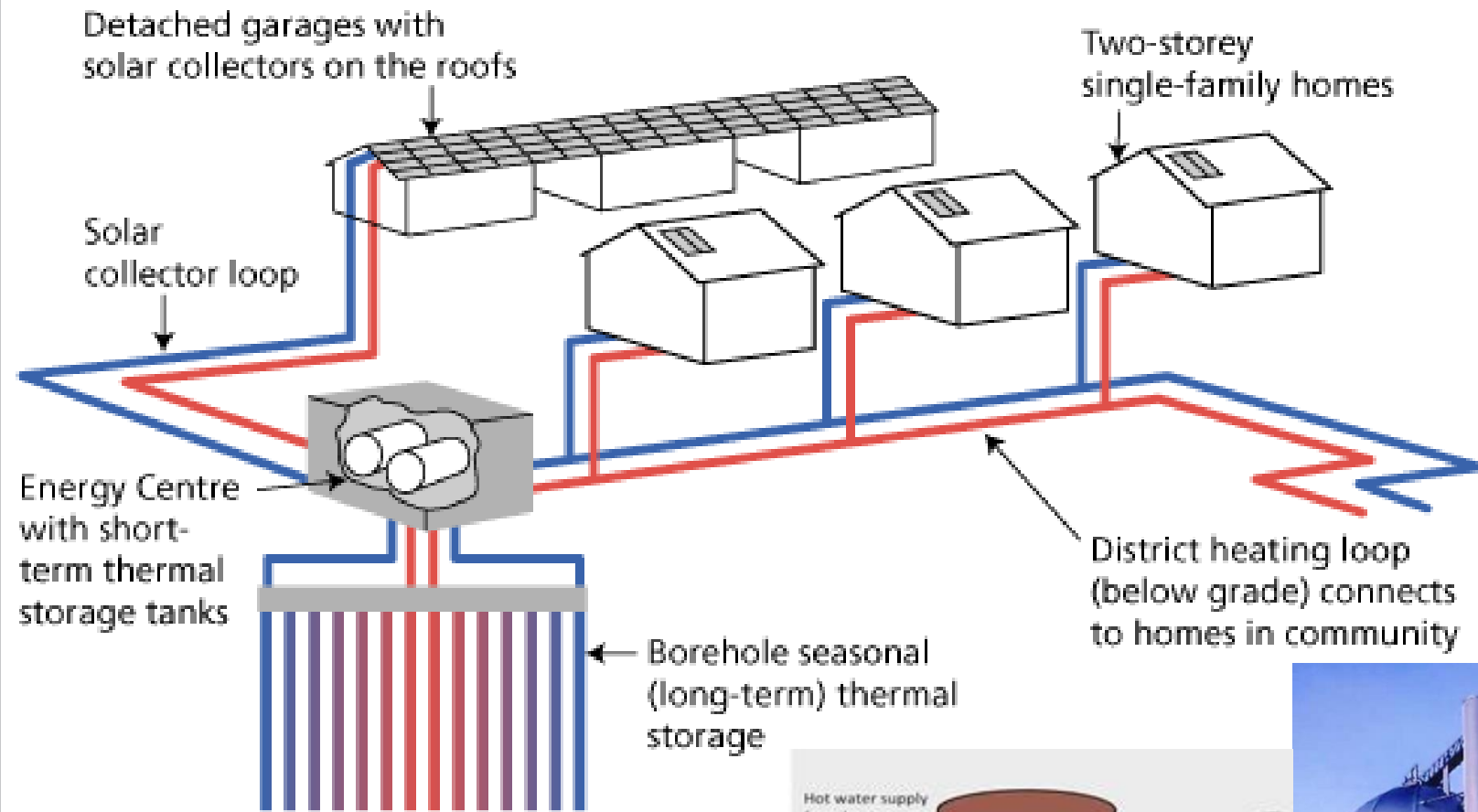


Adsorbed water amount/Heat energy output



- Lähtuvalt materjali omadustest võib termokeemilise salvestamise süsteemiga kuni 10 korda rohkem energiat salvestada samas mahus kui veega. See muudab süsteemi väga atraktiivseks, tõhusaks ja tulemuslikuks just soojuse salvestamisel.

Kaugkütte soojussalvesti





PolarSol küttesüsteem külma kliimaga maades

- <https://www.youtube.com/watch?v=PtyizFAktng>
- https://www.youtube.com/watch?v=6_Y9oOwB4XU
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZtxykHmiICw>



Kui suur (mahukas) peaks olema eramu soojussalvesti? Lihtsustatud arvutus

- Köetav pindala – 150 m^2 .
- Küttekoormus – 50 W/m^2 (arvutuslikul temp).
- Kütteallika võimsus – $150 \times 50 = 7500 \text{ W}$ e $7,5 \text{ kW}$.
- Akumulatsioonipaagi maht – $1,0 \text{ m}^3$.
- Vee tihedus – 988 kg/m^3 (50°C).
- Vee erisoojus – $4,19 \text{ kJ/(kg K)}$.
- Lähtevee temperatuur – 5°C .
- Kuuma vee temperatuur – 90°C .
- Paagis olev soojushulk:
 - $1,0 \times 988 \times 4,19 \times (90 - 5) / 1000 = 352 \text{ MJ}$ e 98 kWh .
 - Seda jätkub $98 / 7,5 = 13$ tunniks.
 - Kui $1,5 \text{ m}^3$ paak, siis jätkuks $19,5$ tunniks staatilises olukorras. Kui küttekoormus väiksem, siis jätkub kauemaks.



Tänan kuulamast!

