PÕLEVKIVI KASUTAMISE TEHNOLOOGIAD EESTIS

ESTISe seminar 26.10.2018

Prof. ALAR KONIST, PhD

Kütuse ja õhuemissioonide analüüsi teadus- ja katselabori juht, Energiatehnoloogia instituut, Inseneriteaduskond

Mis on põlevkivi?

Põlevkivi on orgaanilist ainet ehk kerogeeni sisaldav settekivim. Kerogeen sisaldab peale süsiniku suhteliselt palju vesinikku ja hapnikku, veidike lämmastikku jt elemente nagu väävel ja kloor.

$$C_{10}\,H_{15.2}\,O_{0.93}\,S_{0.08}\,N_{0.03}$$

Põlevkivid, sõltuvalt leiukohtadest, erinevad aga oma tekkelt, koostiselt, kütteväärtuselt, õli saagiselt jne.
Põlevkivide mineraalosad võivad olla väga erinevad.

Erinevad põlevkivid

Colorado põlevkivi

Queenslandi põlevkivi

Eesti põlevkivi

Brasiilia põlevkivi

Jordaania põlevkivi

Allikas: J. Schmidt. 2nd Oil Shale Conference

Energeetika Instituut

TAL TECH

PÕLEVKIVI KASUTAMINE

Kaevandamine

Põlevkivi

Põlevkiviõli tootmine

Põlevkiviõli

Tuhk

Suitsugaasid

<u>Uttegaas</u>

<u>Uttevesi</u>

Elektritootmine

Soojus/elekter

Suitsugaas

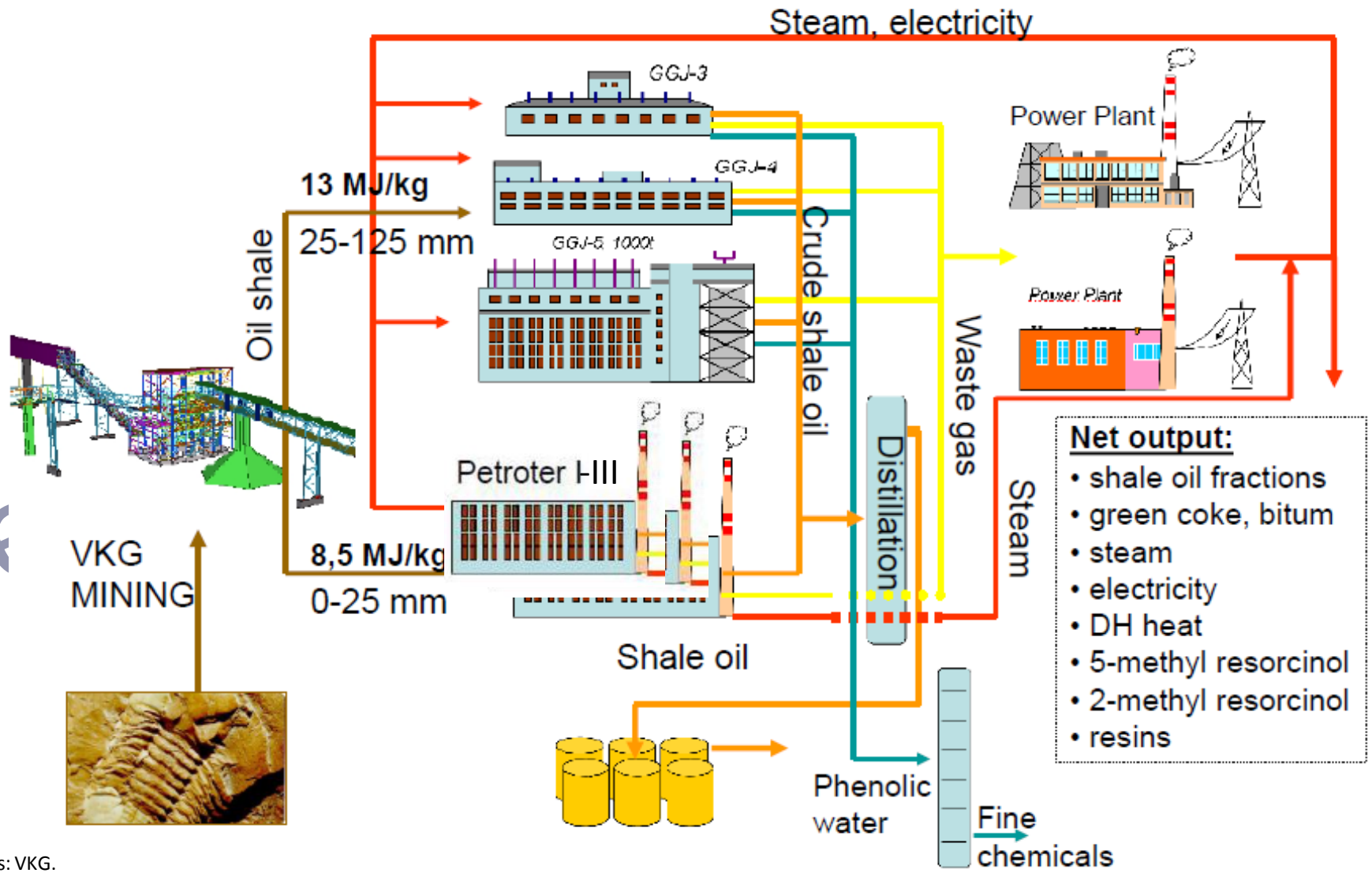
Tuhk

Tooted, jäätmed, emissioonid

Energiatehnoloogia instituut

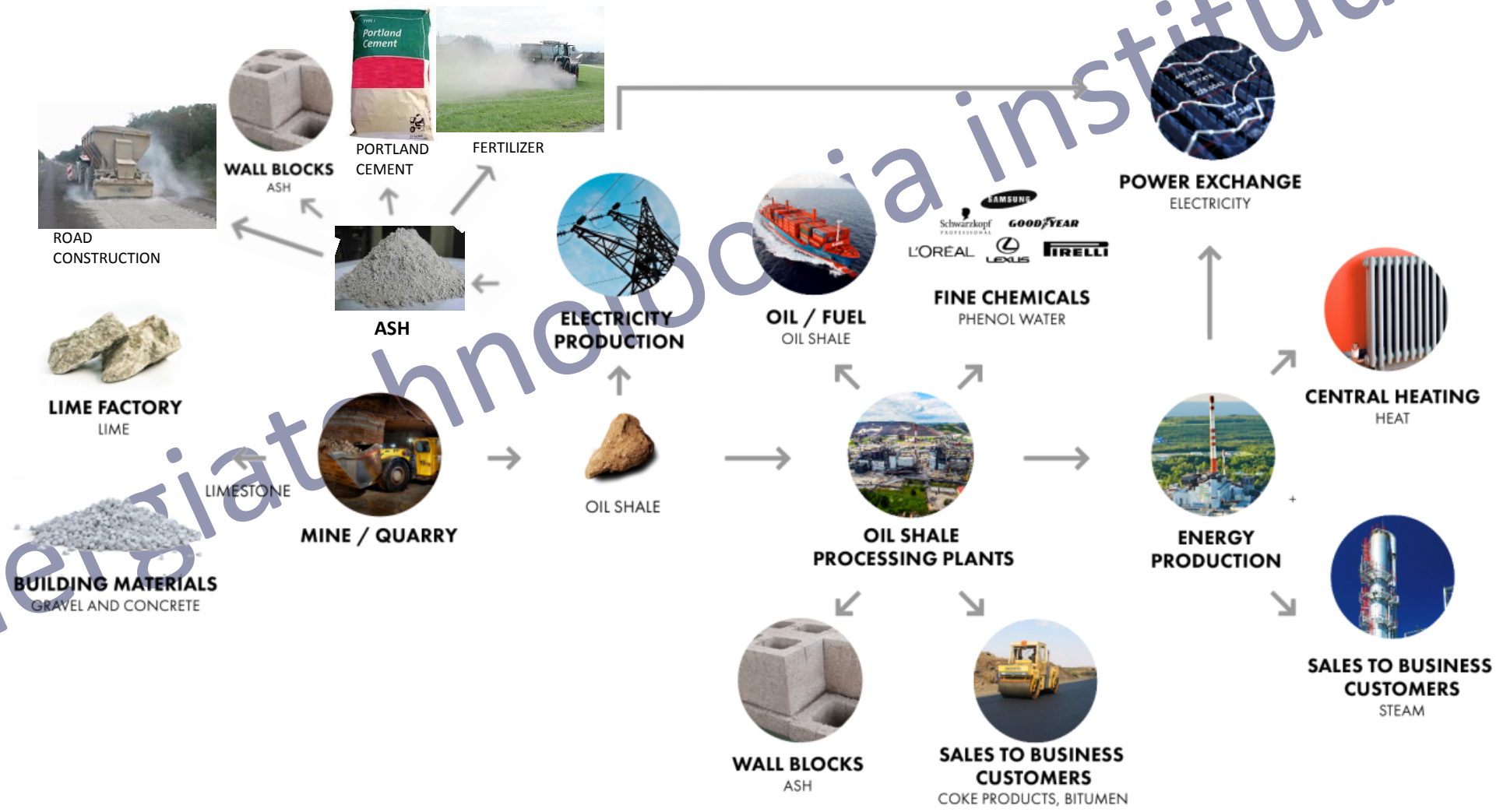
TAL TECH

VKG ÕLI- JA ENERGIATÖÖSTUS



Allikas: VKG.

PÕLEVKIVIST SAADAVAD TOOTED



Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Algallikas: VKG. Täiendatud autori poolt

ÕLI

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Põlevkivi termiline lagundamine

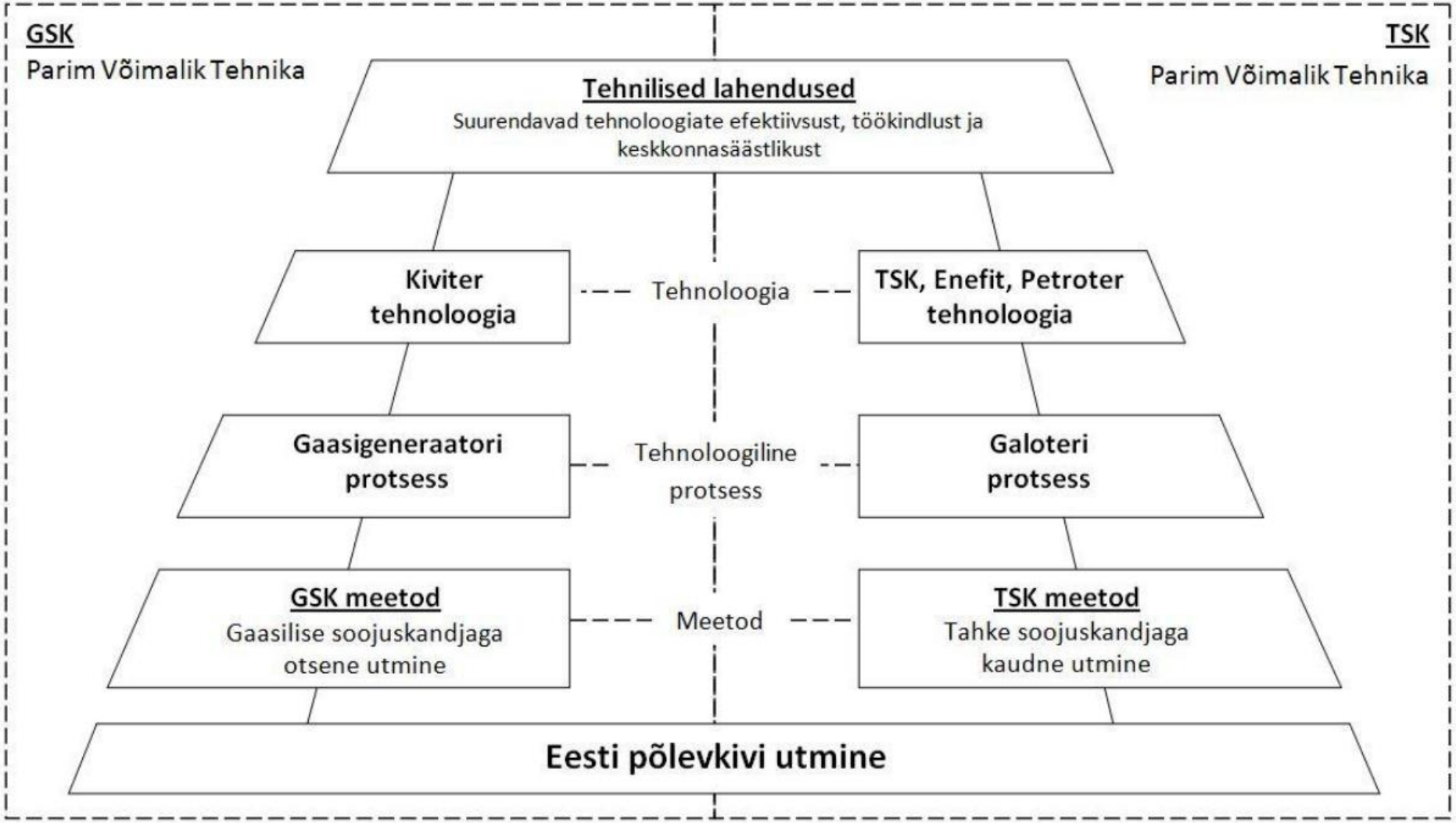
Põlevkivide termilise lagundamise seisukohalt eristatakse kahte nende ümbertöötamise tehnoloogilist protsessi:

- **madalatemperatuuriline** töötlemine, ka utmine ehk poolkoksistamine, mis toimub temperatuuridel 500–550 °C. Eesmärk on saada veeldatud produkte ehk õli.
- **kõrgtemperatuuriline** töötlemine ehk koksistamine, kusjuures kasutatavad temperatuurid on üle 550 °C. Eesmärk on tahke kütuse gaasitamine ehk toota gaasi.

•NB! Põlevkivigaasi ei toodeta aastast 1987

Energiatehnoloogia instituut

Meetod-Protsess-Tehnoloogiad



Joonis 2.1. Eesti põlevkiviõli tootmiseks kasutatav tehnika (koostanud ÅF-Consulting AS)

Allikas: https://www.envir.ee/sites/default/files/p6levkivi6li_toostuse_pvt_aruanne_05_07_2013.pdf (26.10.2018)

Tehnoloogiad maailmas

Enefit

Petroter

ATP

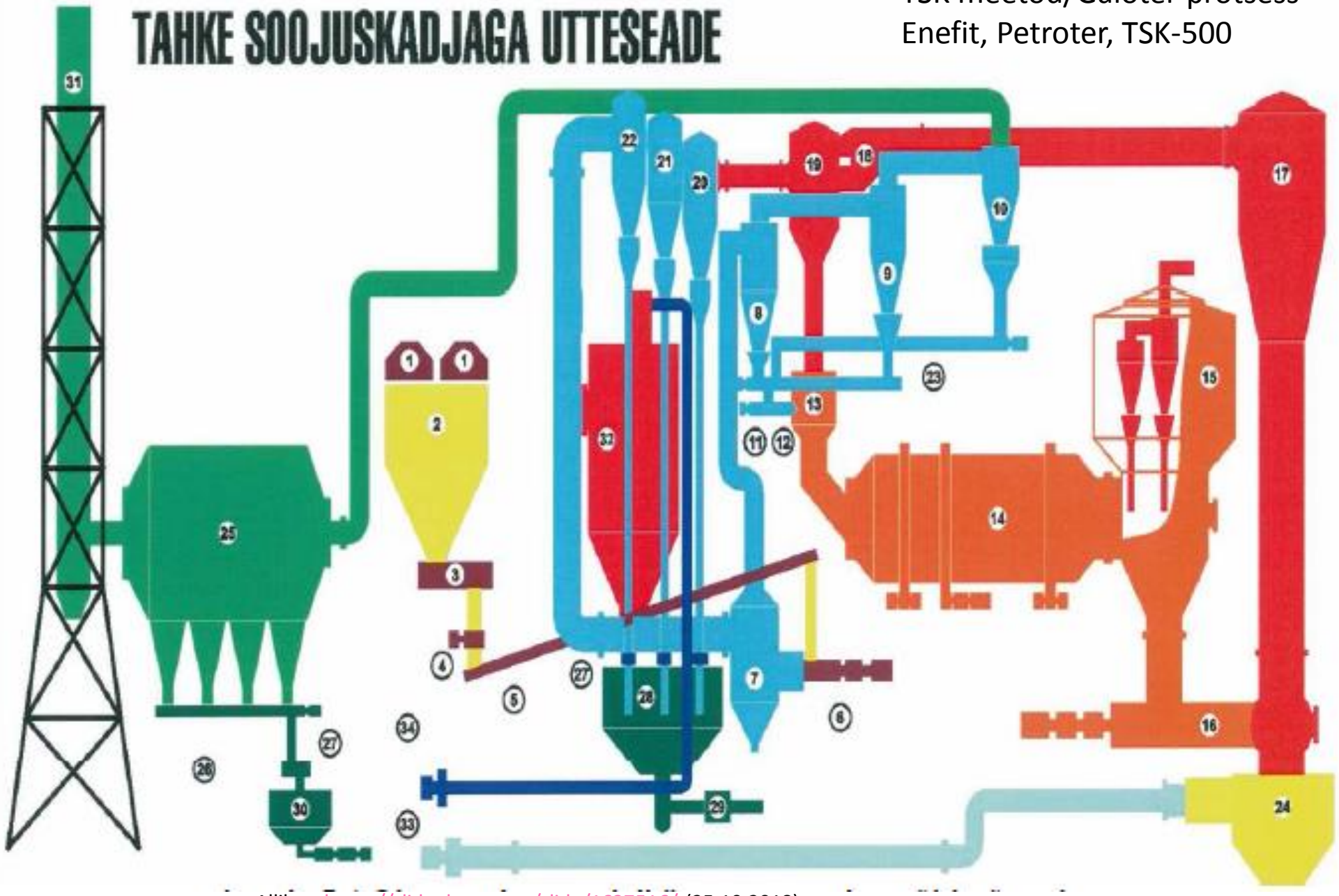
Paraho

Petrosix

Kiviter

Allikas: VKG.

TSK meetod/Galoter protsess
Enefit, Petroter, TSK-500



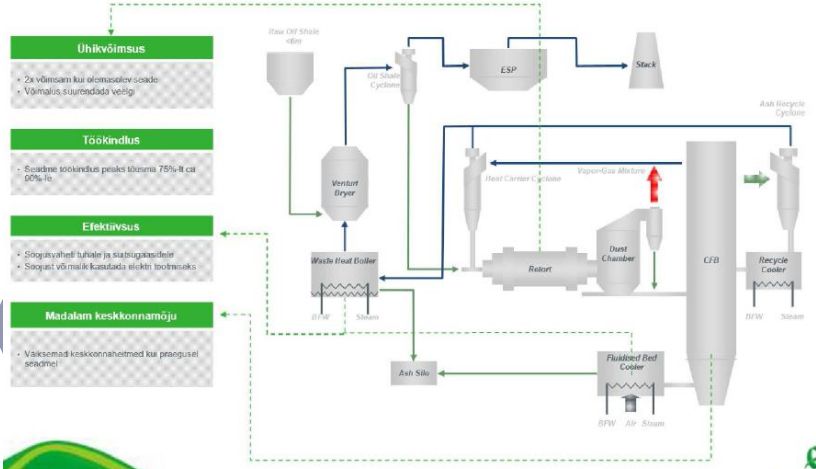
1 - Põlevkivi konveier
2 - Toorpõlevkivi punker
3 - Toitja
4 - Purusti
5 - Põlevkivi konveier
6 - Toorpõlevkivi tigutoitja
7 - Aerofontäänkuivati
8 - Kuiva põlevkivitsükloni I aste
9 - Kuiva põlevkivitsükloni II aste
10 - Kuiva põlevkivi tsüklonpüüdur
11 - Transportiv tigutoitja
12 - Hermetiseeriv tigutoitja
13 - Segisti
14 – Trummelreaktor
15 - Tolmukamber
16 - Poolkoksi tigu
17 - Aerofontäänkolle
18 - Soojuskandja möödaviik
19 - Soojuskandja tsüklon
20 - Tuhatsükloni I aste
21 - Tuhatsükloni II aste
22 - Tuhatsükloni III aste
23 - Tsüklon-püüduri tigutoitja
24 - Aerofontäänkolde punker abiahjuga
25 - Elektrifilter
26 - Elektrifiltrite punkrite tigutransportöör
27 - Segaja
28 - Tuhavee paak
29 - Tuhavee pump
30 - Elektrifiltri tuhavee paak
31 - Suitsukorsten
32 - Jääksoojuskatel
33 - Õhupuhur
34 - Õhupuhur (väike)

JUT

Allikas: https://slideplayer.com/slide/1637516/ (25.10.2018)
https://energiatalgud.ee/img_auth.php/b/b7/AF_Estivo._AS_Narva_Elektrijaamad_energiakompleksi_arendusprojekti_KMH_aruanne.pdf

Enefit280 – parem kui varem

Allolev diagramm näitab peamisi muudatusi võrreldes eksisteeriva Enefit140 seadmega



32

Enefit

Design basis for Enefit280

- 2x suurem ühiksvõimsus – 280 t/h
- Kõrge töökindlus - >90%
- Täidab EU keskkonnanormid
  - CO2~ 0,3 t/t per põlevkivi t
  - SO2 <50 mg/Nm3
  - Tahked osakesed <25 mg/Nm3
  - NOx <200 mg/Nm3
  - TOC ~0
- Kõrge efektiivsus
  - Poolkoksi täielik põletamine CFB katlas
  - Soojusvaheti tuhale ja suitsugaasile
  - Elektri tootmine

Hetkel toimub uue Enefit280 seadme ehitus Narva

- EE on võtnud vastu otsuse laiendada Narva õlitehast esialgu ühe uue Enefit280 seadmega.
  - Aastane põlevkivi tarve: 2.26 mil tons
  - Aastan õlitoodang: 290 000 tons
  - Aastane uttegaasi toodang: 75 mil m^3 (0.8 TWh)
  - Elektri tootmine: 35 MWe

TAL TECH

Allikas: https://docplayer.net/40242192-Vedelkutuste-tootmine-polevkivist-andres-anijalg-arendusprojektide-juht-ariarenduse-osakond-eesti-energia-as.html (25.10.2018)

Tavaline TSK vs TSK+CFB

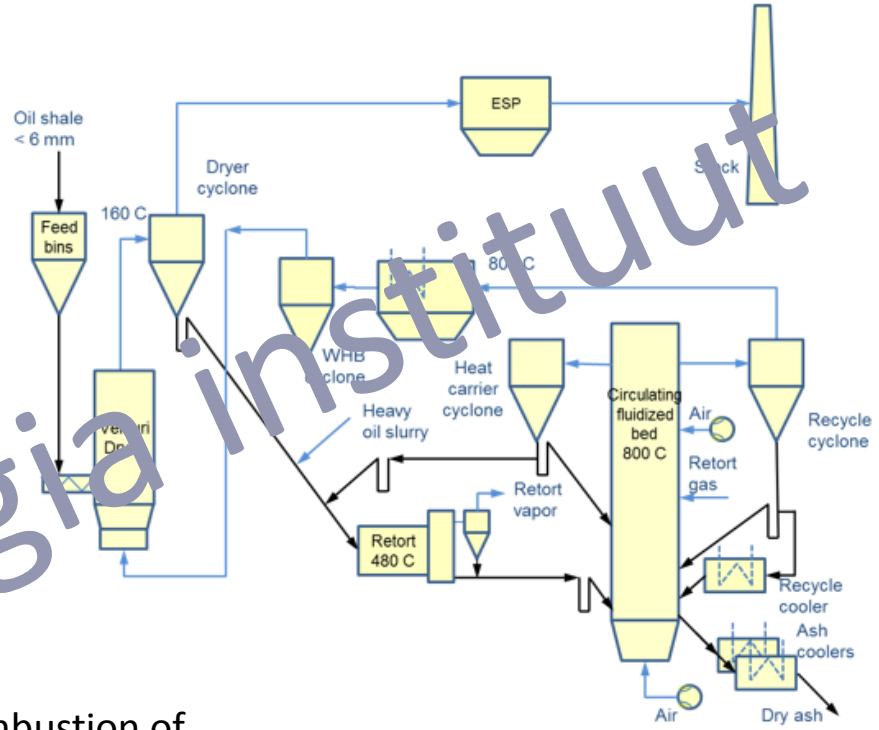
Emissions level according to best available technology (or BAT)

I with utilisation boiler

Indicator	Emissions level, mg/nm^3 (3 % O_2) Monthly average
Solid particles	40 – 200
SO_2	700 – 1200
NO_2	40 – 400
CO	3000 – 6100
H_2S	0 – 75

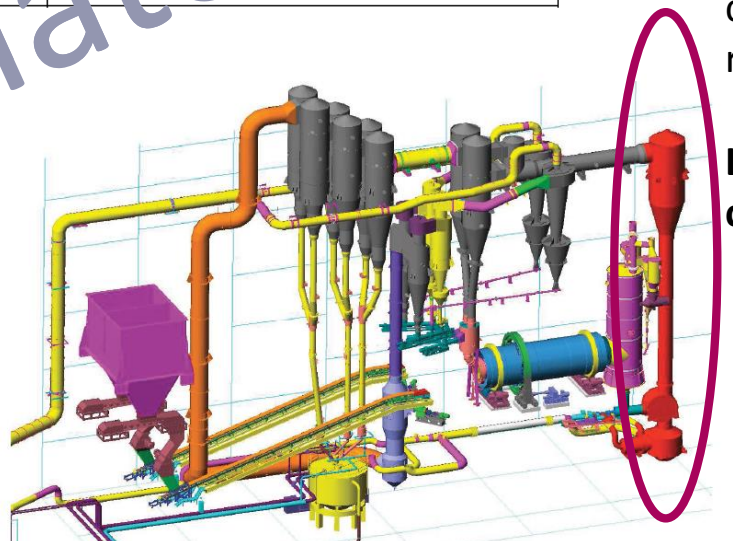
II without utilisation boiler

Indicator	Emissions level [mg/nm^3]
Solid particles	40 – 200
SO_2	30 – 50
NO_2	100 – 400
H_2S	110 – 600*
NMVOC	1000 – 2000



Combustion of retorting carbonaceous residues

Lift – pipe combustor



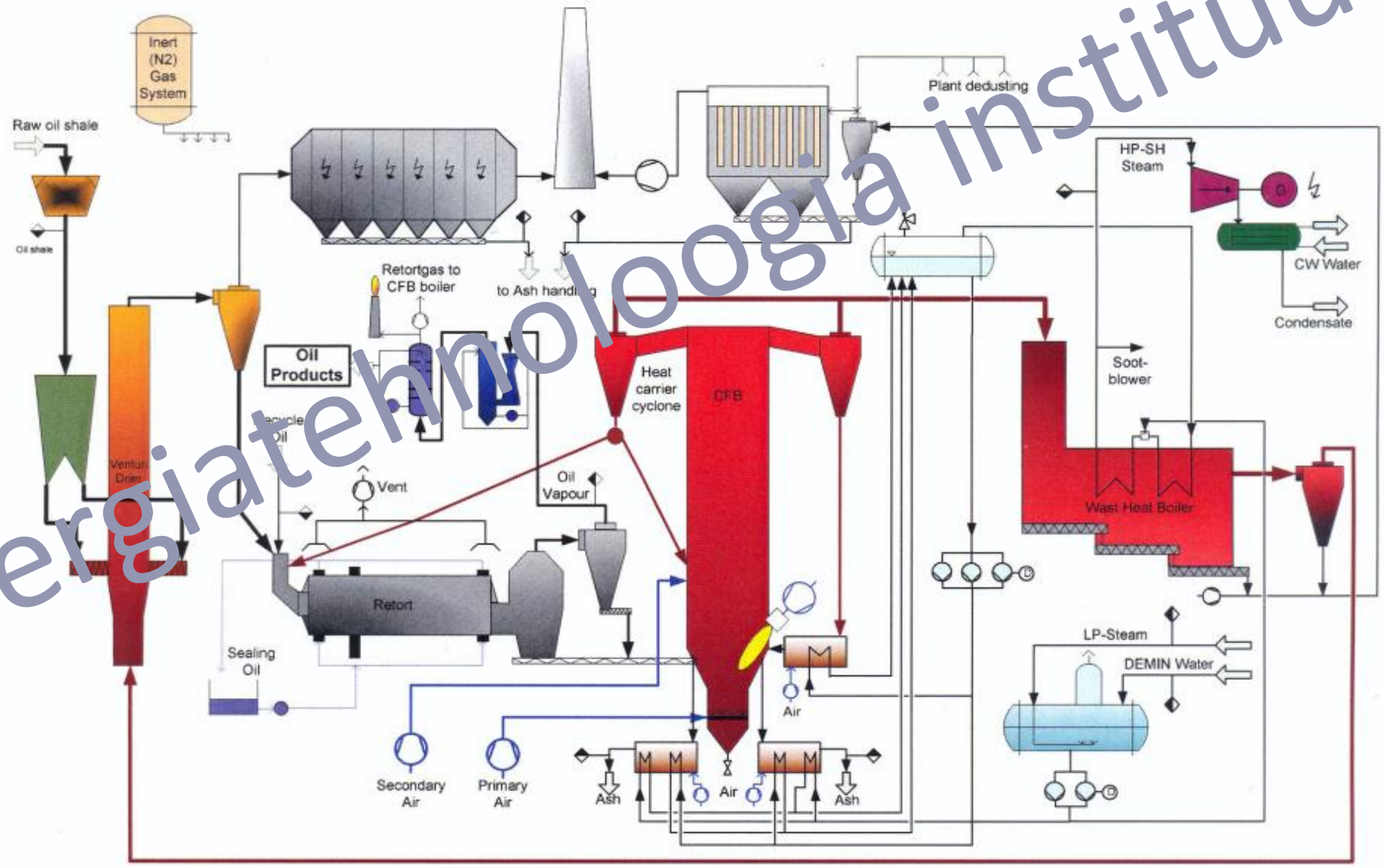
Switched with CFB

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Allikas: https://www.envir.ee/sites/default/files/p6levkivi6li_toostuse_pvt_aruanne_05_07_2013.pdf (26.10.2018)

Enefit-280
TSK+CFB



Energiatehnoloogia instituut

TAL TEC

ELEKTER

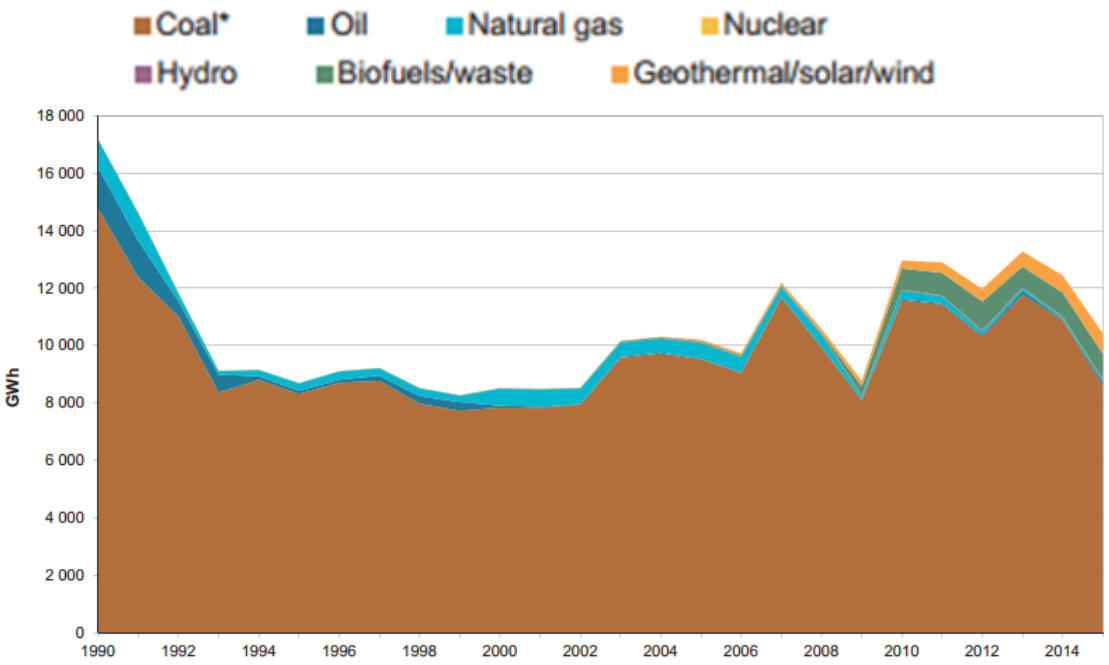
Energiatehnoloogia instituut

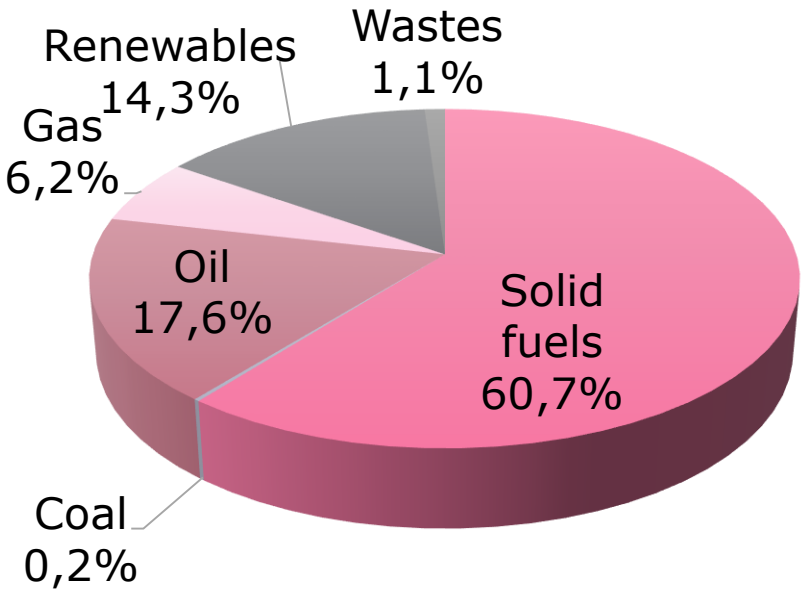
TAL TECH

HIGH ASH CONTENT FUEL - OIL SHALE - AS AN ENERGY RESOURCE

- Oil shale is the most important Estonian primary energy source.
- The share of import fuels in energy production is less than 1/3. EU's average is 2/3.
- Most of the oil shale is used for electricity production.

Electricity production in Estonia





Primary energy sources in Estonia

TAL TECH

Suletavad tootmisseadmed lähiaastatel

Eestis

EL töötusheite direktiivi leevendusmeetme alusel suletakse Narva elektrijaamade vanad plokid kogumahus 619 MW:

- Eesti elektrijaama plokkide sulgemine - 489 MW (2020.a.);
- Balti elektrijaama ploki sulgemine - 130 MW (2023.a.);

Rootsis

- Ringhals 2, tuumajaam – 807 MW (2019.a.)
- Ringhals 1, tuumajaam – 878 MW (2020.a.)

Saksamaal 7 tuumajaama sulgemine aastaks 2022 – 9 444 MW

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Allikas: Eesti Energia, WNA

ELEKTRI TOOTMINE JA TARBIMINE 2014 AASTAL

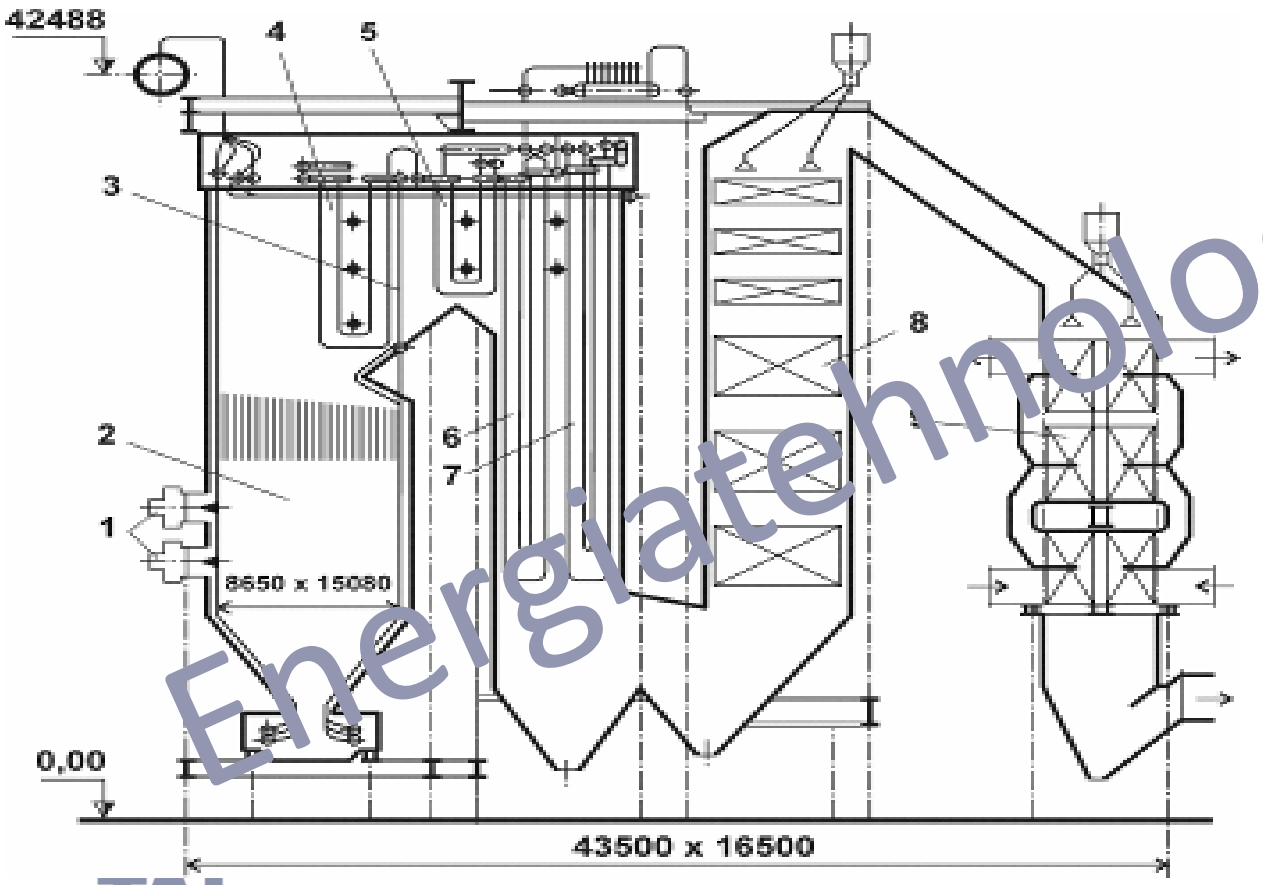
State	Total generation [GWh]	Consumption [GWh]	Exchange balance [GWh]
Estonia	10891	8073	**2818**
Latvia	5055	7370	**-2315**
Lithuania	4054	10716	**-7623**

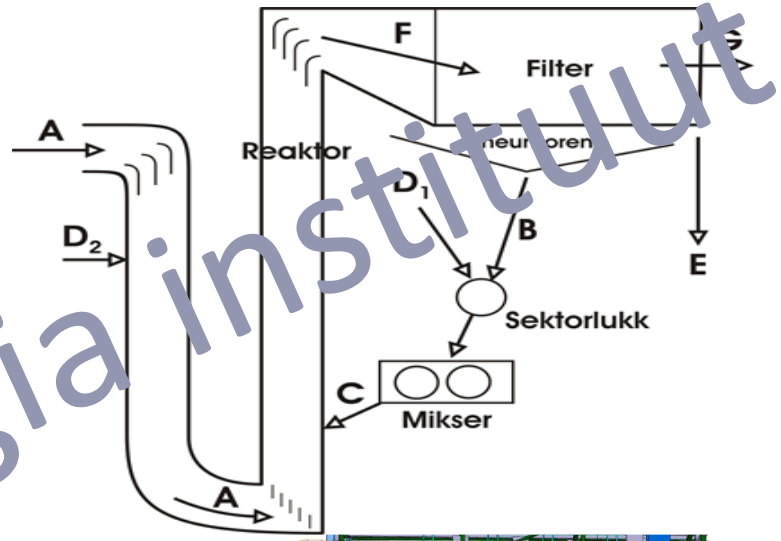
Energia instituut

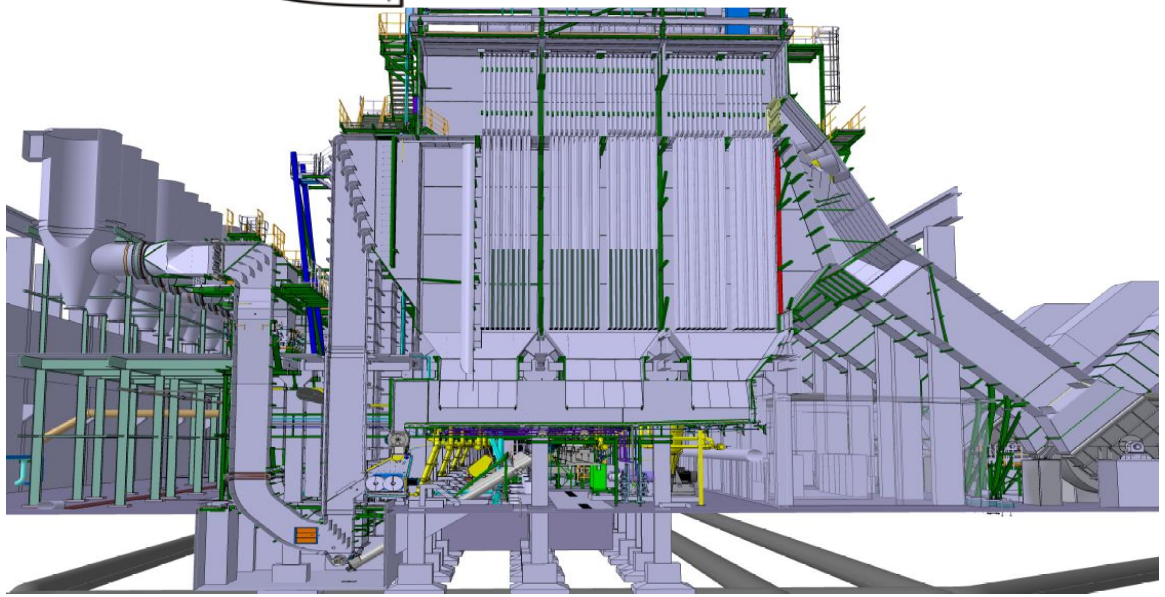
TAL TECH

Allikas: Energy security of the Baltic States, Lauri Loo 2017

Vanade põlevkivi PF katelde poolkuiv deSOx – NID







- NID skeem ja tuhavood
- A – tuhavoog katlast; B – tuhk filtrist; C – tuhk mikserist, tuhk+lisatud CFB tuhk; D1 – mikserisse lisatud CFB tuhk; D2 – lisatud CFB tuhk (enne reaktorit); E – tuhk süsteemist välja, E=A; F – tsirkuleeriv tuhk, A+C; G – gaas välja.

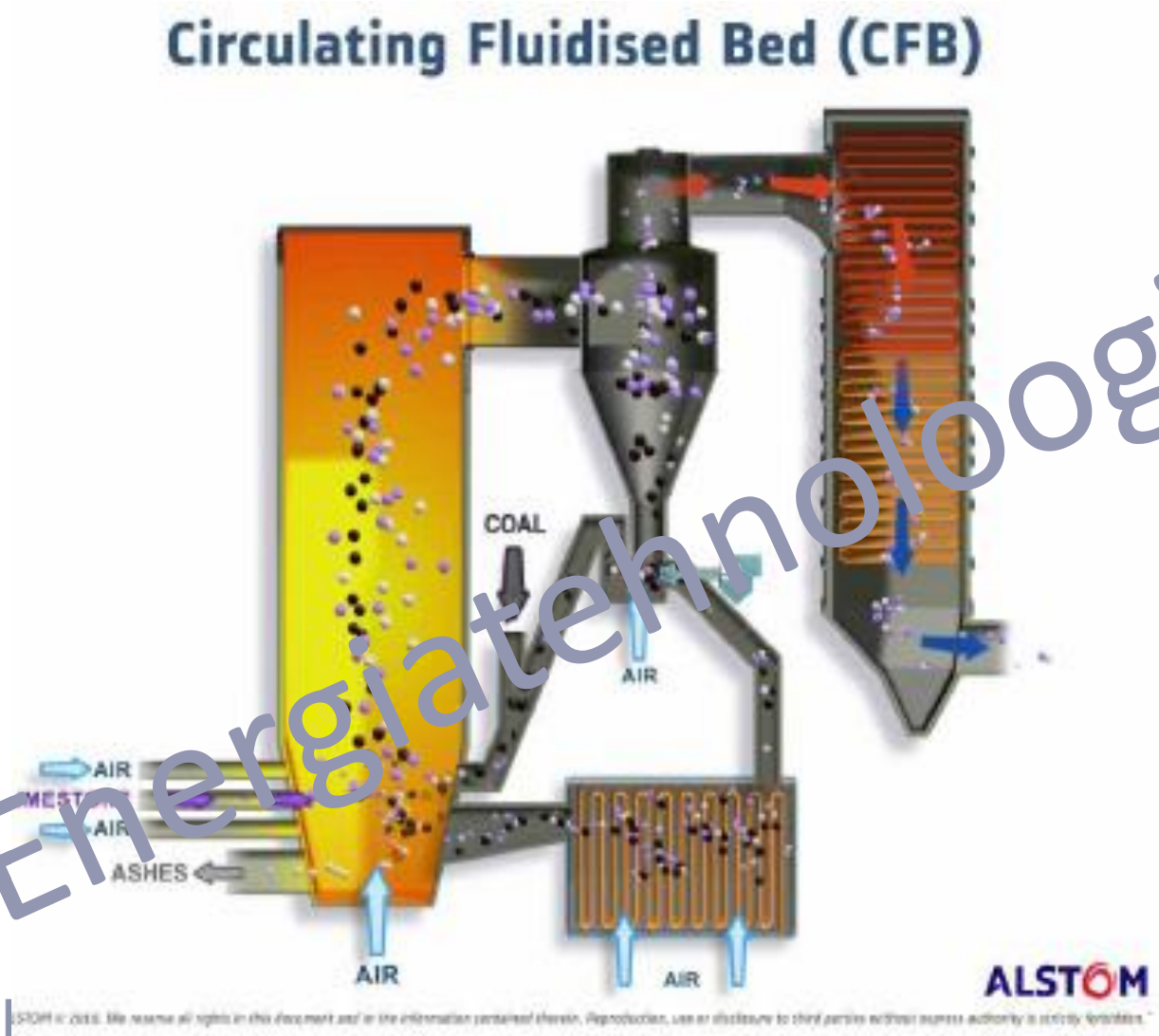
Energiatehnoloogia instituut

MIS ON PÕLEVKIVIELEKTRI TULEVIK?

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Keevkiht ja põlevkivi



Pikk viibeaeg

- Tõhus põlemine isegi madala kvaliteediga kütustega, nagu põlevkivi
- Lihtsustatud kütuse ettevalmistamine (nt puitlaastud)
- Täiendavat sorbenti pole vaja

Madal põlemistemperatuur

- Madalad NOx heitkogused. Pole SNCR-i
- Madal SOx heitkogused. Pole deSOx-i
- Korrosioonioht minimeeritud
- Head efektiivsusnäitajad ka madalal koormusel
- Pole saastumist ja šlakkumist

Ühtlane põlemistemperatuur

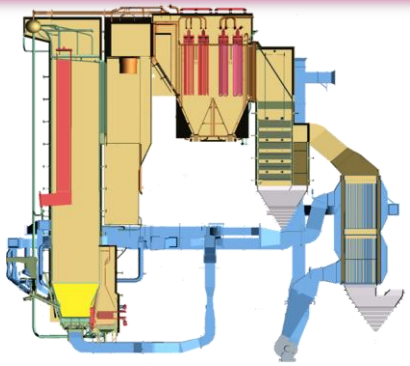
- Kütuse paindlikkus
-pruunsüsi
-biomass
-kütuste segud
- Emissioonid madalad

Allikas: Alstom

Energiatehnoloogia instituut

Developments of Oil Shale and Semi-Coke firing technologies

FW CFBC Boiler 2004-2005: low emissions; no additional bed material needed; fuel flexibility



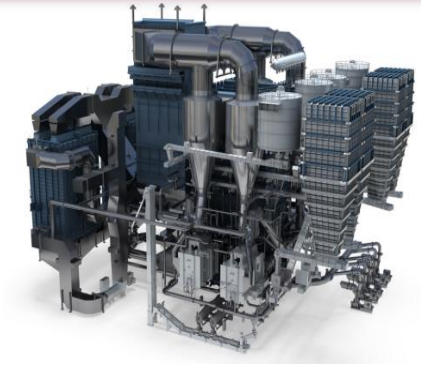
CFB, Narva, E08, B11

p = 13,3 MPa

t = 535 / 535 °C

η ~36%*

GE CFBC Boiler 2018: low emissions; no additional bed material needed; fuel flexibility



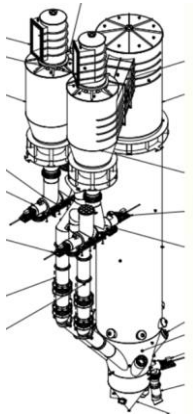
CFB, Auvere 300 MW

p = 17,8 MPa

t = 543 / 568 °C

η ~40%*

Outotec CFB Combustor 2015: low emissions; no additional bed material needed;



CFB integrated into shale oil production , Enefit-280

Semi-coke feed: 483 °C, 556 t/h (semi-coke + circulating ash 400t/h), HV < 1 MJ/kg

C 2.21; H 0.14; S 0.33

Heat input ca 150 MW

Enefit280

	PC Boiler	CFBC Boiler	Units
SO_2	400 / 2000	0 – 40	mg/Nm³
NOx	200 / 300	90 – 170	mg/Nm³
PM	<2 / < 200	<10 / < 20	mg/Nm³

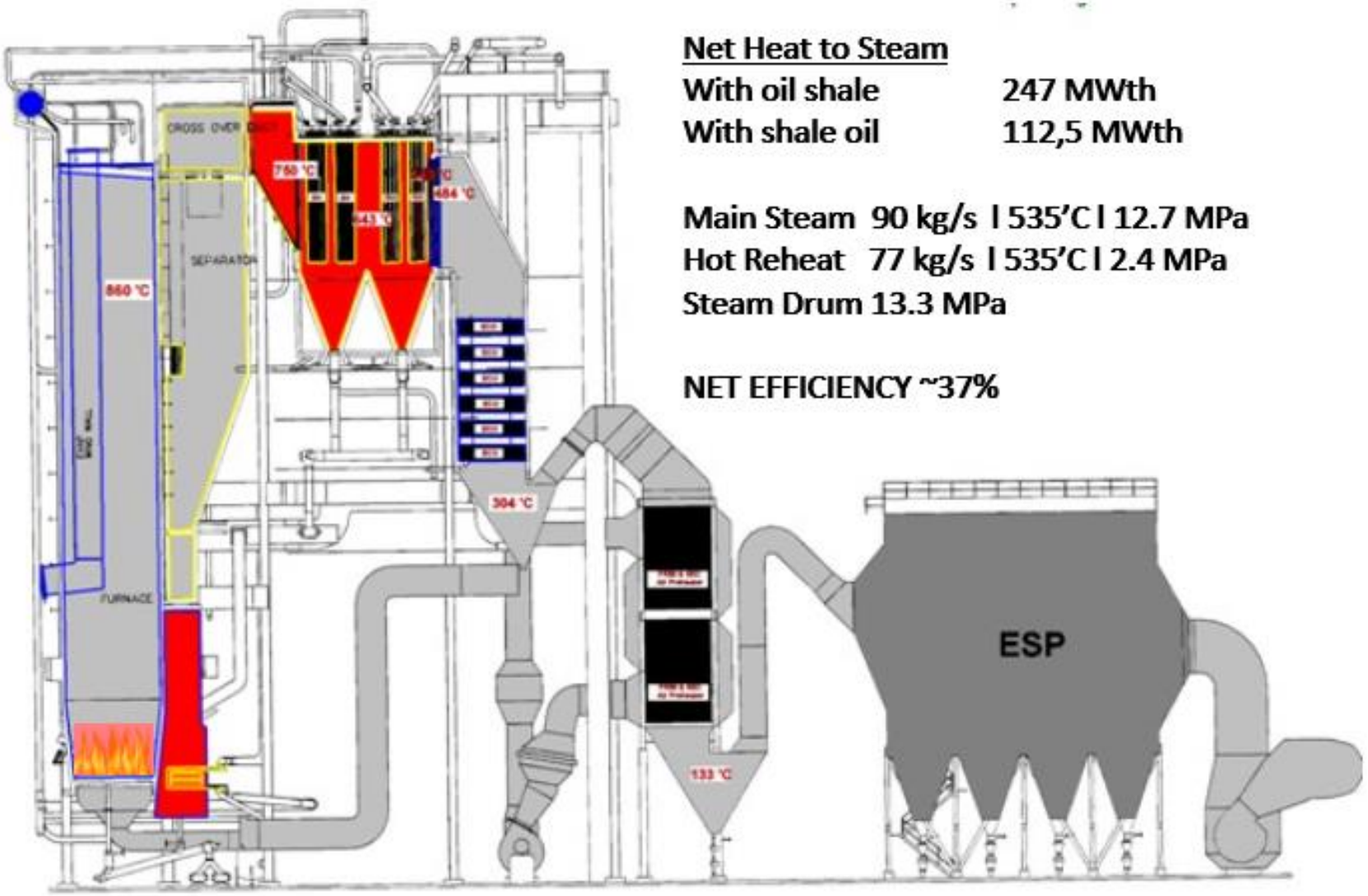
~~$deSO_x$~~

~~$deNO_x$~~

ESP and/or **FF**

CO	200 mg/Nm³
SO_2	10 mg/Nm³
NO_x	200 mg/Nm³
Dust	30 mg/Nm³
TOC	10 mg/Nm³

(*) – Energy unit efficiency



Net Heat to Steam

With oil shale	247 MWth
With shale oil	112,5 MWth

Main Steam 90 kg/s | 535'C | 12.7 MPa
Hot Reheat 77 kg/s | 535'C | 2.4 MPa
Steam Drum 13.3 MPa

NET EFFICIENCY ~37%

Allikas: https://slideplayer.com/slide/1637516/ (25.10.2018)

Alternatiivkütused põlevkivikatlas

Põhimõtteliselt saab põletada kõike!

Küsimus on – **kas tasub ja mis on eesmärk**?

Mõned momendid:

- Kaasaegsed katlad on projekteeritud kindlale kütusele. Kütteväärtus, niiskus, tuhasus.
- Gaasikatlas näiteks tahket kütust põletada pole võimalik.
- Vastupidine – gaas tahkekütuse katlas on küll võimalik, aga teatud mööndustega.
- Madala kütteväärtusega tahke kütuse (aheraine) põletamine on võimalik teatud kütteväärtuse alampiirini.
- Kütteväärtuse mõttes tundlik on CFB katel – 7,0MJ/kg on alampiir.
- PF katel talub mõnevõrra madalamat kütteväärtust 6,5-7MJ/kg.
- Aheraine põletamisel langeb katla kasutegur, suureneb tuha erikulu, suureneb ka suitsugaasi CO_2 (karbonaadid).

Energiatehnoloogia instituut

Segukütuste põletamine

- BEJ 11. – võimekus põletada biokütust ja turvast segus põlevkiviga - kuni 40%. Biokütuseladu ja etteandesüsteem väljaehitatud.
- BEJ 11. – põlevkivi ja kivisöe põletamise katsed
- EEJ 8. ja EEJ 3. – 6. plokid – uttegaasi põletamine segus põlevkiviga
- EEJ 3A – Põlevkivi ja kivisöe põletuskatsed.
- EEJ 2A – põlevkivi ja uttegaasi põletuskatsed.

Energiatehnoloogia instituut

Alternatiivkütused

Balti EJ 11 CFB katlas on segus põlevkiviga põletatud:

- biomassi (puiduhaket) kuni 50% soojuse järgi,
- kuni 30% turvast,
- kuni 20% kivisütt.

Ca/S ~ 9
H/C ~ 1.5

Põhilised eelised:

- väheneb CO_2 emissioon,
- olulisel määral vähenevad tuha kogused,
- katla kasutegur tõuseb.

EEJ 8. ploki kateldes on põletatud: haket, kivisütt ja uttegaasi (kohe 50%)
EEJ tolmpõletusploki kides on põletatud: uttegaasi, kivisütt, biomassi

Uttegaas- Enefit-140 (bensiinivaba)

Calorific value	MJ/Nm³	43
Carbon	%	64
Sulfur	%	3
Nitrogen	%	2-4
H_2S	%	1.5-4.0

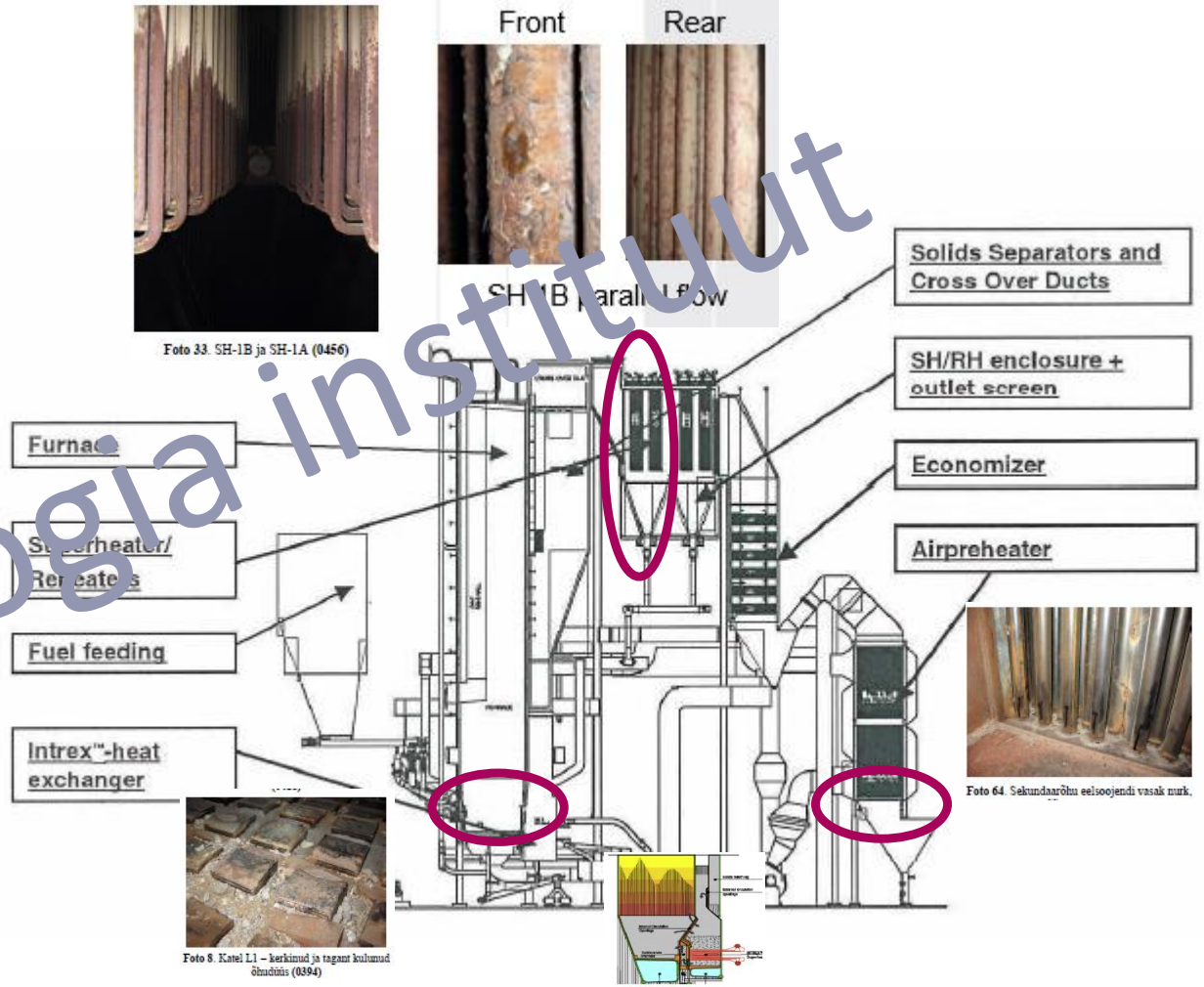
	Põlevkivi	Kivisüsi	Biomass	Turvas
Niiskus %	10 - 12	5-13	30 – 45	30 - 45
Tuhk, %	43 - 53	5-25	0,8 – 1,5	11 - 13
Väävel, %	1,5 – 2,0	0,5 - 3	0,05	0,3 – 0,6
Lämmastik, %	0,04 – 0,12	1,8 – 2,5	0,5 – 2,3	1,6 – 3,0
Küttevääртus, MJ/kg	8 - 10	20 - 28	9 – 16	9 – 12

Energiatehnoloogia instituut

CFB boiler - Foster Wheeler

Main specifications of the boiler/unit:

- Thermal capacity: 2x250 MWth
- Main steam flow: 95 kg/s
- Reheated steam: 76 kg/s
- Main steam parameters: 535°C, 131 bar
- Reheated steam: 535°C, 27bar
- Both boilers are connected to one 215 MW_e turbine
- Main fuel: Estonian oil shale



1. Gas burners – capacity 2x25MWth per boiler – installed to utilize the retort gas in one energy unit at Eesti PP. The share of retort gas is ~17%. One boiler is being modified in order to be able to burn 50% thermal of retort gas.
2. Co-combustion of OS and biomass at Balti Power Plant (BPP) up to 50% of biomass thermal input is reached.
3. Co-combustion of OS and coal in energy unit BPP is done. The share of coal thermal input up to ~60% is reached.

Energiatehnoloogia instituut

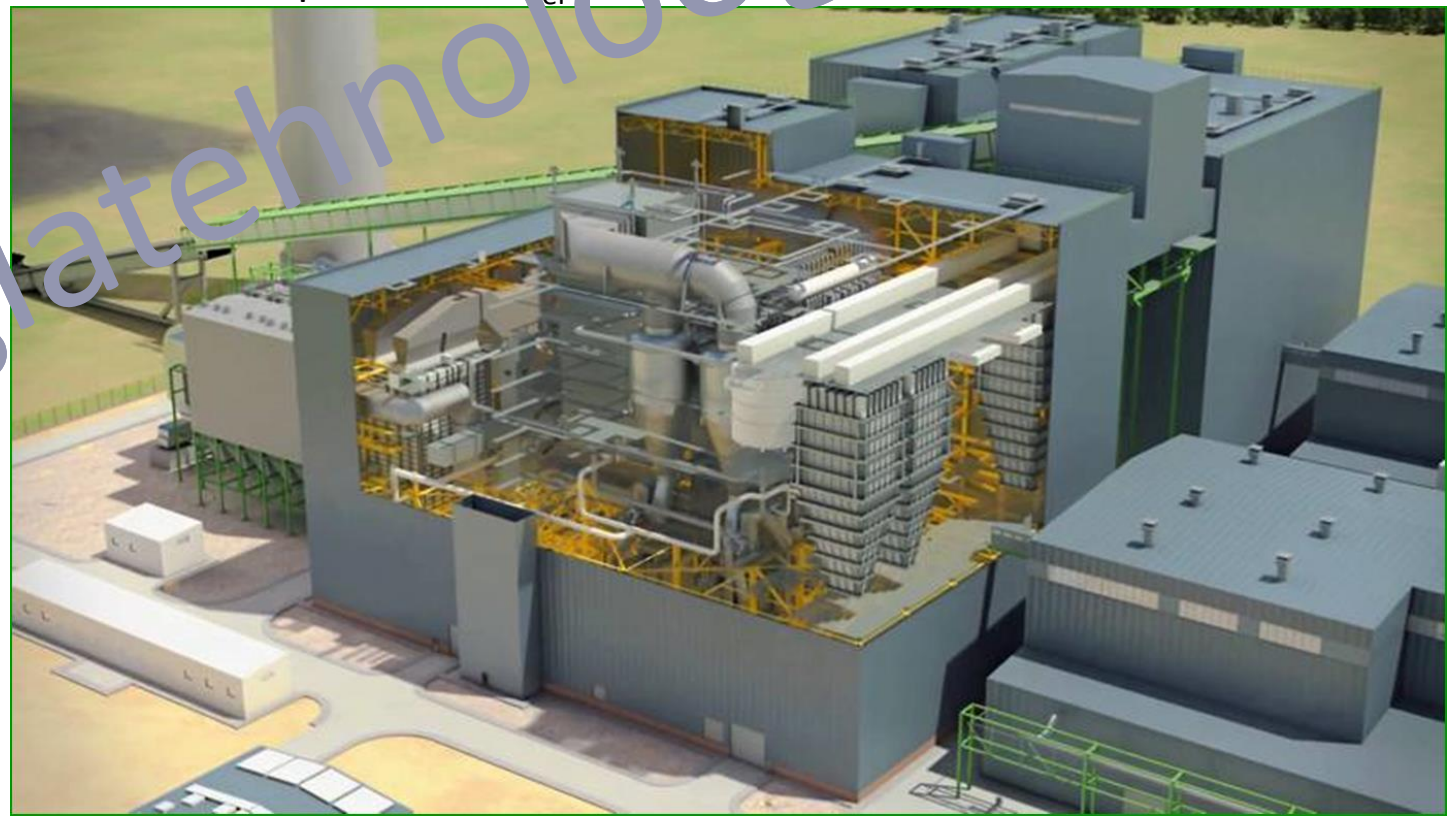
Auvere 300MWel
GE CFB unit (former Alstom)

Main specifications of the boiler:

- Boiler fuel load: 690 MW_{th}
- Main steam flow: 227 kg/s
- Reheated steam: 208 kg/s
- Main steam: 543°C, 178 bar
- Reheated steam: 568°C, 27 bar
- Boiler connected to turbine of electric output 300 MW_{el}

Fuels:

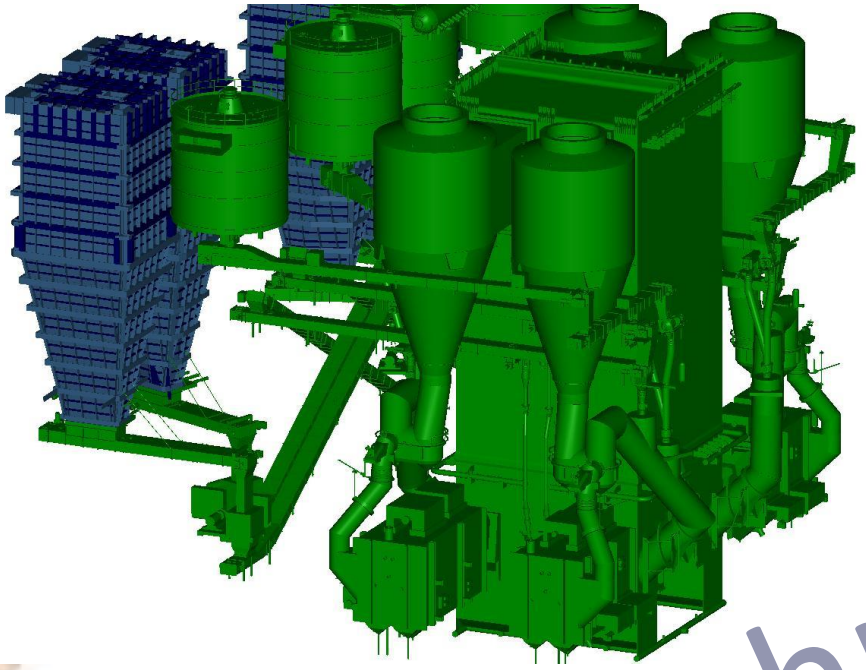
- Designed fuel - Oil Shale 7-11 MJ/kg (8,2 MJ/kg)
- 10% of OS retort gas (blend)
- 50% of biomass (blend)
- 20% of peat in OS blend.

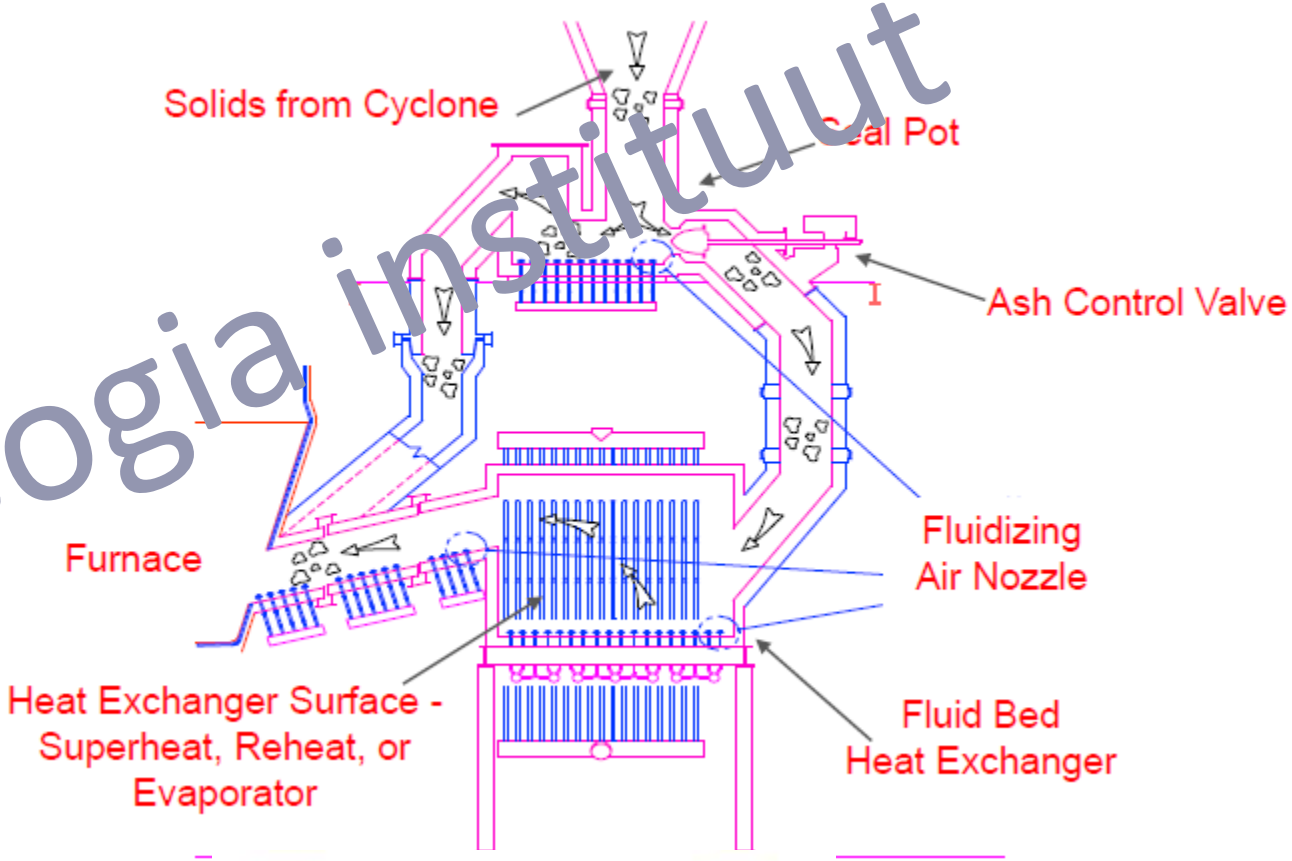


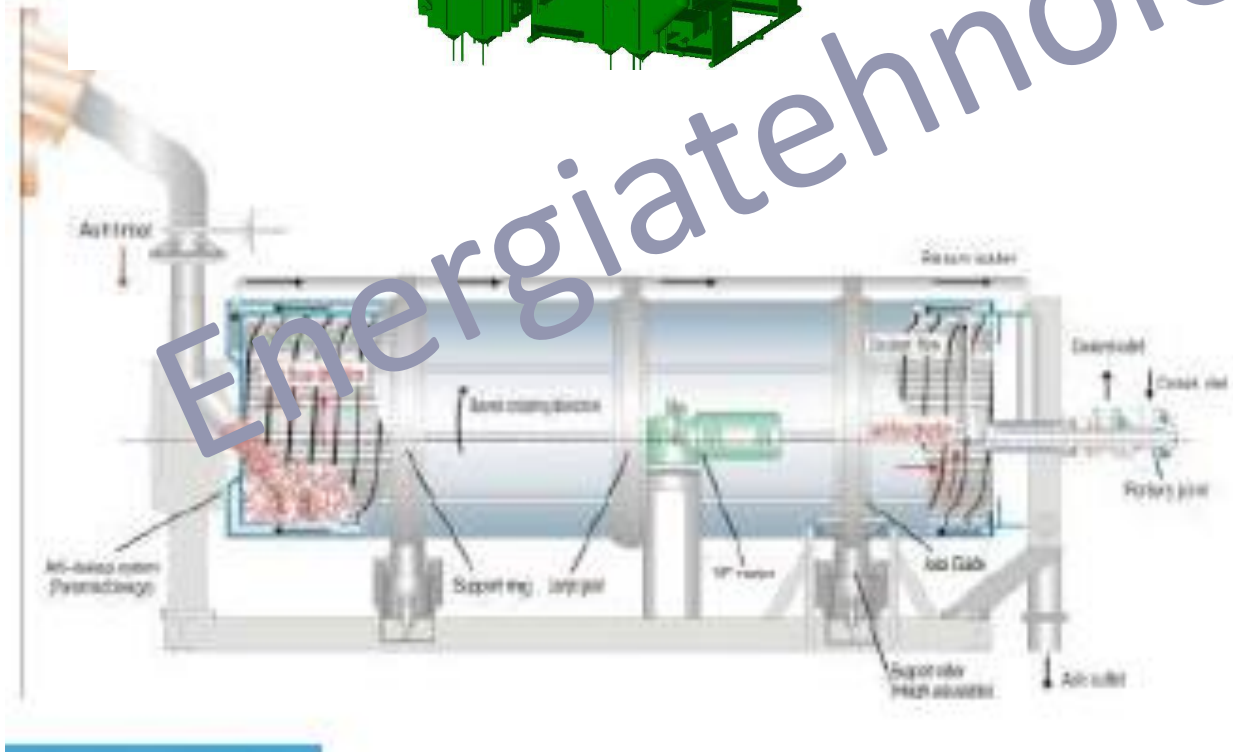
Allikas: Alstom

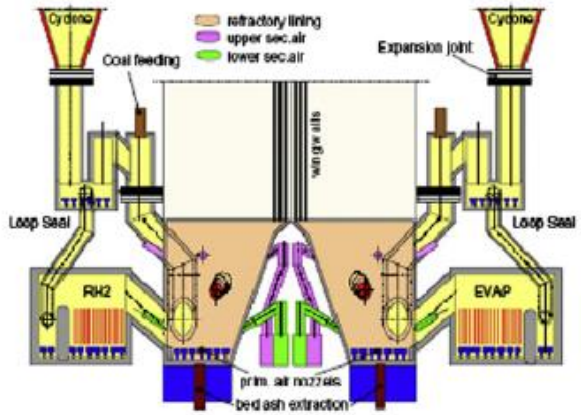
Energiatehnoloogia instituut

Seal Pot and Fluid Bed Heat Exchanger





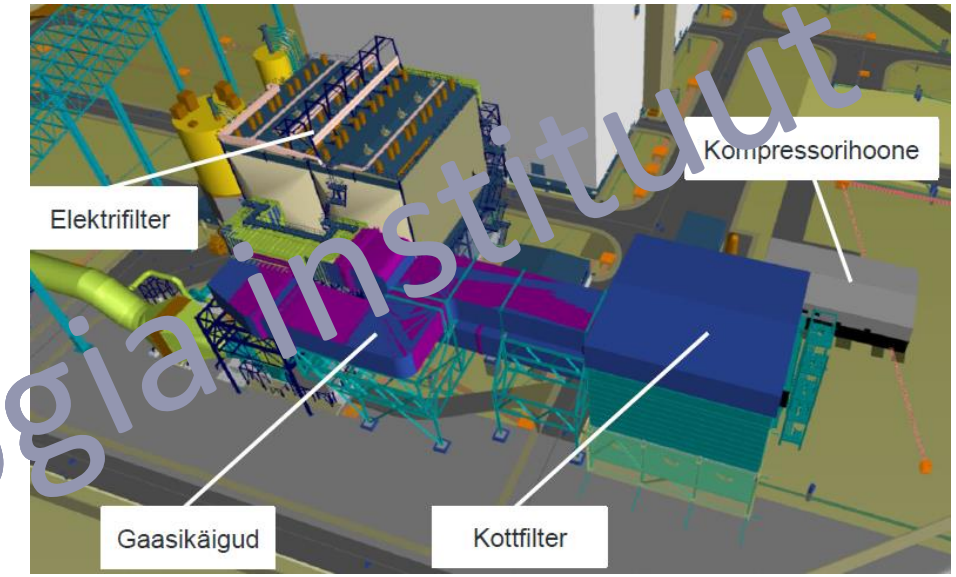


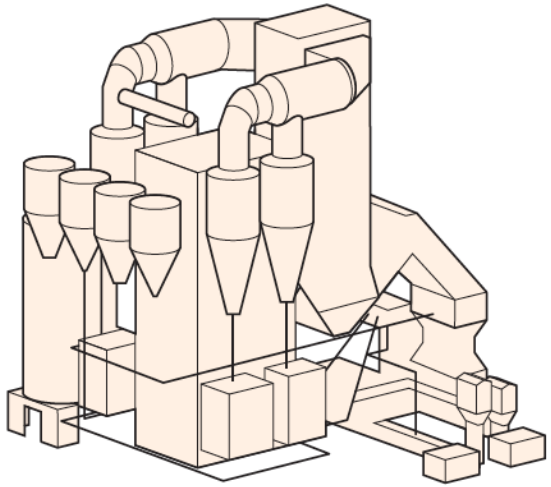


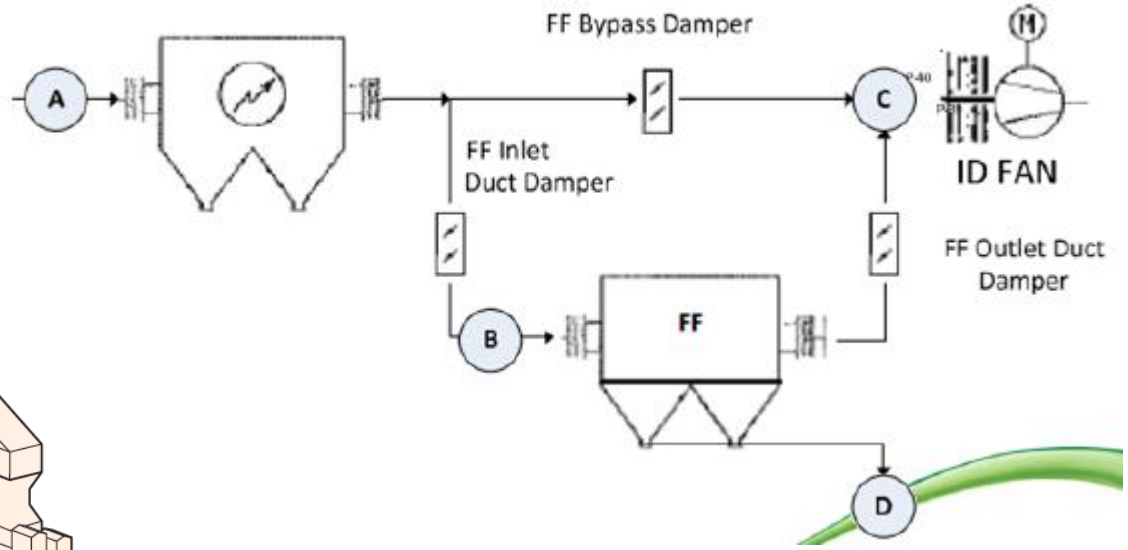
Allikas: Alstom

Energiatehnoloogia instituut

Elektrifiltrist ei piisa tahkete osakeste saavutamiseks suitsugaasivoos ≤ 10 mg/Nm³



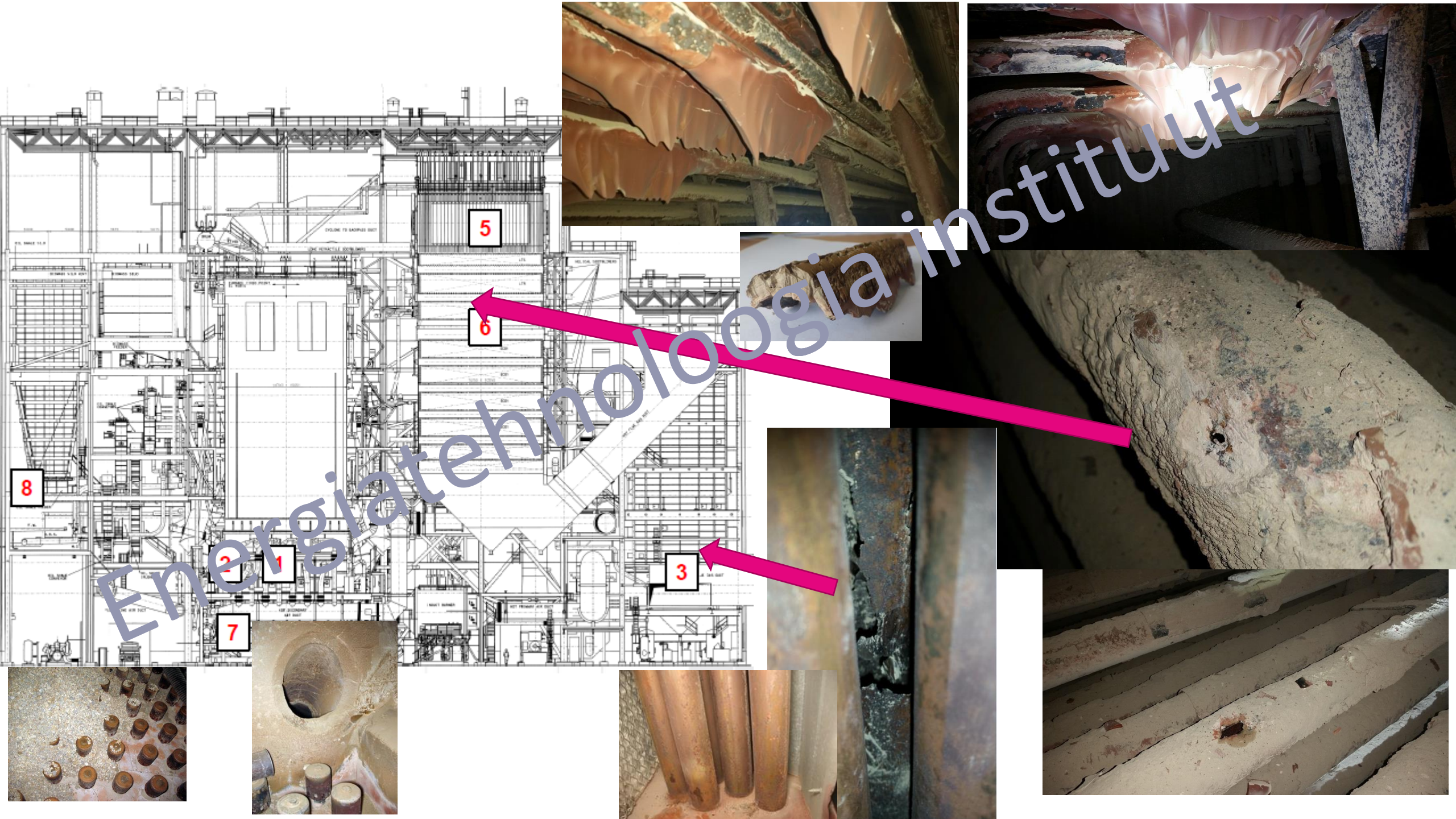




Energiatehnoloogiainstituut

TAL TECH

Allikas: Alstom


5
6
8
2
1
3
7
Energiatehnoloogia instituut

LTR ja LTS

Fig. 1. Cutting surface of the LTS-tube.

Fig. 2. Hard deposit (partly removed).

Fig. 3. Failured LTR-tube, front view.

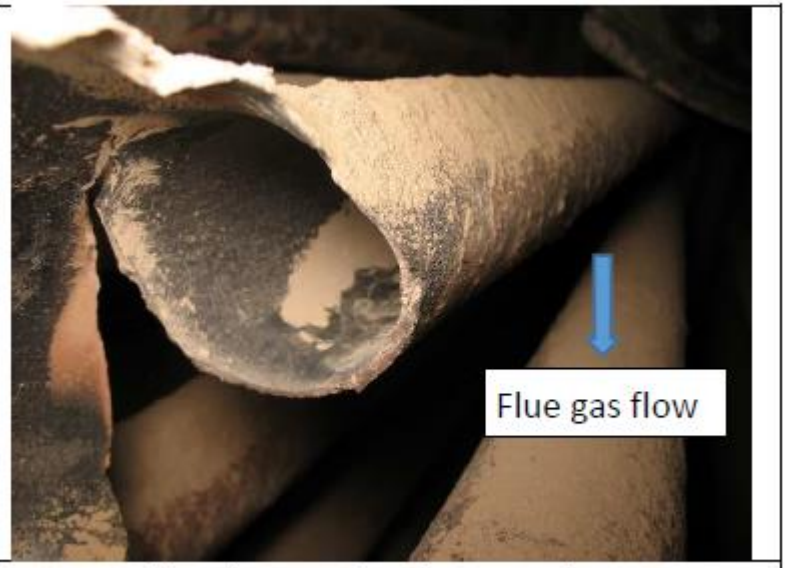


Fig. 4. Failured LTR-tube, close-up view.

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Micro cracks on the outer surface of the LTR tube, caused by the high temperature corrosion

Energy Out

TAL TECH

Kuidas vältida vigu ja uurida uusi tehnoloogiaid?

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

ENERGIATEHNOLOOGIA INSTITUUDI - 60 KW_{TH} CFB KATSESTEND

Thermal input: 60 kW – 25 kg/h oil shale

3 fuel silos

Two combustion modes:

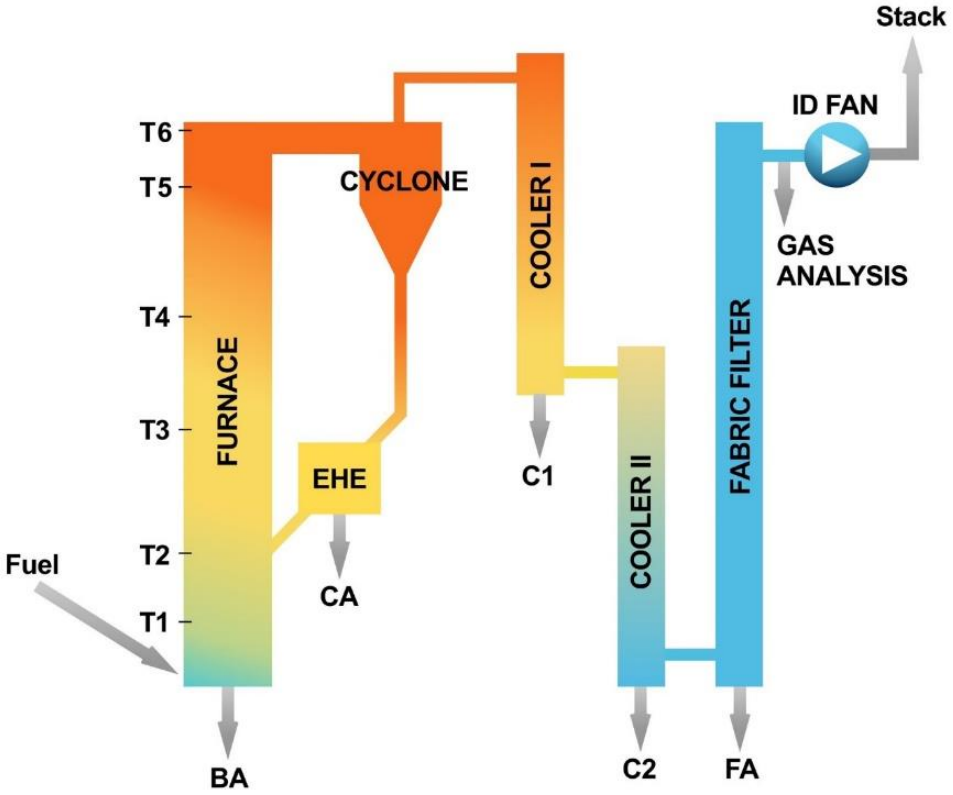
- Regular air
- Artificial combustion air ($N_2/CO_2/O_2$)

Gas cleaning equipment:

- Cyclone
- Fabric filter

FTIR and FID gas monitoring system

Ash sampling: from 5 points



Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

EXPERIMENTAL SETUP

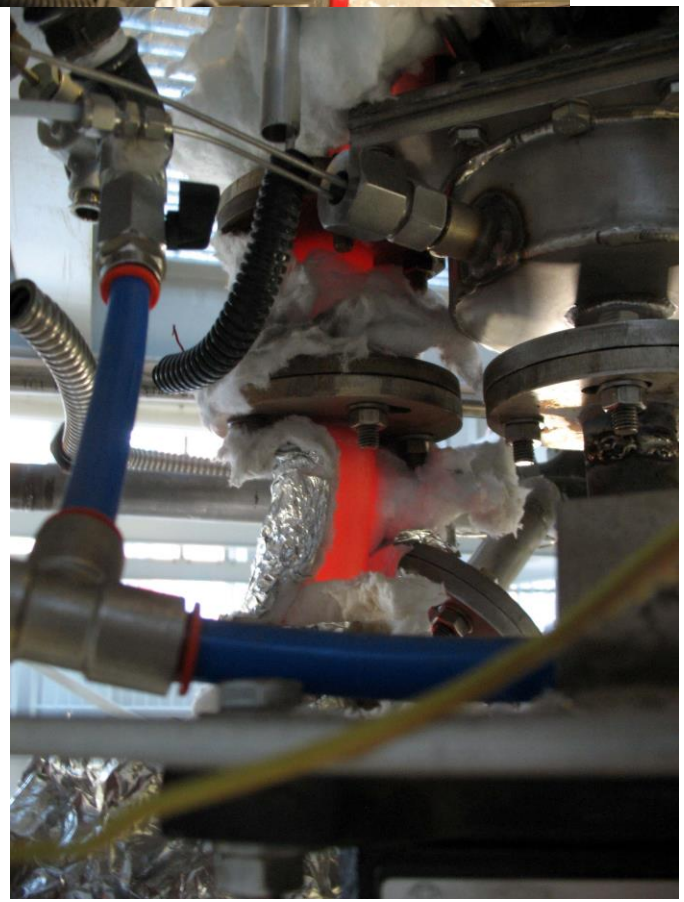
Combustor: 60 kW_{th} CFB unit

Gas analysis: Gasmet DX4000 FTIR analyser and Siemens Fidamat 6 for TOC

FTIR

TOC analyzer

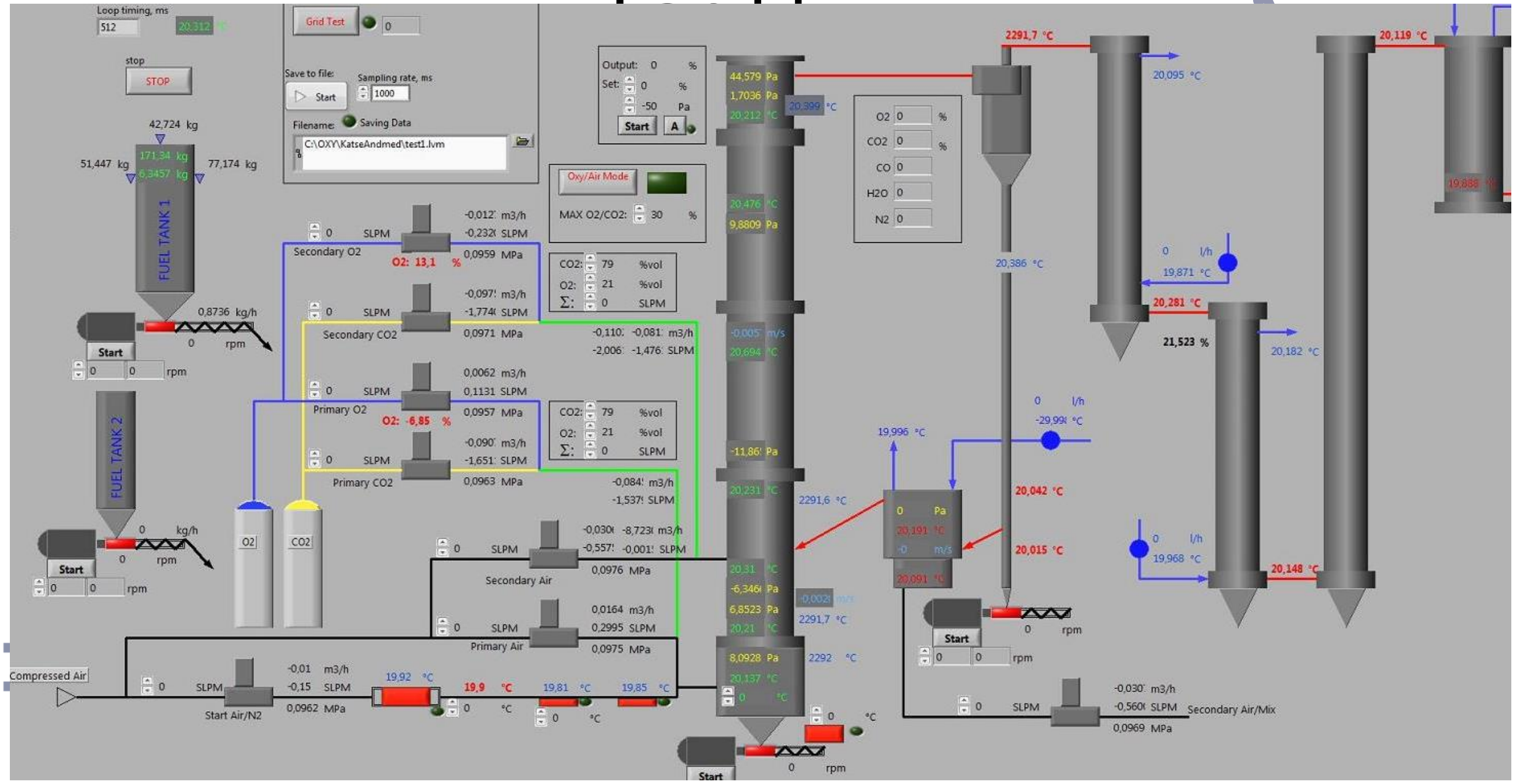
60kW$_{th}$ CFB Test facility



Energy Technology Institute

TAL TECH

60kW$_{th}$ CFB Test Facility



Kokkuvõtteks

- Olemasolevad tootmisvõimsused täidavad EU poolt kehtestatud piirväärtuseid (LCP ja PVT) – põlevkivist toodetud elekter ei ole kehvem kui on kivisöest toodetud elekter
- Eluiga on vanadel plokkidel läbi ning nad on tehnoloogiliselt vananenud
- Kütuste kooskasutus võib olla põlevkivikatelde suur eelis
- GSK-del pole keskkonnanõuete karmistumise korral tulevikku
- Põlevkivist toodetud õlil kui ka elektril on ühe suure tulevikuvõimalusena lootust, kui kasutada CFB-d koos CCS või CCU-ga
- Kas CFB-l oleks õlitootmise reaktorina tulevikku – see vajab uurimist

Energiatehnoloogia instituut

TAL TECH

Tänan kuulamast ja kaasa mõtlemast!

alar.konist@taltech.ee

Ene

TAL TECH