



# TAL TECH

## TULEVIKUTEHNOLOOGIAD JA PÕLEVKIVI KASUTUSE VÕIMALUSED ENERGEETIKAS

Prof. Andres Siirde  
Energiatehnoloogia instituut  
Tallinna Tehnikaülikool

# Teadus-rakendusprojektid, millel põhineb ettekanne



## RITA

- **KLIIMAMUUTUSTE LEEVENDAMINE LÄBI CCS JA CCU TEHNOLOOGIATE (ClimMIT)**
- **Innovaatiliste ja keskkonnasõbralike põlevkivi või selle saaduste töötlemise tehnoloogiate arendamine**



#### Uurimisrühm RITA1/02-20-01

Andres Siirde, PhD, professor  
Oliver Järvik, PhD, vanemteadur  
Dmitri Nešumajev, PhD, vanemteadur  
Jülija Gušča, PhD, külalisdotsent  
Mai Uibu, PhD, vanemteadur

#### Uurimisrühm RITA1/02-20-02

Andres Triikkel, PhD, professor  
Tõnu Pihu, PhD, professor  
Alar Konist, PhD, professor  
Birgit Maaten, PhD, vanemteadur  
Martin Liira, PhD, teadur

#### Uurimisrühm RITA1/02-20-03

Gunnar Nurk, PhD, vanemteadur  
Mart Loog, PhD, professor  
Kaspar Valgepea, PhD, teadur  
Uno Mäeorg, PhD, vanemteadur  
Hannes Kollist, PhD, professor

#### Uurimisrühm RITA1/02-20-04

Aaro Hazak, PhD, professor  
Kadri Männasoo, PhD, professor  
Priit Sander, PhD, dotsent  
Kaia Kask, PhD, teadur

RITA1/01-60-4 (TalTech), Tallinna Tehnikaülikool  
RITA1/01-60-8 (TÜ), Tartu Ülikool

PhD. Oliver Järvik, PhD. Birgit Maaten; Mag. Heliis Pikkor; Mag. Olga Pihl; PhD. Alar Konist

PhD. Kalle Kirsimäe, PhD. Martin Liira, Mag. Peeter Paaver, Mag. Kristjan Leben. PhD Kärt Paiste

# PÕLEVKIVI KASUTAMINE CO<sub>2</sub> NEUTRAALSUSES – ÜLETAMATU PROBLEEM VÕI VÕIMALUS

## CCUS?

*Põlevkivi*



*Põlevkiviõli tootmine*



*Elektritootmine*

Põlevkiviõli

Tuhk

Suitsugaasid

Uttegaas

Uttevesi

Soojus/elekter

Suitsugaas

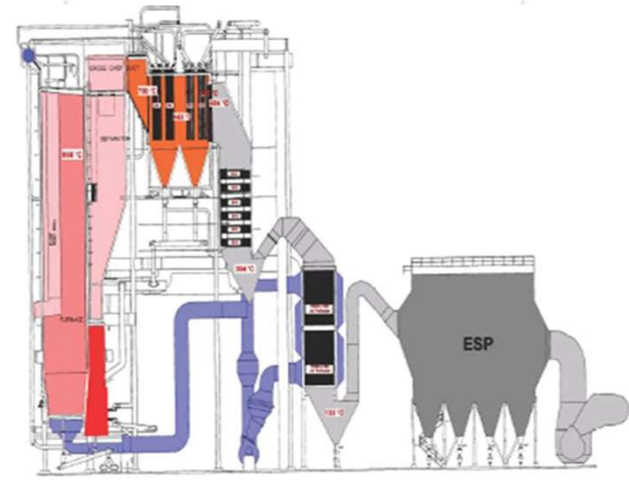
Tuhk

*Tooted, jäätmed, emissioonid*

*Kaevandamine*

# Hetkeolukord: Elektritootmine (CFB)

## CFBC, Sumitomo FW



### Eesti EJ (2004. a.)

8. plokk, 215 MW<sub>e</sub>, (bruto)

Alakriitiliste auruparameetritega:

535/535 °C/15 MPa

Kasutegur: 37% (LHV, neto)

CO<sub>2</sub> masskulu: 200,1 t/h

CO<sub>2</sub> erikulu: 1,05 t/MWh<sub>e,neto</sub> (100% põlevkivi põletamisel)

Kütus: Põlevkivi, uttegaas kuni 50% ja BIO kuni 30%

### Balti EJ (2005. a.)

11. plokk, kuni 215 MW<sub>e</sub>, (bruto)

Alakriitiliste auruparameetritega:

535/535 °C/15 MPa

Kasutegur: 37% (LHV, neto)

CO<sub>2</sub> masskulu: 200,1 t/h

CO<sub>2</sub> erikulu: 1,05 t/MWh<sub>e,neto</sub> (100% põlevkivi põletamisel)

Kütus: Põlevkivi ja BIO kuni 50%  
Kuni 120 MW<sub>th</sub> Narva linna kaugkütte

## CFBC, General Electric



### Auvere EJ (2015 (osakoormusel), 2018. (vastuvõtukatsed))

Võimsus (bruto): 307 MW<sub>e</sub>

Alakriitiliste auruparameetritega: 565/565 °C/17 MPa

Kasutegur: 40,2% (LHV, neto, täiskoormusel statsionaarses olukorras)

CO<sub>2</sub> masskulu: 272,6 t/h

CO<sub>2</sub> erikulu: 0,99 t/MWh<sub>e,neto</sub> (100% põlevkivi põletamisel, kütuse bilansi järgi)

Kütus: Põlevkivi, Uttegaas 10% ja BIO kuni 50%

# CCS tehnoloogiate valmidustasemed

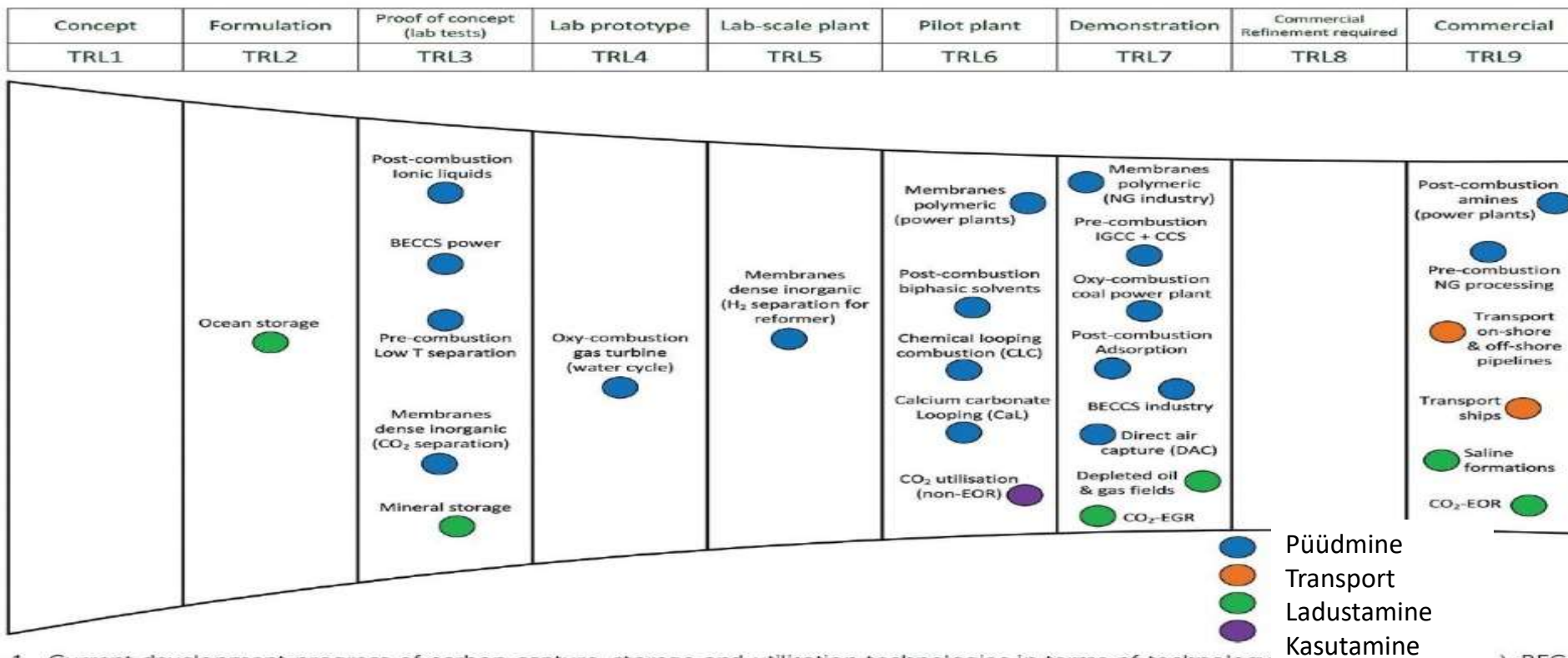


Fig. 1 Current development progress of carbon capture, storage and utilisation technologies in terms of technology maturity. BECCS = bioenergy with CCS, IGCC = integrated gasification combined cycle, EGR = enhanced gas recovery, EOR = enhanced oil recovery, NG = natural gas. Note: CO<sub>2</sub> utilisation (non-EOR) reflects a wide range of technologies, most of which have been demonstrated conceptually at the lab scale. The list of technologies is not intended to be exhaustive.

Allikas: Carbon capture and storage (CCS): The way forward; Bui M Adjiman C Bardow A Anthony E Boston

A Brown S Fennell P Fuss S Galindo A Hackett L Wilcox J Mac Dowell N. Energy and Environmental Science. 2018 vol: 11 (5) pp: 1062-1176



# Võimalikud CCS tehnoloogiad ja nende valmidustasemed



Tehnoloogia	Liik	Sobivus olemas-olevale põletus-seadmele*	Energialõiv <sup>‡</sup>	Saadava CO <sub>2</sub> oodatav puhtus	Ligikaudne kulu (2018 EUR/t CO <sub>2</sub> )**	TVT
<b>Membraanprotsess</b>	peale põletamist	jah	25-50%	50-99%***	45-90	7
<b>Kütuse gaasistamisega liitringprotsess (KGL)</b>	enne põletamist	ei	15-30%	>98%	15-50	7
<b>Hapnikus põletamine</b>	<b>Hapniku ja CO<sub>2</sub> keskkonnas</b>	<b>jah</b>	<b>15-45%</b>	<b>70%</b>	<b>25-70</b>	<b>7</b>
<b>Absorptsioon</b>	<b>peale põletamist</b>	<b>jah</b>	<b>15-70%</b>	<b>&gt;98%</b>	<b>30-90</b>	<b>9</b>
<b>Mitmefaasiline absorptsioon</b>	peale põletamist	jah	25-45%	>98%	25-70	7
<b>Adsorptsioon</b>	peale põletamist	jah	25-40%	50-99%***	40-70	7
<b>Hapnikukandja ringlus</b>	Hapnikukesk-konnas	ei	~5%	~75%	15-30	6
<b>Kaltsiumi ringlus</b>	peale põletamist	jah	15-30%	~70%	15-40	6



\* Tehnoloogiat saab rakendada olemasoleva põletusseadme korral ilma, et oleks vaja seadet ennast muuta

\*\* Kulu ei sisalda transpordi ja ladustamise kulu, aga sisaldab seadmete kulu ja kokkuseadme/komprimeerimise kulu

\*\*\* Kõrgem puhtus saavutatakse separatsioonistmete lisamisega

‡ Energialõiv näitab, kui palju rohkem energiat tuleb lisada, et toota sama palju elektrit kui toodetakse ilma CO<sub>2</sub> püüdmiseta; suhteline kasuteguri vähenemine

# Võimalikud stsenaariumid CO<sub>2</sub> vähendamiseks elektritootmisel CFBC põhinevatel energiablokkidel



Antud projekti raames teostatud analüüs näitas, et tehniliselt on lähitulevikus võimalik võtta olemasolevatel energiablokkidel CO<sub>2</sub> emissioonide vähendamiseks kasutusele kaks erinevat tüüpi tehnoloogiat:

1. Hapnikus põletamine (nn Oxy-fuel combustion);
2. CO<sub>2</sub> järelpüüdmine (nn Post combustion)

Peamisteks põhjusteks (mitte arvestades esialgu majandus-aspekte):

- TRL\* tase on 7 või üle selle;
- Sobivus põlevkivile (arvestades võimalust integreerida olemasolevate energiablokkidega).

\* - NASA "Technology Readiness Level"

# VÕIMALIKUD VARIANDID ELEKTRITOOTMISEL

Membraanprotsess

Adsorptsioon

Mümfefaasiline absorptsioon

Hapnikus põletamine

Kütuse gaasistamisega liitringprotsess

Absorptsioon

Kaltsiumi ringlus

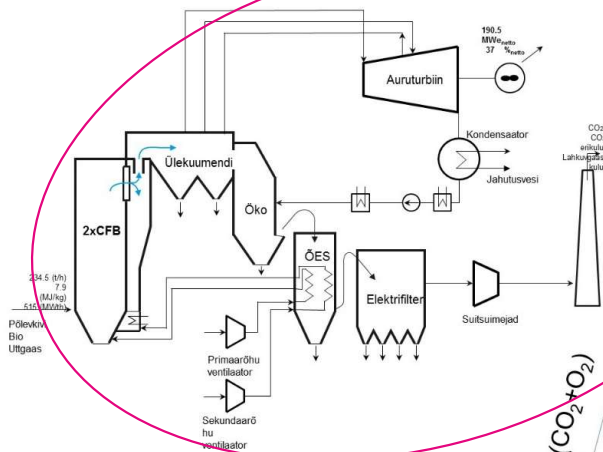
Hapnikukandja ringlus



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond

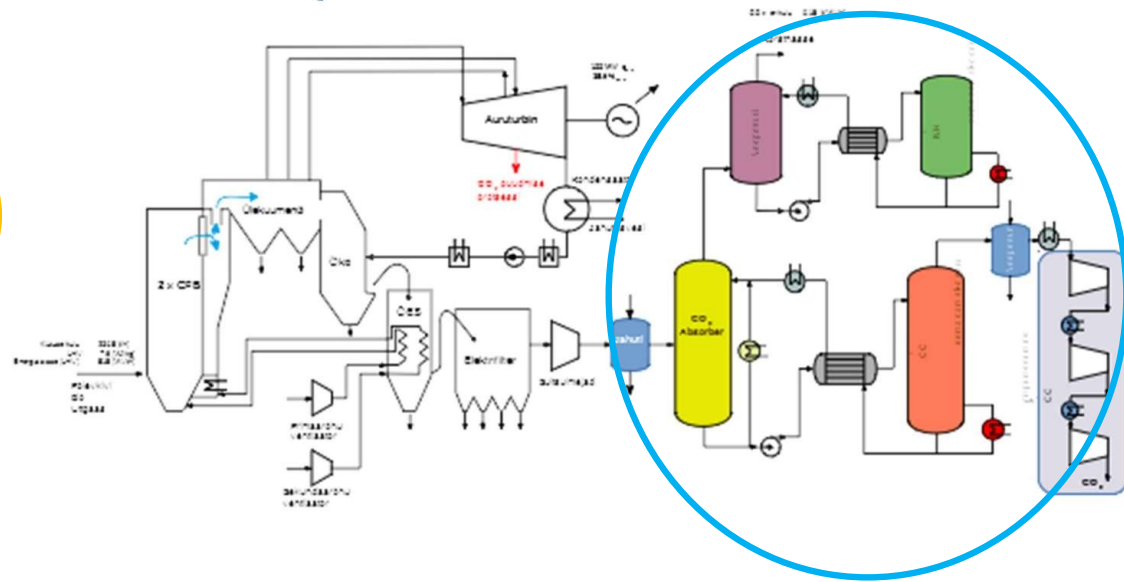
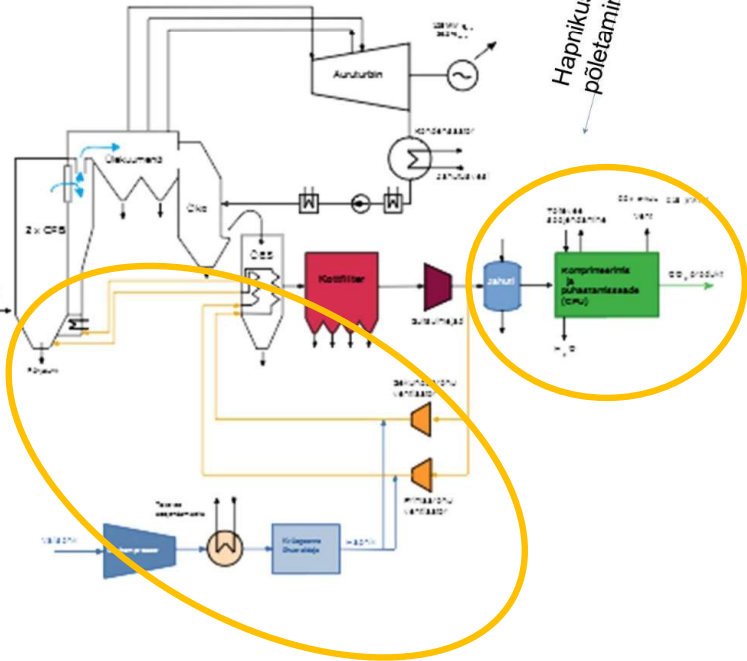


Eesti  
tuleviku heaks



Hapnikus (CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>) põletamine

Järelepüüdmine





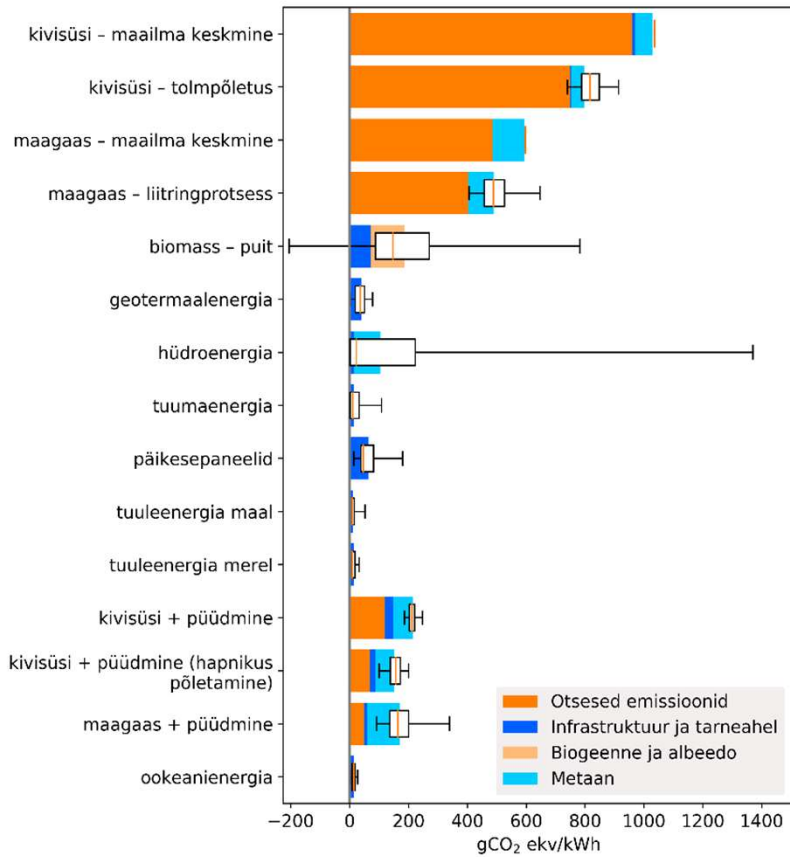




# ESIALGNE ARVUTUS sh KAPITALI KULU

CO<sub>2</sub> eriheitmed toodetud elektrienergia kohta, t CO<sub>2</sub>/Mwh<sub>e</sub>, (2017)

	TP-101 (PC)	Sumitomo FW (CFBC)	General Electric (CFBC)
CO <sub>2</sub>	1,31	0,99	0,91



Suurus	Hetkeolukord	Järelepüüdmine	Hapnikus põletamine
<b>Emiteeritav mass, t CO<sub>2</sub> /MWh</b>	0,998	0,154	0,162
<b>Püütav CO<sub>2</sub> kogus aastas, kg/h</b>	0	245356	245356
<b>Ploki võimsus (neto), MW<sub>el</sub></b>	275,5	198,0	201,6
<b>Hinnanguline CO<sub>2</sub> püüdmise kulu, €/t CO<sub>2</sub>*</b>	-	37	31
<b>CAPEX, M€*</b>	-	250,4	209,0

\* Alstom ploki puhul, kulu sisaldab ka püüdmisseadmetesse investeringu kapitalikulu



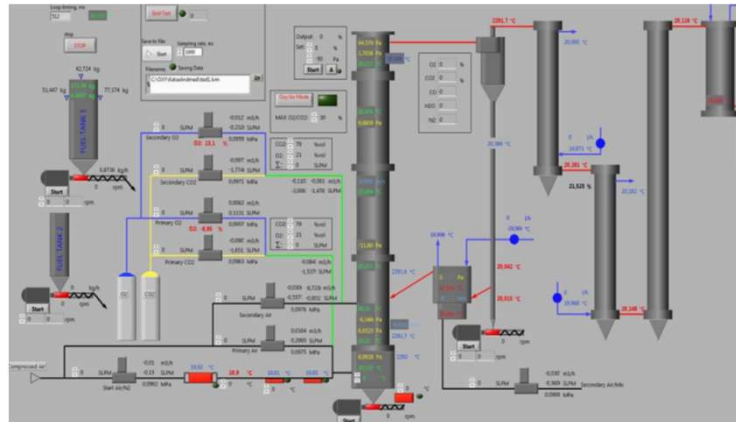
Allikad: "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, Nov. 2014.

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter7.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter7.pdf)

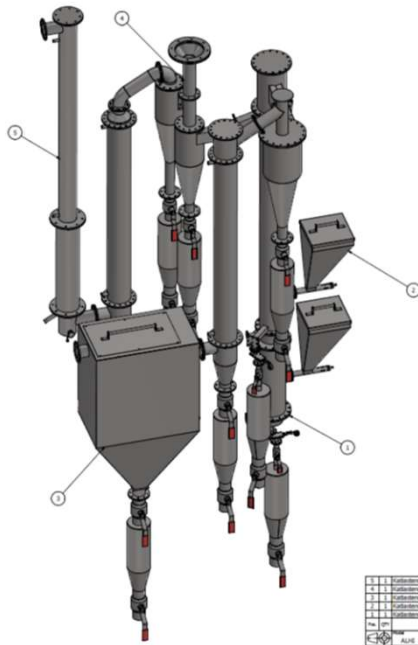
Kliimamuutuste leevendamine läbi CCS ja CCU tehnoloogiate (ClimMIT) vahearuanne, RITA1, Tallinna Tehnikaülikool, Tartu Ülikool, detsember 2019



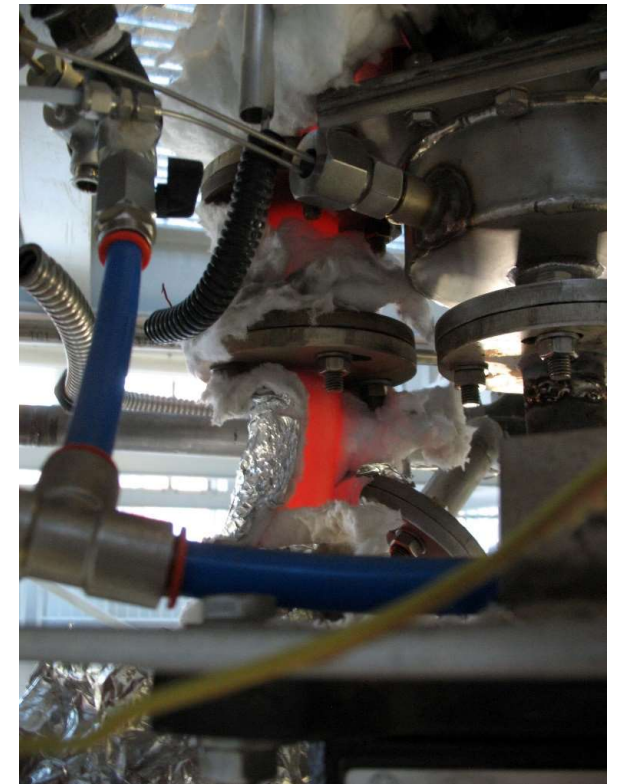
# CCUS - 60kW<sub>th</sub> CFB Test Facility



## KEEVKIHTPÜROLÜÜS



TATE



# Kokkuvõtteks

Meie loodusressurss muutub väärtuseks kui me teame tema olemasolu, omadusi, mahtu ja paiknemist ning oskame seda keskkonnasäästlikult kasutada

Kui midagi uurida, siis ei tähenda, et seda peaks hakkama kohe kasutama

Põlevkivi andis meile energiajulgeoleku? Kas me soovime seda ka tulevikus, on poliitiline otsus, sest TjaA-sse panustades suudame välja töötada sobivad CCUS lahendused

Põlevkivi energeetika tulevik – vajalik õlitehase jääkide utiliseerimiseks

- CCS või CCU koos CFB tehnoloogiaga
- rakendades CCS või CCU tehnoloogiat koos biomassi ja põlevkivi koospõletusega võiks olla võimalik saavutada poliitiliselt kokku lepitud negatiivne CO<sub>2</sub> emissioon

Riik peab teadusse ja arendusse panustama, sest pole ettevõtteid, kes suudaks ise alusuuringuid rahastada

Energiajulgeolekut ei tohi alahinnata

# EI OLE ME PÕLEVKIVIKESKSED! KÄIMASOLEVAID PROJEKTE ENERGIATEHNOLOOGIA INSITUUDIS:

- **VESINIKU JA SÜNTEETILISE GAASI KASUTAMISE POTENTSIAAL JA ÜHENDITEST TULENEV MÕJU ÜLEKANDETORUSTIKELE JA LÕPPTARBIJATE SEADMETELE, tellija ELERING**
  - 2. Ülevaade tehnilistest ja keemilistest tingimustest ning nende analüüs
    - 2.1 Vesiniku ja süngaasi erinevate toodete ning maagaasi, biogaasi, vesiniku ja süngaasi erinevate segude keemilised ja füüsilised omadused ja võrdlus standarditega.
    - 2.2 Vesiniku ja süngaasi potentsiaalne mõju erinevate võrku antavate tasemete juures: võrgule ja tarbijaseadmetele (vastavalt kaardistatutele). Kahju seadmetele, lisanduv gaasi plahvatus- (gaasi koostisest tulenev plahvatuspiiride muutus) ja mittetäieliku põlemise oht (Wobbe arvu muutusest tulenev oht mittetäielikule põlemisele), seadmete enneaegne vananemine, tarbija väärtuse muutus. Korrosioonioht. Kas ja kuidas on võimalik mõjusid ja ohtusid meetmetega leevendada.
    - 2.3 Maksimaalsed vesiniku ja süngaasi võrku andmise piirkogused vastavalt eelnevalt tuvastatud mõjudele võrgule ja tarbijaseadmetele piirkonniti (suuremad gaasivarustusega linnad).
- **NER project "Heat pump potential in Baltic States",**
- **IEA DHC-CASCADE - A comprehensive toolbox for integrating low-temperature sub-networks in existing district heating networks**
- **Projektid Utilis `sega sh "Biomassi termokeemiliste protsesside alased teadusuuringud"**

**TAL**  
**TECH** jne  
OÜ Utilitas Tallinna Elektri jaamas



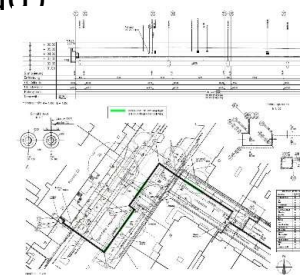
# TEGELEME SOOJUSVARUSTUSE TEMAATIKAGA

## EU soojusenergeetikast:

- vaid neljas EU riigis on taastuvenergiaallikate osakaal soojusenergia tootmises üle poole ning Eesti on üks nendest. Antud reitingu järgi on kõige nõrgemad Iirimaa ja Holland
- enne 01.07.2018 olid kõik uued ehitised Hollandis kohustatud liituma gaasivõrguga, nüüd aga on olukord drastiliselt muutunud ning iga-aastaselt peab 170 000 hoonet hoopis end gaasi kasutamisest lahti ühendama ning kasutama keskkonnasõbralikke allikaid (soovitavalt kaugkütet)
- vastavalt EU direktiivide nõuetele peavad alates 2021. aastast jõudma kõik Eesti uusehitised A-klassi (liginullenergia) nõuete piiresse ehk tarbima ca 100 kWh/m<sup>2</sup> aastas. Kui suur on tarbimine teistes EU riikides? Suurbritaanias 151 kWh/m<sup>2</sup>, aga Belgias hoopis 221 kWh/m<sup>2</sup>.

Allikas: "EuroHeat Report" (Tyndall National Institute)

- Meie osalise koormusega õppejõu HeatConsult OÜ: esimeseid projekte Saksamaal, Hamburgis. (Hamburgis uue metroo liini ja peatusega seotud kaugkütte- ja kaugjahutusetorustike ümbertõstmine + elurajooni kaugküttetorustikud)



**TÄNÄN KUULAMAST!**