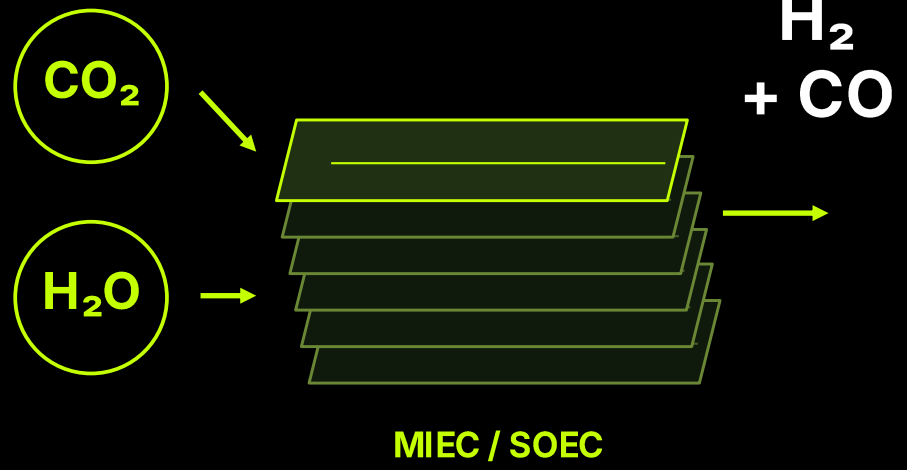
10th Tartu Hydrogen Days

H2ELECTRO

CO_2-st sünteesgaasiks



Täiskeraamiline SOEC
keemiatööstusele ja e-kütustele

Silver Sepp, PhD | CTO

TARTU ÜLIKOOL 1632 UNIVERSITY OF TARTU · TAL TECH · METROSERT · TARTU RAKENDUSLIK KOLLEDŽ TARTU VOCATIONAL COLLEGE · H2VALUE · H2CoVE · H2LV · PORT OF TALLINN The Port of Good News · BH BALTIC HYDROGEN GROUP · TARTU

Üks platvorm. Kolm elektrolüüsirežiimi.

Sisend määrab toote. Meie fookus on H_2O ja CO_2 samaaegsel muundamisel.

01 Auru elektrolüüs

VESINIK

$$H_2O \longrightarrow H_2$$

$$H_2O \rightarrow H_2 + ½O_2$$

Ammoniaak ja väetised
Tööstuslik vesinik
Metallide redutseerimine

02 Kaaselektrolüüs

H2ELECTRO FOOKUS

$$H_2O + CO_2 \longrightarrow H_2 + CO$$

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2 + CO + O_2$$

Metanool ja kemikaalid
Fischer–Tropschi e-kütused
H_2/CO suhte reguleerimine

03 Kuiv CO_2 elektrolüüs

ARENDUSKONTSEPTSIOON

$$CO_2 \longrightarrow CO$$

$$CO_2 \rightarrow CO + ½O_2$$

CO keemiatööstusele
Metallide redutseerimine

Kolm teed sünteesgaasini

Metaanist

$CH_4 + H_2O$

Aurureformimine

$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3\,H_2$

Rohevesinikust ja CO_2-st

$CO_2 + H_2$

RWGS

$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$

co-SOEC

$CO_2 + H_2O$

Kõrgtemperatuurne kaaselektrolüüs

$CO_2 + H_2O \rightarrow CO + H_2 + O_2$

SÜNTEESGAAS = $CO + H_2$

CO_2 + aur + elekter → sünteesgaas

SISENDID

Taastuvelekter

CO_2 + H_2O + soojus

TÄISKERAAMILINE RAKK

MIEC-kütuseelektrood

TOODE

H_2 + CO

Metanool · e-kütused · kemikaalid

800–850 ℃

$H_2/CO \approx 2$

Siht metanoolile ja FT-kütustele

Probleem: ainult vesinikust ei piisa.

Sünteesgaas = H_2 + CO

- **Metanool ja kemikaalid**
- **Sünteetilised vedelkütused**
- **Fossiilse toorme asendamine**

SÜNTEESGAASI TOOTMISVÕIMSUS [1]

324 → **553**

2026 · hinnang — 2031 · prognoos

miljonit Nm^3 tunnis

11,3% AASTAKASV

Kasvuprognoos 2026–2031; kogu maailm.

u 1,5 miljardit tonni
sünteesgaasi aastas

[1] Mordor Intelligence, Syngas Market (2026). [

Meie tehnoloogia algab materjalist

Pulbri sünteesist kuni raku mikrostruktuuri ja elektrokeemilise valideerimiseni.

01 → 02 → 03 → 04

Pulber

Oma süntees
Faasi puhtus
Koostise kontroll

Pasta

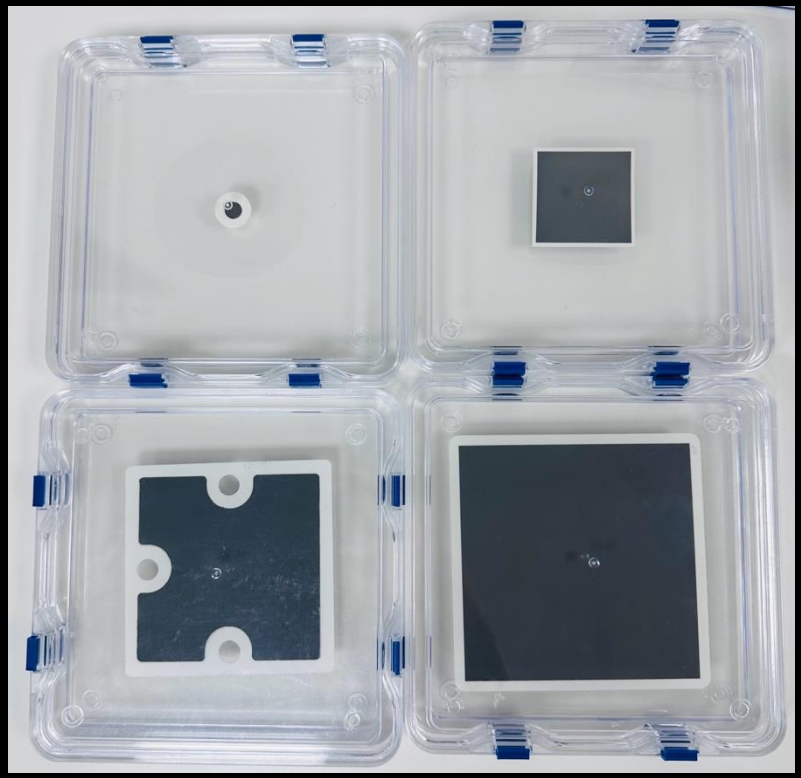
Reoloogia
Prinditavus
Dispersiooni stabiilsus

Rakk

Kihi paksus
Poorsus ja liidesed
Termiline töötlus

Valideerimine

IV ja impedants
Redokstsüklid
Pikaajaline stabiilsus



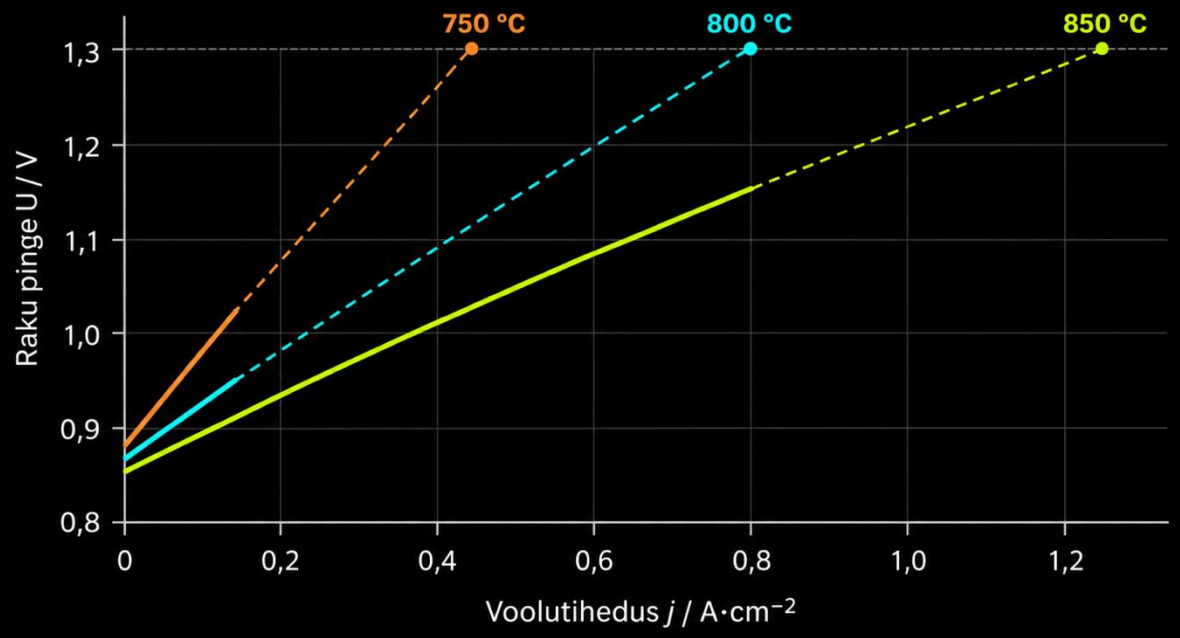
Töökindluse võtmekoht: kütuseelektrood

MIEC suunab arenduse CO_2-rikka keskkonna ja redokstsüklite taluvusele.

KRITEERIUM	Tavapärane Ni-keraamika	H2Electro MIEC-lähenemine
Süsiniku sadestumine	Koksistumise risk CO-rikkas gaasis	Suurem süsinikutaluvus
Redokstsüklid	Ni oksüdeerumine võib kahjustada	Täiskeraamiline arhitektuur
Lisandid ja gaasi koostis	Tundlikkus, nt väävli suhtes	Taluvus on arenduse keskmes
Algaktiivsus ja juhtivus	Tugev külg H_2/H_2O keskkonnas	Juhtivus ja kontaktid vajavad disaini
Valmistamine	Küps ja laialt levinud tehnoloogia	Täpne faasi- ja mikrostruktuurikontroll

Raku jõudlus

Auru elektrolüüs



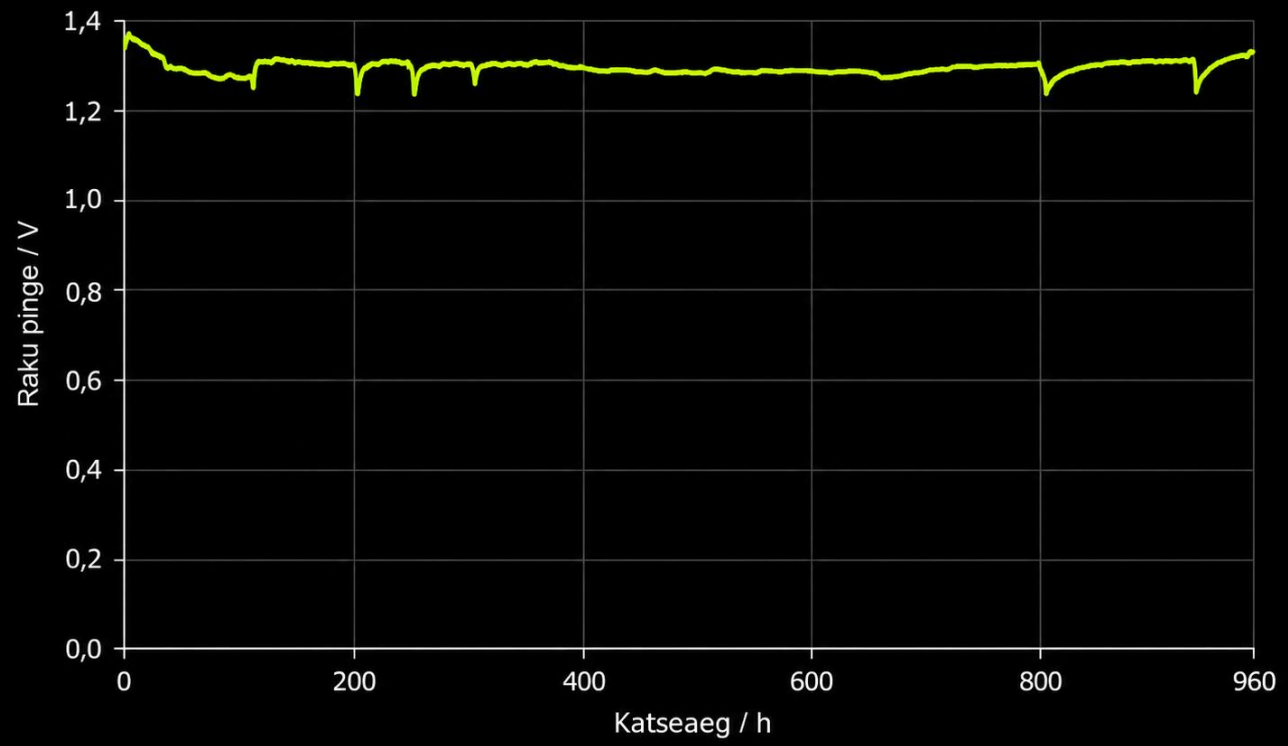
≈ 0,8 A/cm²

800 ℃ · 1,30 V

H_2O / H_2 = 90 / 10
Õhupool: 21% O_2
Gaasi koguvool: 100 sccm

Stabiilsus ka korduvate redokstsüklite ajal

<1% / 1000 h



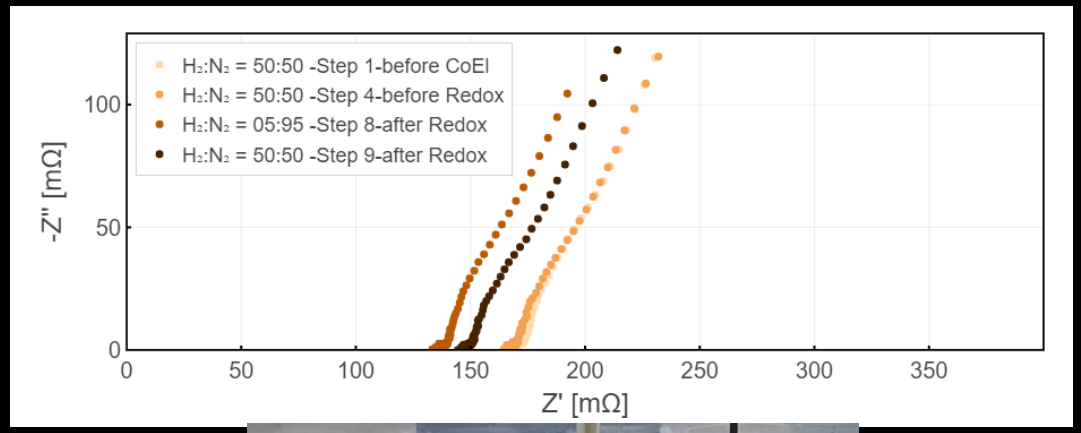
800 ℔C · 0,5 A/cm²

99% H_2O / 1% N_2 kütusepoolel
Õhk hapnikuelektroodi poolel

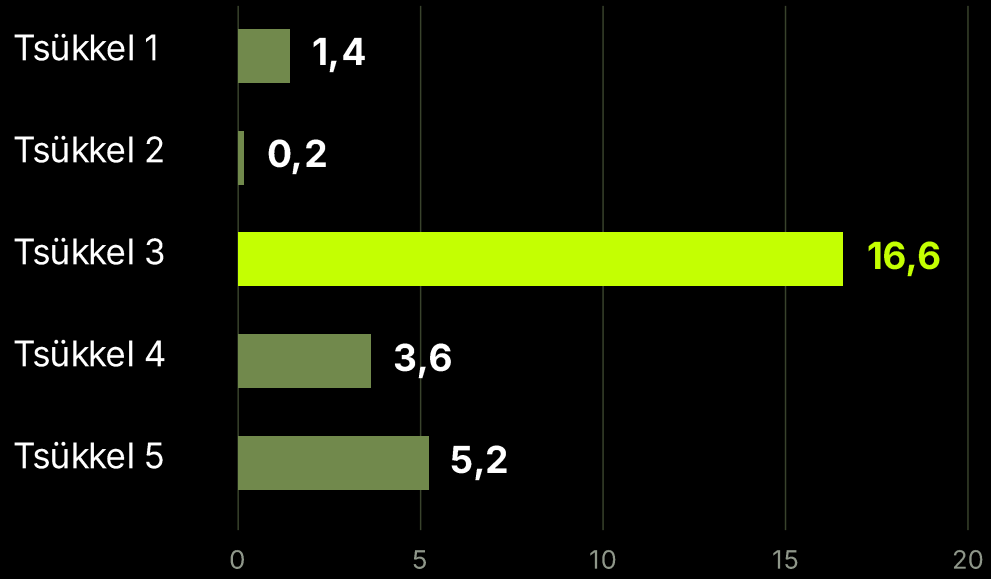
1,33 → 1,29 V

Redokstsükkel vähendab taksitus ka stackis

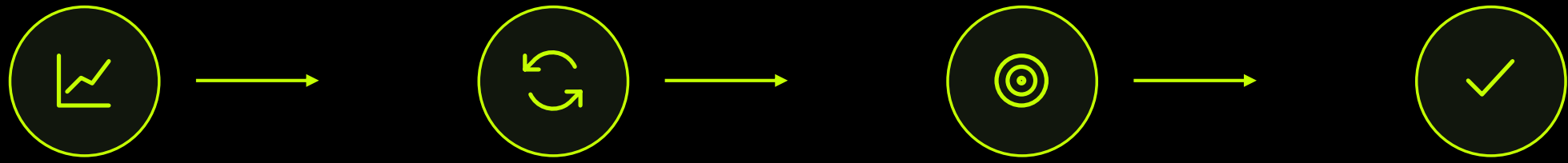
ENNE JA PÄRAST REDOKSTSÜKLIT



RΩ VÄHENEMINE, mΩ



Redokstsükkel kui võimalik hooldusvõte



Töö

Jälgi pinget ja impedantsi.

Kontrollitud tsükkel

Määratletud režiim ja ohutuspiirid.

Uus mõõtmine

Kontrolli RΩ ja polariseerumist.

Tagasi tööle

Kinnita korduvus ja taastuvus.

Eesmärk: taastada toimivust ilma rakku välja vahetamata.

Tulevikusuund: CO otse CO_2-st

Kuiv CO_2 elektrolüüs laiendab sama materjaliplatvormi võimalikke rakendusi.

VAJAB EKSPERIMENTAALSET VALIDEERIMIST

$$CO_2 + 2e^- \rightarrow CO + O^{2-}$$

$O^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$

Keemiline süntees

CO kui sihtotstarbeline lähteaine.

Metallurgia

Redutseeriva gaasi rakendused.

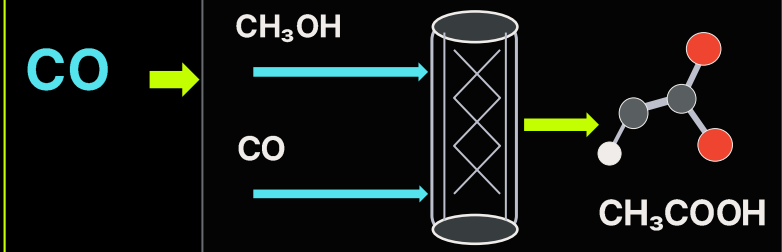
$$CO_2 \rightarrow CO + \frac{1}{2}O_2$$

Äädikhape kui CO kasutusjuht

Metanooli karbonüülimine

$CH_3OH + CO \rightarrow CH_3COOH$

Monsanto / Cativa protsess · Rh / Ir katalüsaatorid



1 t CH_3COOH vajab teoreetiliselt
0,467 t CO
0,533 t metanooli

Peamised kasutused

VAM
liimid, värvid, katted

Atsetaatestrid
lahustid, katted

PTA
tekstiilid, PET-plast

Turupotentsiaal

2024 nõudlus:	**~17 mln t/a**
2025 tootmisvõimsus:	**~22–23+ mln t/a**
2025 turu väärtus:	**~8 mld USD**
2035 nõudlus:	**~27 mln t/a**

- **CO vajadus**

  Kui 17 mln t/a äädikhapet toodetaks täielikult metanooli karbonüülimisega, oleks CO vajadus **~7,9 mln t/a.**

~2,25 GW
ideaalne SOEC DC-võimsus

7,9 Mt CO/a →	**~19,7 TWh/a**
90% kättesaadavuse korral:	**~2,5 GW stacke**

Eesmärk on tuua materjali vastupidavus kogu süsteemi väärtuseks

01	**Vajalik toode**	H_2 + CO metanoolile, kemikaalidele ja e-kütustele.
02	**Eristuv materjal**	Täiskeraamiline MIEC-elektrood ja redokstaluvus.
03	**Tööstuslik väärtus**	Stabiilsus, paindlik käitamine ja lihtsam süsteem.

Tänan tähelepanu eest!

Reimo Hammerberg

Silver Sepp, PhD

Mihkel Vestli, PhD

Dmitri Opalnikov

Alar Heinsaar, PhD

Silver Sepp · silver@h2electro.com · h2electro.com