

MILLEKS MEIL ON VAJA TOOTA VESINIKKU?

Jaak Nerut, elektrokeemia professor

Ida Virumaa ettevõtlusnädal, TÜ Narva Kolledž, seminar "Ettevõtja, innovatsioon ja teadus"

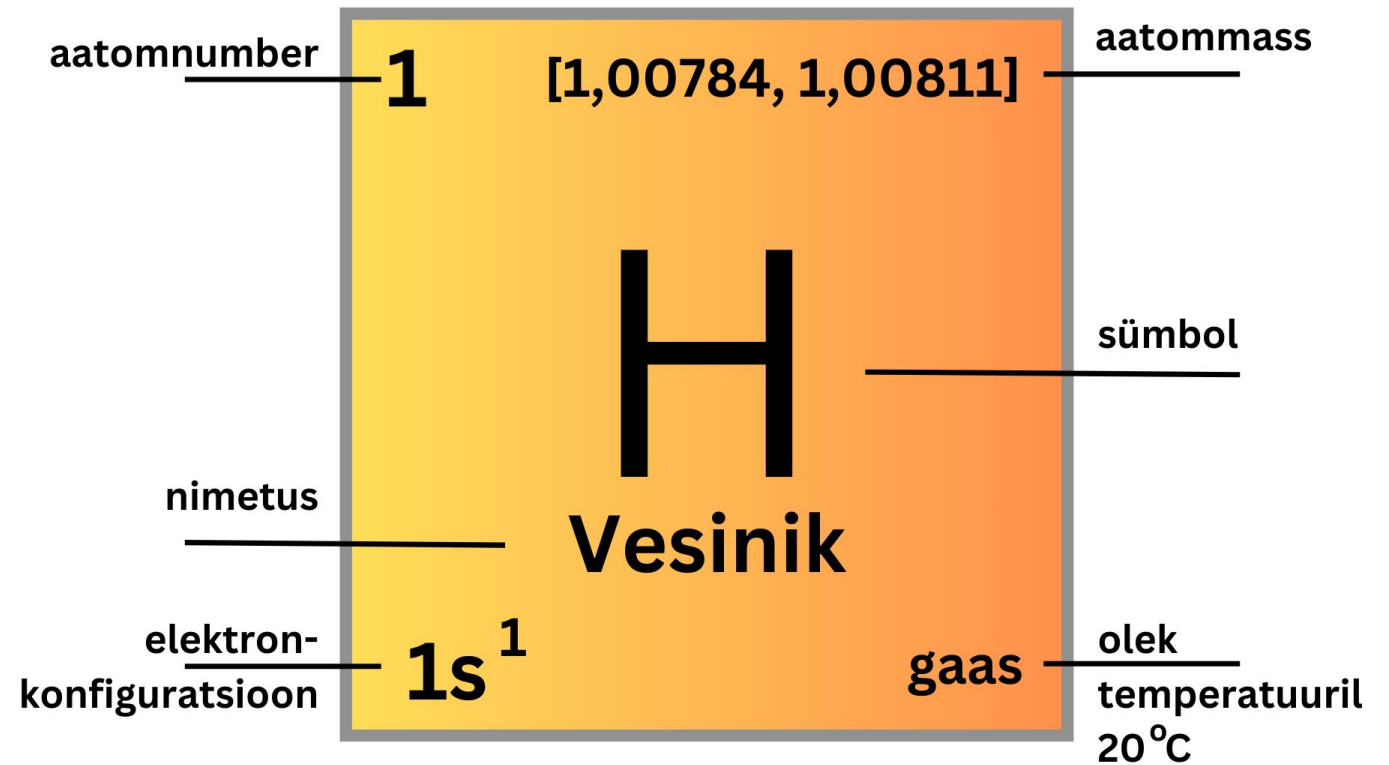
4. oktoober 2024



TARTU ÜLIKOOL

VESINIK

- Levinuim element universumis
- Lõhnatu, värvusetu, maitsetu
- Kergesti süttiv
- Toatemperatuuril gaas
- Kosmoses on vesinik “tähekütus”
- Maa peal peamiselt ühendite koostises



KUS VESINIKKU KASUTATAKSE?



VESINIKU KASUTUSVALDKONNAD

Üleilmne tootmine ca

- 90 Mt H₂ aastas puhta vesinikuna
- 45 Mt H₂ aastas gaasisegude osana
- 3,6% maailma lõplikust energiavajadusest
- Võrreldav Saksamaa aastase energiatarbimisega

Vesiniku panus on erakordselt suur!

GLOBAALNE VESINIKU KASUTAMINE VALDKONNITI



Nafta rafineerimine
25%



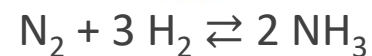
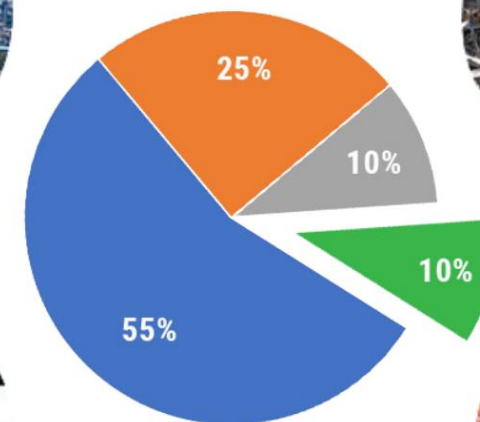
Metanooli tootmine
10%



Ammoniaagi tootmine
55%



Muu
10%

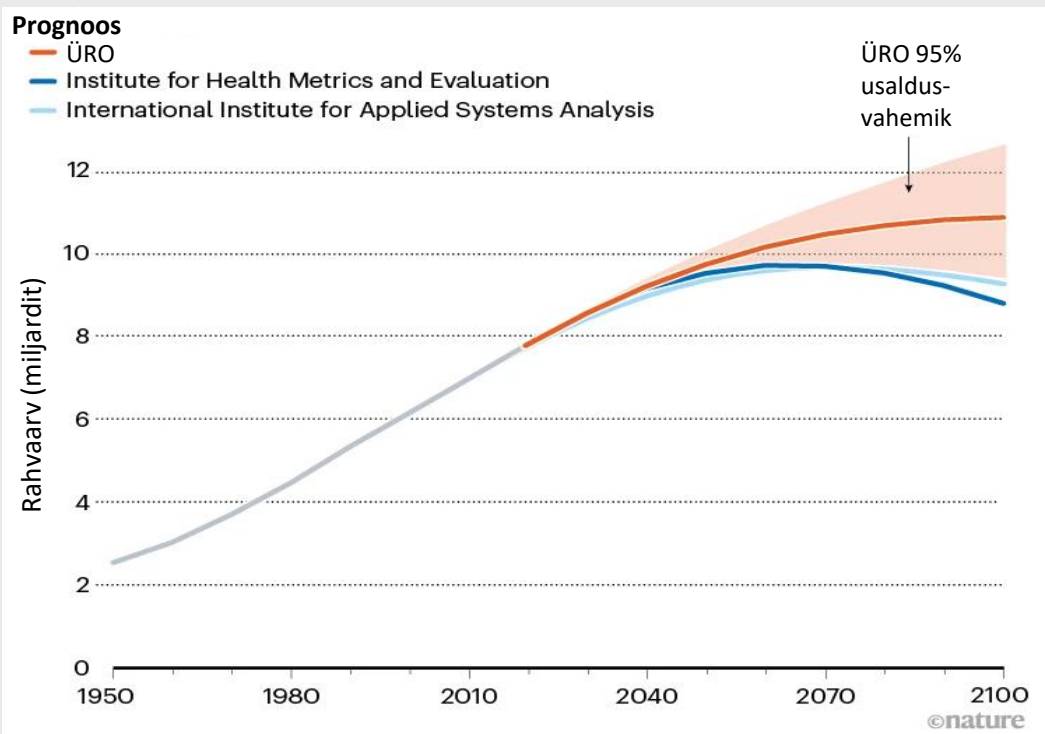


Andmed lehtelt Hydrogen Europe hydrogeneurope.eu/hydrogen-applications
Illustratiivne materjal © WHA International, Inc. wha-international.com

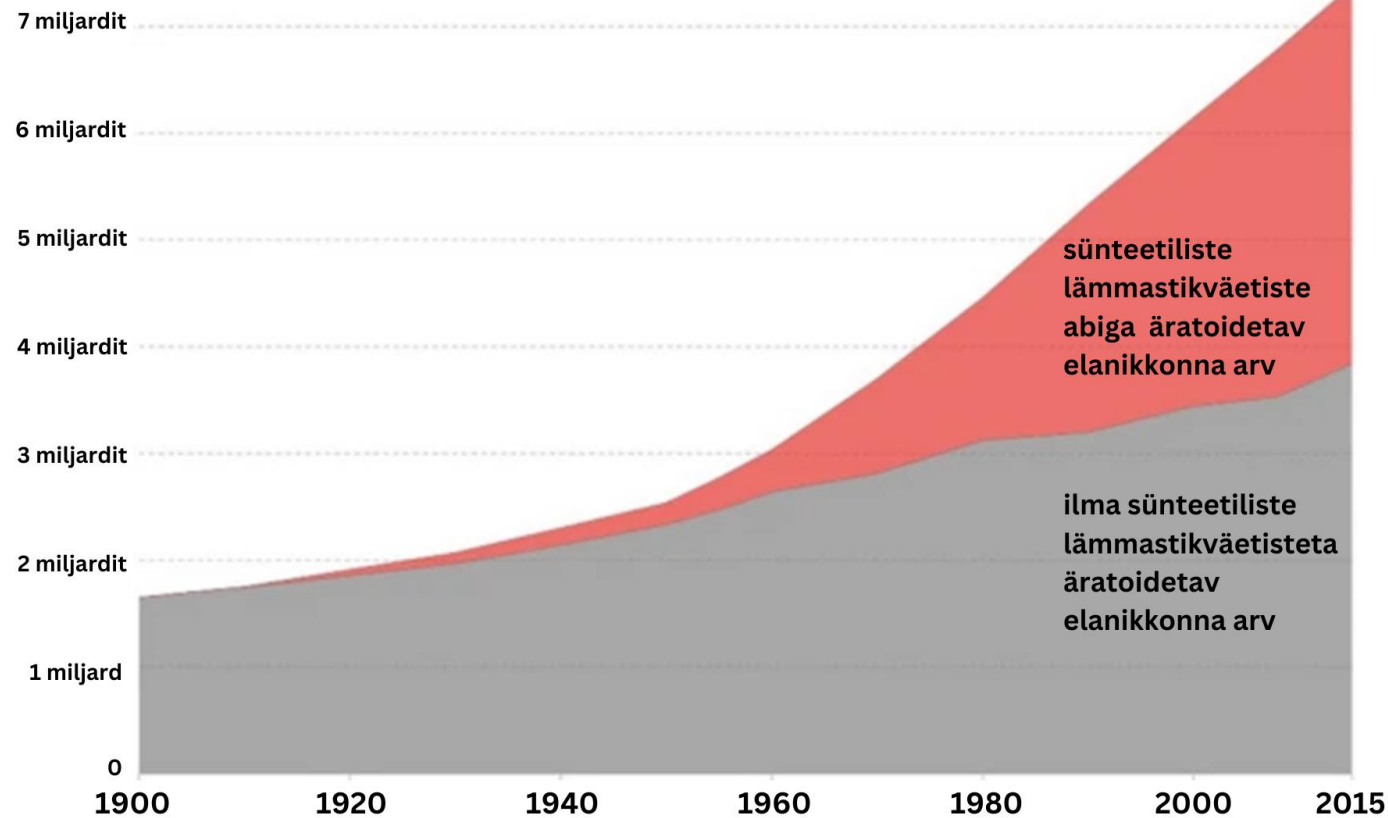


TARTU ÜLIKOOL

LÄMMASTIKVÄETISTE TÄHTSUS



[Nature 597 \(2021\) 462](#)



ourworldindata.org/grapher/world-population-supported-by-synthetic-nitrogen-fertilizers

- Rahvastiku kasvades kasvab ka vajadus väetiste järele – sünteetiliste väetisteta me hakkama ei saa.
- Kuhu on inimkond teel?
- Kui palju meil toitu vaja on? **Ja energiat?**



TARTU ÜLIKOOL

1632

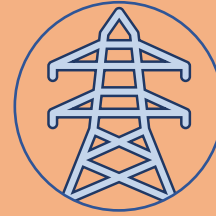
VESNIKU KASUTUSVALDKONNAD



www.plugpower.com/hydrogen-fuel-cells-in-data-centers-a-clean-energy-revolution/

Vesinik|Õhk kütuseelementide kasutamine andmeserveritele elektri tootmiseks

VESNIKU KASUTUSVALDKONNAD



ELEKTRI JA SOOJUSE TOOTMINE

- * Elektri tootmine võrku
- * Võimsuse puhverdamine
- * H₂ lisamine maagaasile - biogaasi ja madalkvaliteetse loodusliku gaasi energia väärtuse tõstmine
- * Soojus/elekter elamutele
- * Soojus/elekter tööstusele



KEEMIA TÖÖSTUS

- * Ammoniaagi tootmine
- * Teras (metallide) tootmine
- * Sünteetiline gaas
- * Krakkimine
- * Hüdrogeenimine



TRANSPORT

- * Kütuseelemendiga tõstukid
- * Vesinikusõidukid
- * Vesinikurongid
- * Vesinikulennukid
- * Vesinikulaevad

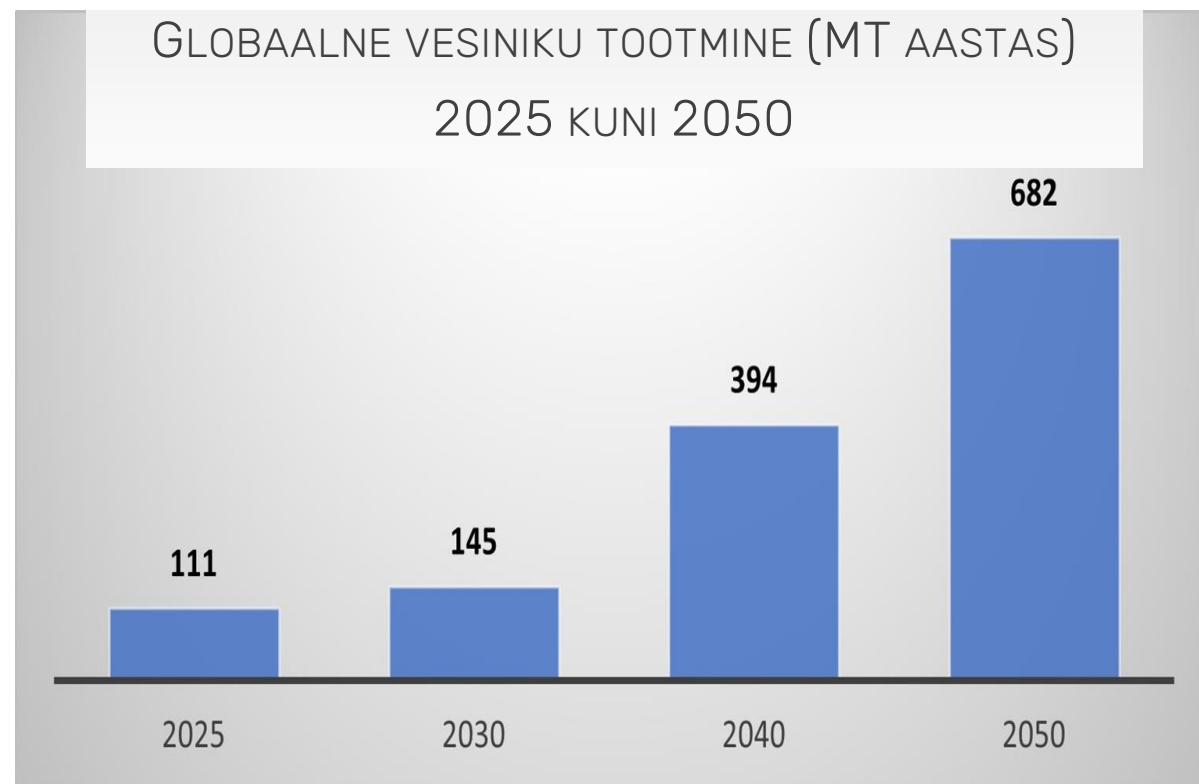
[J. Steyn, C. Render Hydrogen as Energy Carrier \(2020\)](#)



TARTU ÜLIKOOL

VESINIKU VAJADUS

- Vajadus vesiniku järgi ei vähene!
- Vesiniku vajaduse kasv järgnevate aastakümnete jooksul on kordades



[Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization Hydrogen Council, McKinsey & Company \(2020\)](#)

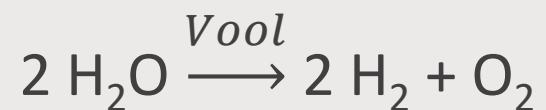


KUIDAS VESINIKKU SAADA?



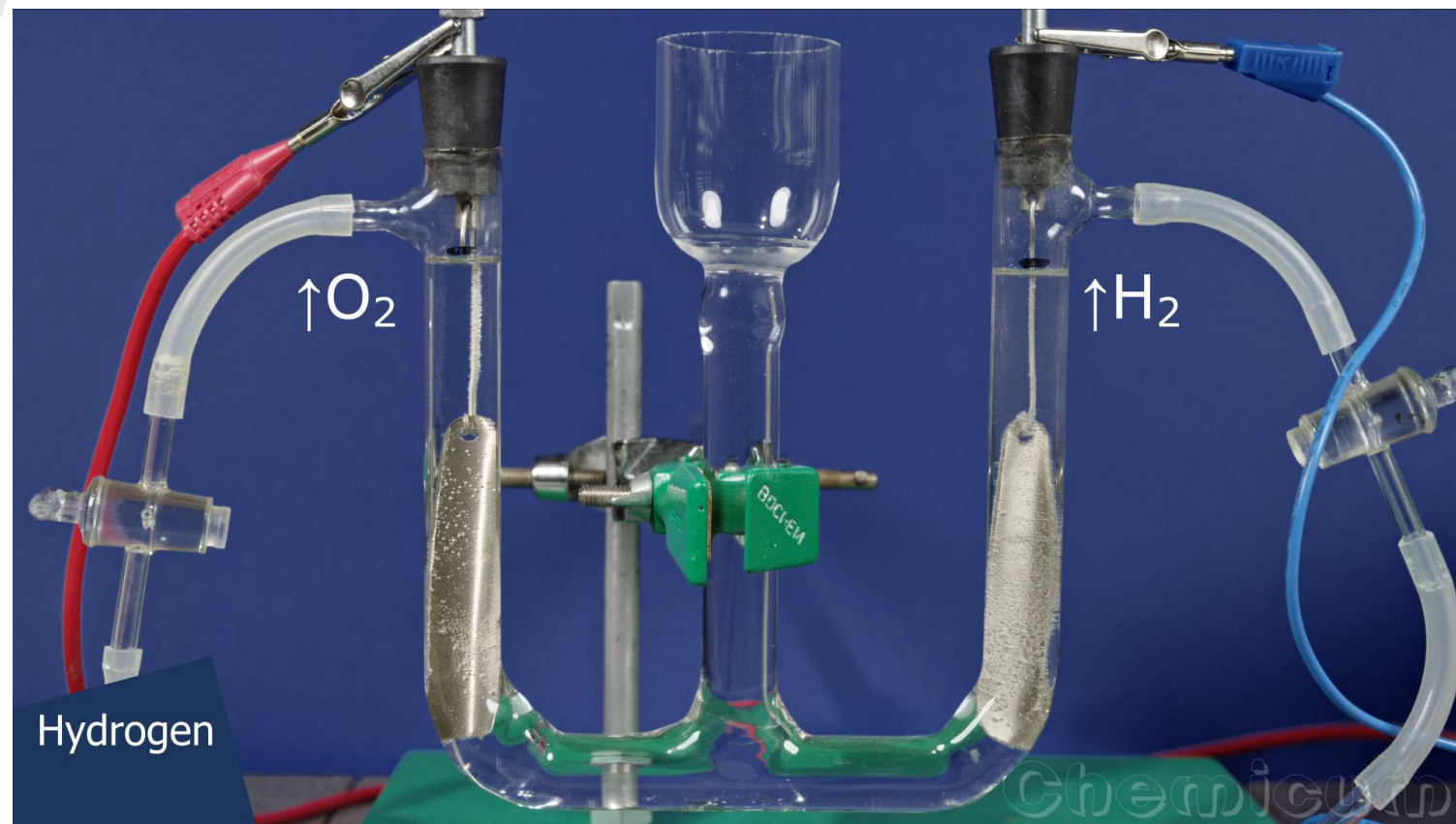
VESINIKU SAAMINE VEE ELEKTROLÜÜSIL

Miks elektrolüüsi raku ühes harus on kaks korda rohkem gaasi?



Vee elektrolüüsi ajalugu:

- 1789 a - Jan Rudolph Deiman ja Adriaan Paets van Troostwijk
 - Elektrostaatiline masin
- 1800 a - William Nicholson ja Sir Anthony Carlisle
 - Volta samm



Video: Tavo Romann ja Jaak Arold (Chemicum)

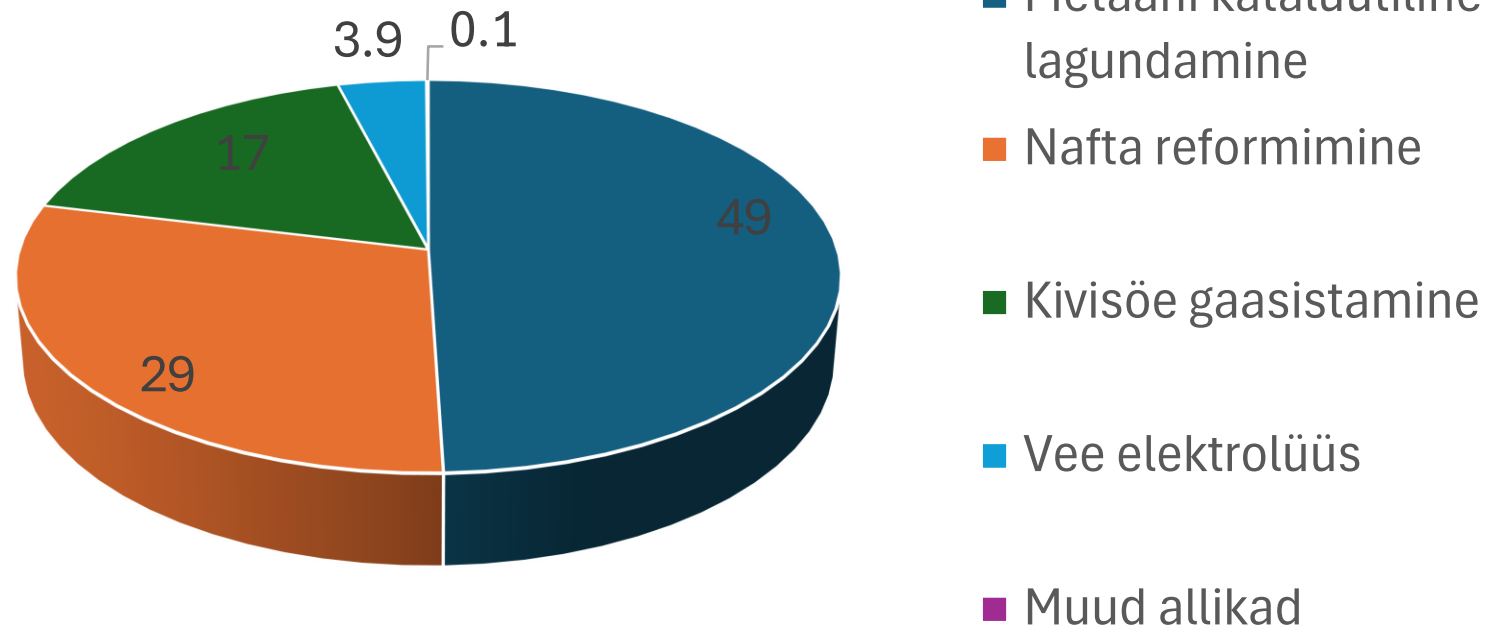


TARTU ÜLIKOOL

VESINIKU SAAMINE TÖÖSTUSLIKULT

- Fossiilkütuste baasil
- Metaani katalüütiline lagundamine
(1) $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$
(2) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- Oluline ka sünteetilise gaasi saamise aspektis

Globaalne vesiniku tootmine erinevatel meetoditel

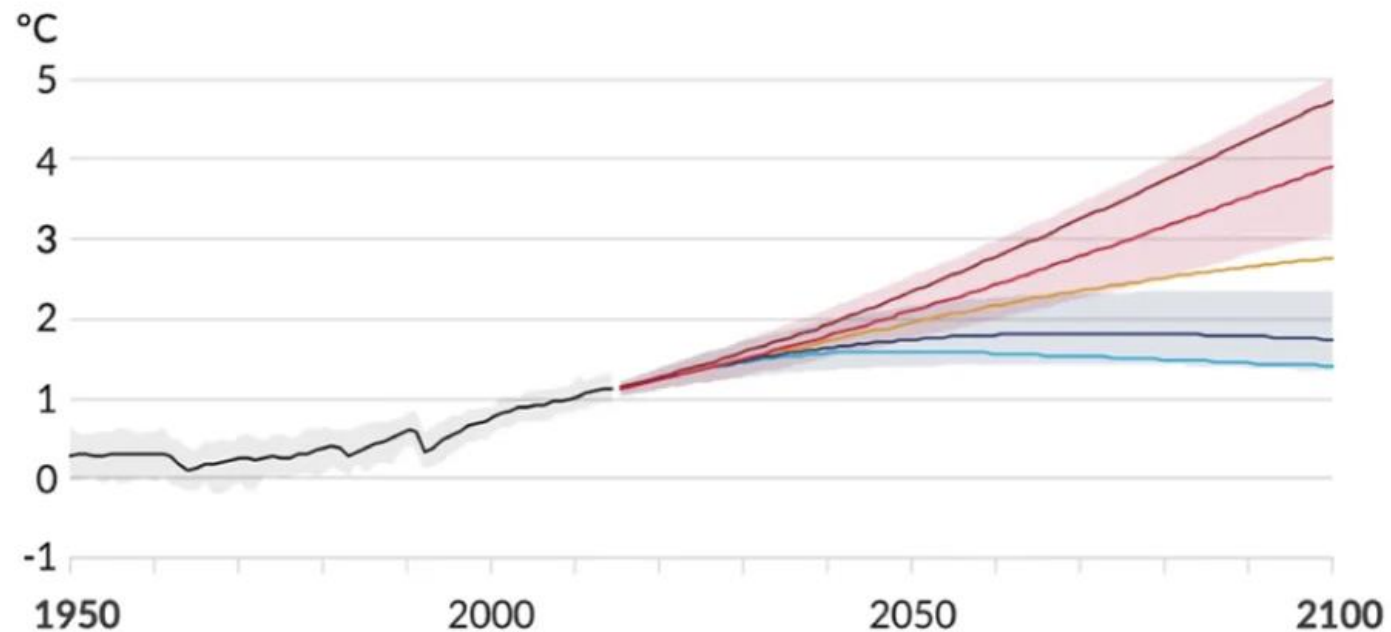


[Int. J. Hydrogen Energy 40 \(2015\) 11094](#)

KLIIMA JALAJÄLG

- **Senine** vesiniku tootmine toetub oluliselt fossiilkütustele
- Eraldub palju süsinikdioksiidi, mis tuleb uuesti siduda
- Fossiilkütustel põhinev lahendus pole kestlik

Proгноositav maa temperatuuri tõus (°C)



■ Kõige kõrgem CO₂ hulk

■ Keskmise kuni kõrge CO₂ hulk

■ Keskmise CO₂ hulk

■ Väiksem CO₂ hulk, 21. saj teises pooles CO₂ hulk ei tõuse

■ CO₂ hulk ei tõuse alates 2050

scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/predictions-future-global-climate

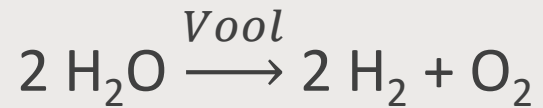
IPCC Working Group 1, 2021



TARTU ÜLIKOOL

VESINIKU SAAMINE MITTEFOSSIIL- KÜTUSTEST

- Vee elektrolüüs kasutades elektrit taastuvatest allikatest (tuul ja päike)



- Vee leeliseline elektrolüüs on kõige küpsem tehnoloogia.



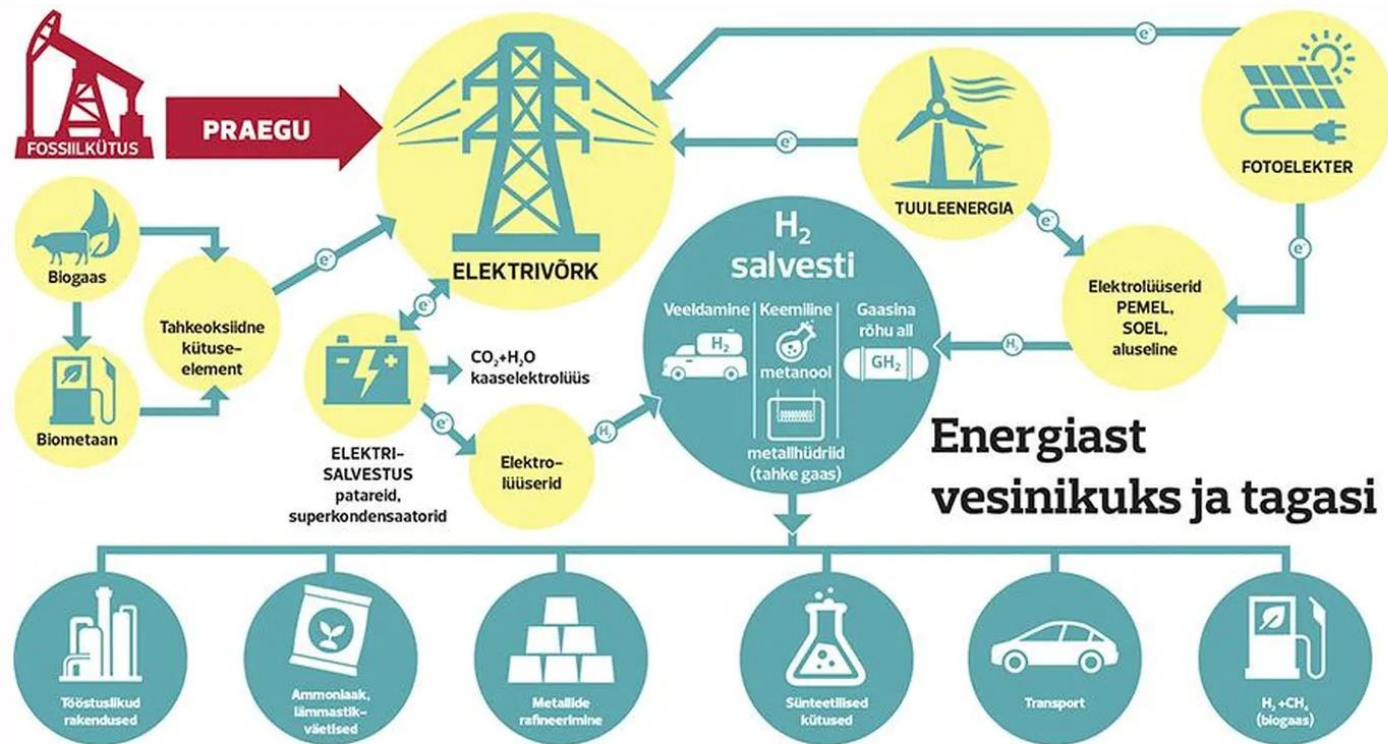
stargatehydrogen.com



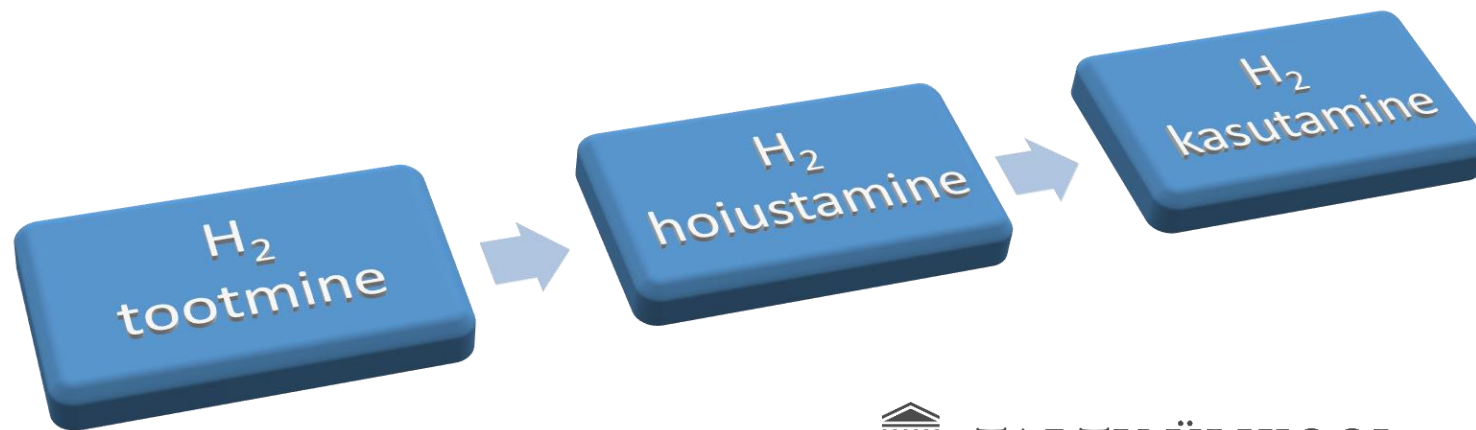
TARTU ÜLIKOOL

1632

MILLINE ON KESTLIK LAHENDUS?



[Tuleviku-Eesti keskmes on vesinik, Postimees 7.märts 2020](#)



TARTU ÜLIKOOL

1632

Aidu tuulepark (75 MW)



pohjarannik.postimees.ee/7961608/aidu-tuulikud-toodavad-juba-elektrit

Narva tuhavälja tuulepark (39 MW)



(Foto: Andres Meesak)

Purtse tuule (21 MW) ja päikese (32 MW) hübriidpark - Enefit Green



enefitgreen.ee/uudised/tana-avatakse-Eesti-esimene-tuule-ja-paikese-hubriidpark

➤ Rohevesiniku tootmist elektrolüüsi teel

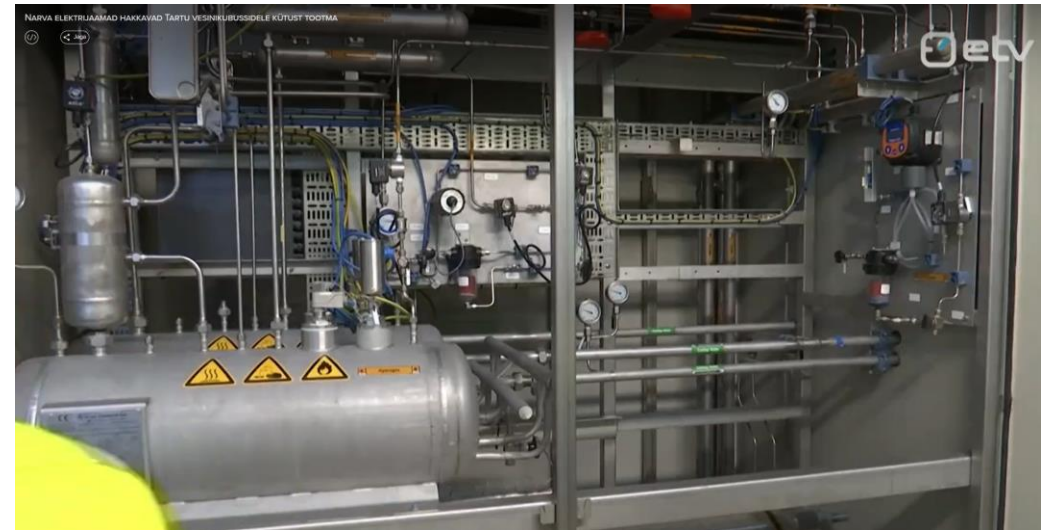


TARTU ÜLIKOOL

VEE
MADALTEMPERATUURNE
ELEKTROLÜÜS



(Foto: autor
teadmata)



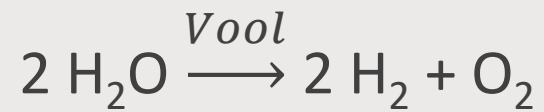
www.err.ee/1608448286/narva-elektrijaamad-hakkavad-tartu-vesinikubussidele-kutust-tootma



TARTU ÜLIKOOL

1632

MADALTEMPERATUURSED ELEKTROLÜÜSERID - KARAKTERISTIKUD



Rjukan, Norra

www.linkedin.com/pulse/challenges-opportunities-scaling-up-alkaline-water-thijs-de-groot

	Leeliseline elektrolüüser AEL	Anioonvahetus- membraaniga elektrolüüser AEMEL	Prootonvahetus- membraaniga elektrolüüser PEMEL
Kasutegur	60-95%	40-80%	50-80%
Tehnoloogia küpsus	Kommert- siaalne	Labori skaala	Varajane kommertsiaalse
Mooduli suurus	5-6000 kW	> 5 kW	5-2500 kW
Süsteemi suurus	> 100 MW	-	> 100 MW
Eelised	Küps ja odav tehnoloogia, pikk eluiga	Odavad katalüsaatorid	Kiire käivitamine, kõrge voolutihedus ja kasutegur, kõrge vesiniku rõhk
Puudused	Korrosiivne elektrolüt, H ₂ puhtus < 5.0	Madal voolutihedus ja lühike eluiga	Kalliste katalüsaatorite (Pt, Ir) kasutamine, eluiga võiks olla pikem

[Chem. Ing. Tech. 93 \(2021\) 706](#)

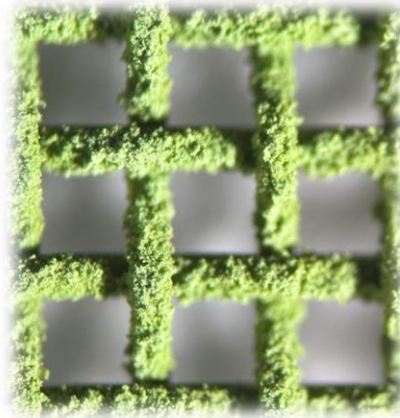


TARTU ÜLIKOOL

LEELISELISE ELEKTROLÜÜSERIALANE ARENDUSTÖÖ

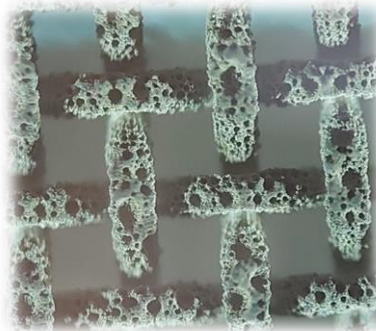
- Toimub koostöös Stargatega
- Keskendutakse uute elektrodimaterjalide väljatöötamisele
 - Fe, Ni ja Co põhised materjalid
- Eesmärgiks on loobuda väärismetallide (Ir, Ru) ksautamisest

Hüdrotermiline süntees

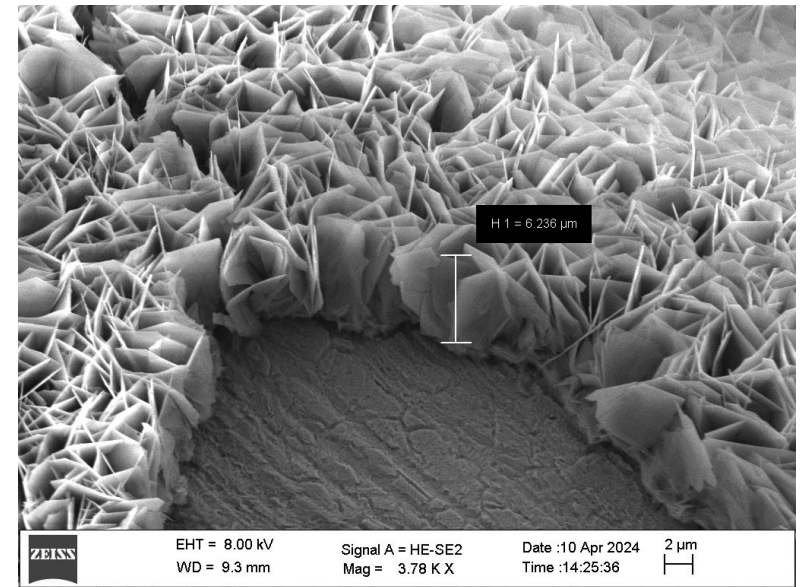


Optiline mikroskoopia

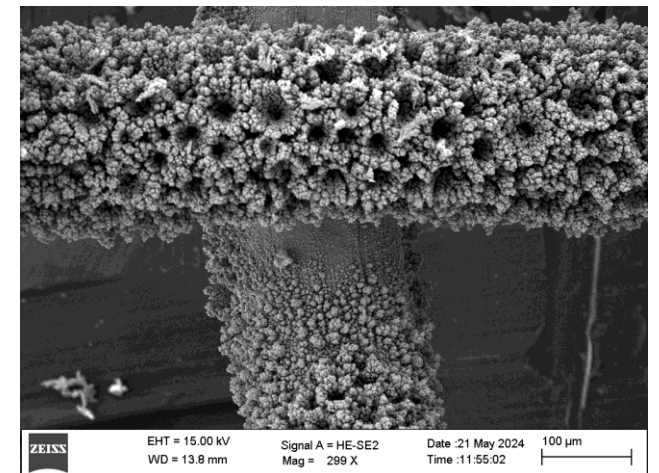
Elektrosadestatud elektroodi materjalid



- SEM-EDX
 - 1.7 at% Fe
 - 78 at% Ni
 - 21 at% Co



Skaneeriv elektronmikroskoopia (SEM)
PhD O. Volobujeva (TTÜ)



MADALTEMPERATUURSED ELEKTROLÜÜSERID - SKALEERIMINE

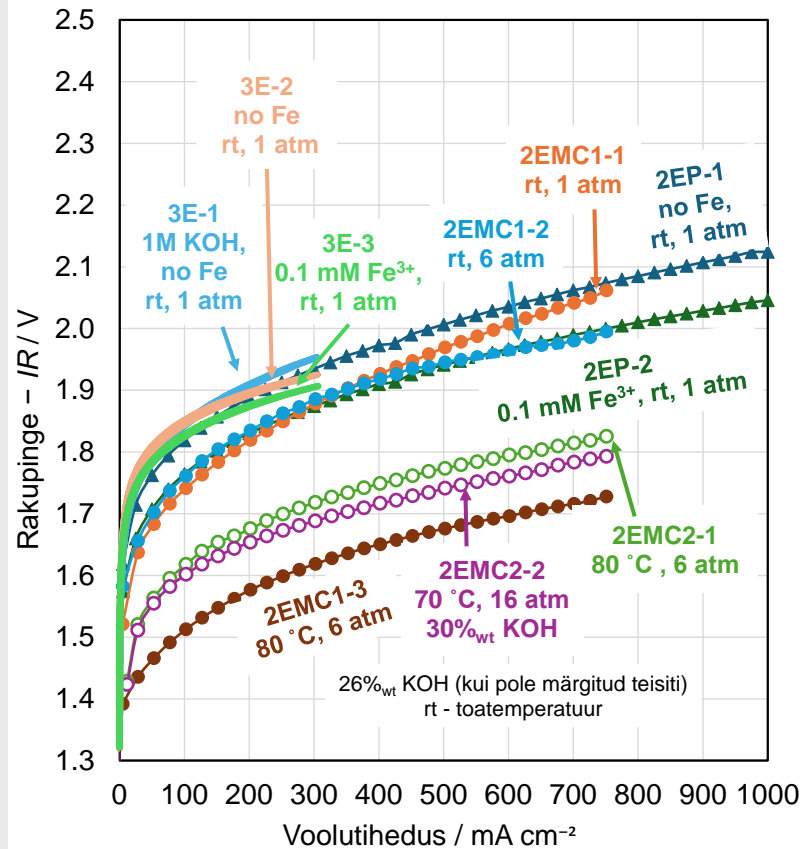


Kolmeelektroodne rakk

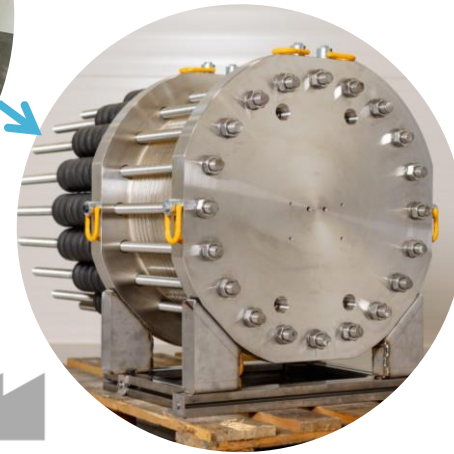
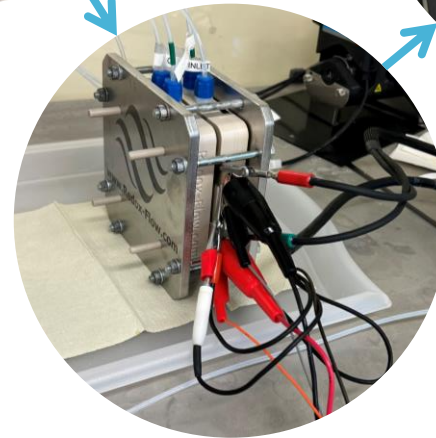
1 cm² elektrood
1 M KOH
25 °C, 1 atm

Läbivoolu rakk – T↑, p↑

20 cm² elektrood
Roostevabast terasest torustik
26-30 massi% KOH
25-80 °C, 1-16 atm



(Fotod: Alise-Valentine Prits)



Läbivoolu rakk

9 cm² elektrood
Plastiktorustik
26 massi% KOH
25 °C, 1 atm

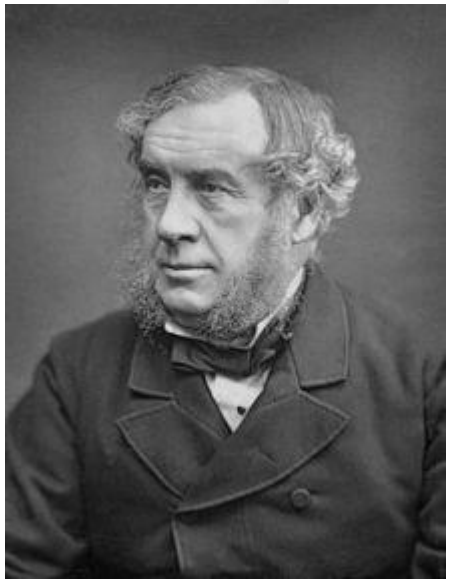
10 kW rakk

960 cm² elektrood – 17 elementi
Roostevabast terasest torustik
30 massi% KOH
70 °C, 16 atm



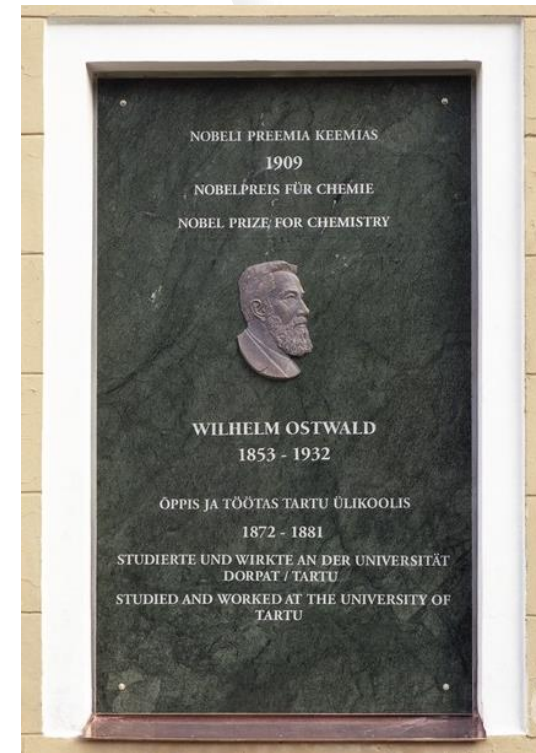
TARTU ÜLIKOOL

VESINIKU KASUTAMINE KÜTUSEELEMENTIDES



Sir William Robert Grove
(1811-1896)

[en.wikipedia.org/wiki/
William_Robert_Grove](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Robert_Grove)

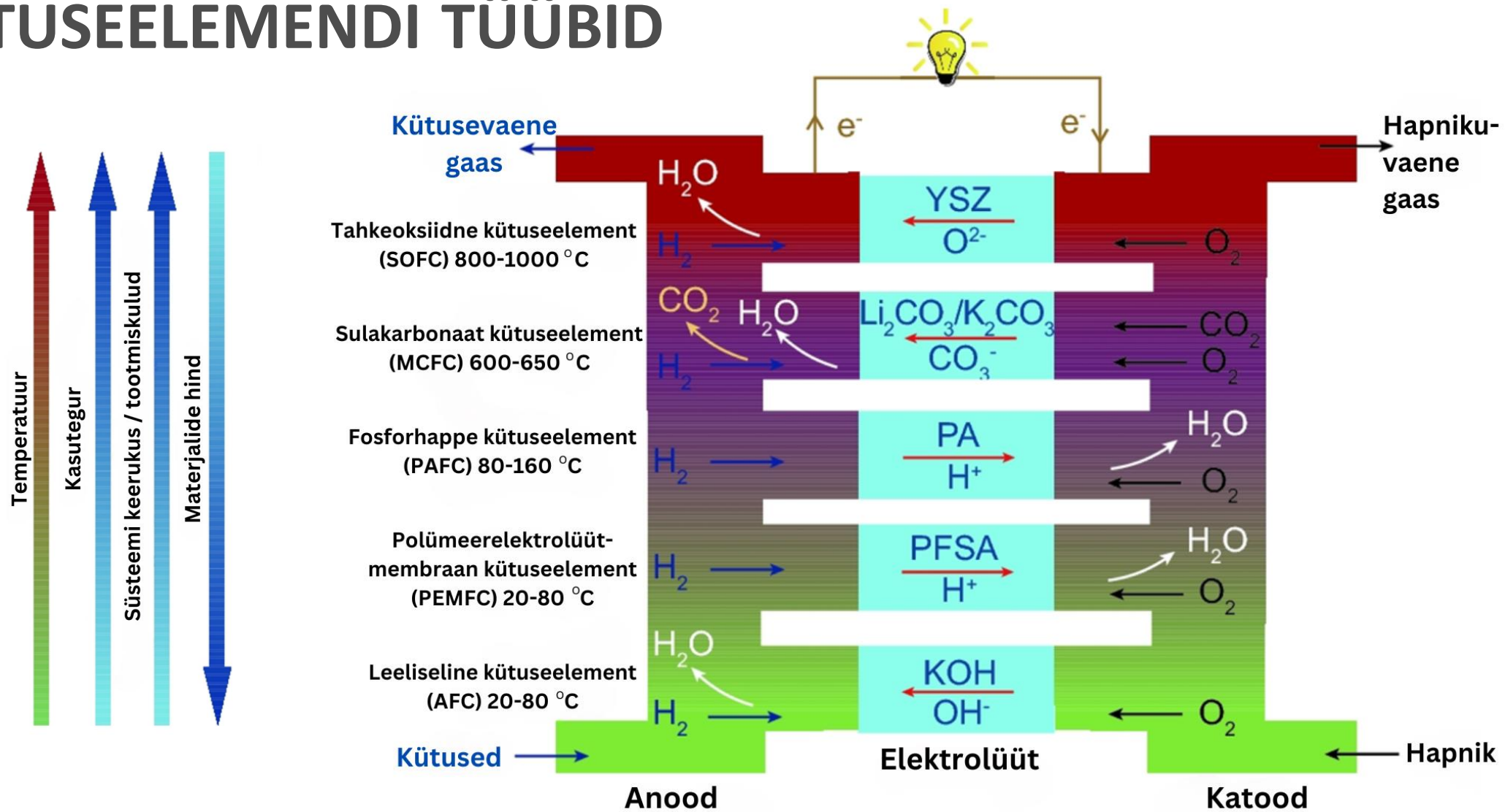


(Foto: Andres Tennus)



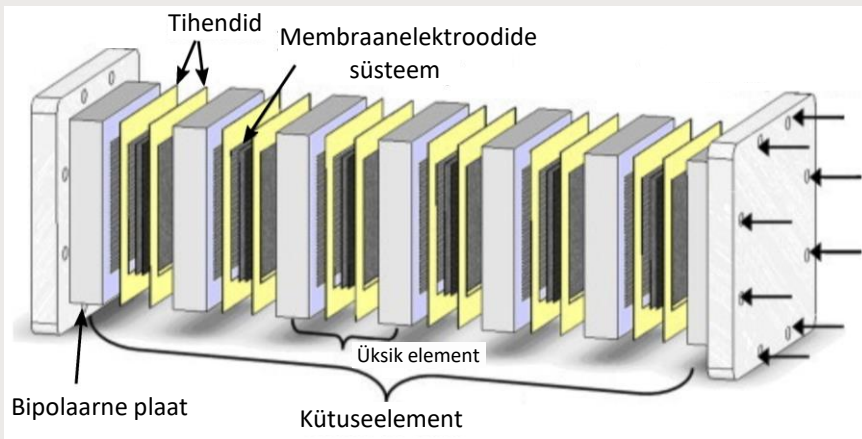
TARTU ÜLIKOOL

KÜTUSEELEMENDI TÜÜBID

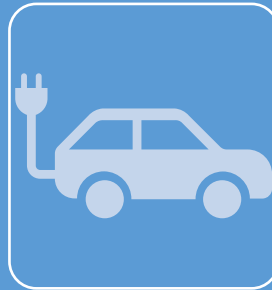


POLÜMEERELEKTROLÜÜT- MEMBRAANIGA KÜTUSEELEMENT

Kütuselement koosneb
paljust üksikutest
elementidest.



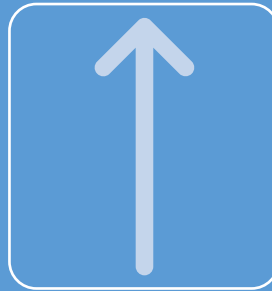
[J. Power Sources 194 \(2009\) 381](#)



Rakendusedsed

- Varutoide
- Kaasaskantav toide
- Hajutatud tootmine
- Transport nt autod, bussid, erisõidukid

Töötemperatuur	< 120 °C
Võimsus	< 1...100 kW
Kasutegur	60%



Eelised

- Tahke elektrolüüt vähendab korrosiooni ja lihtsustab käitlemist
- Madal temperatuur
- Kiire käivitamine ja koormuse reguleerimine



Väljakutsed

- Kallid katalüsaatorid
- Tundlik kütuse ebapuhtuste suhtes

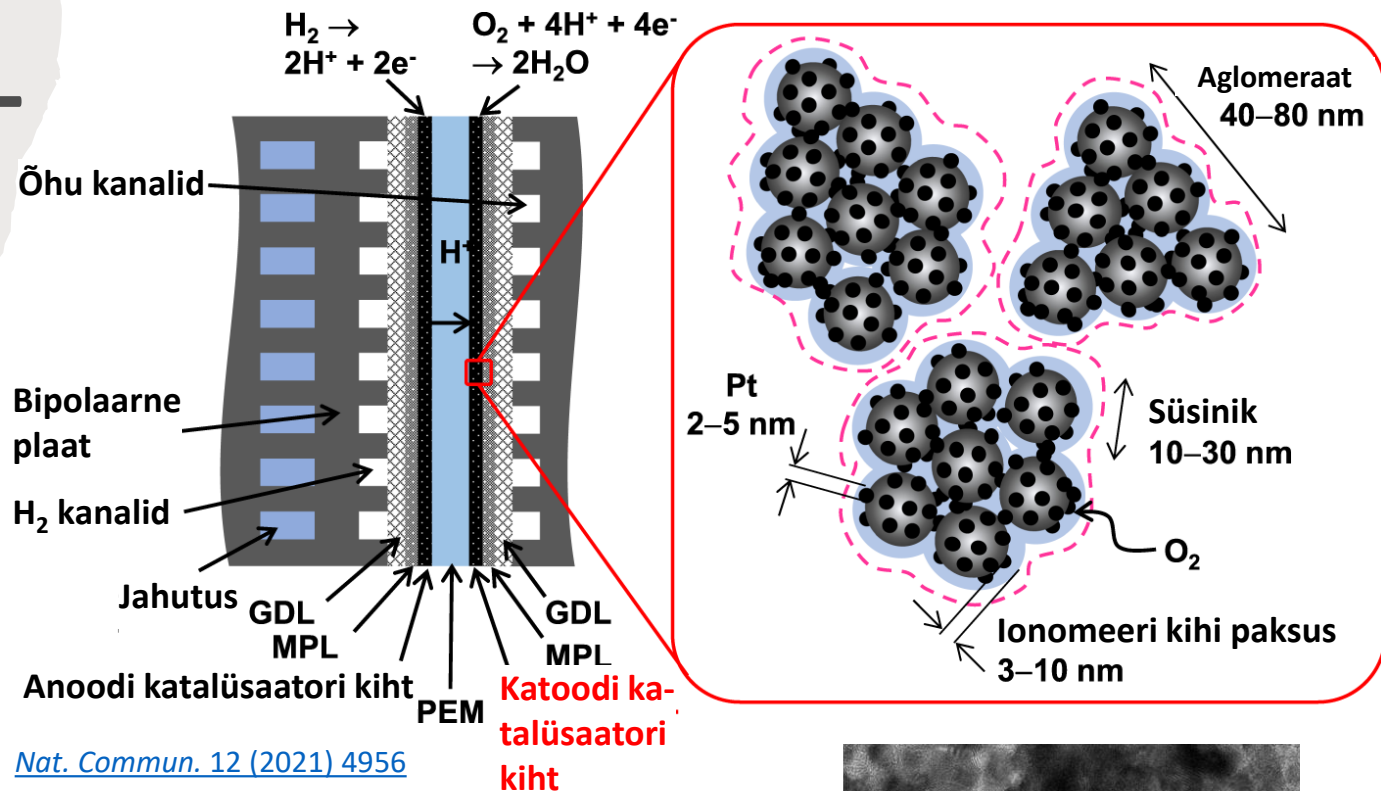
POLÜMEERELEKTROLÜÜT- MEMBRAANIGA KÜTUSEELEMENT

Katalüsaator

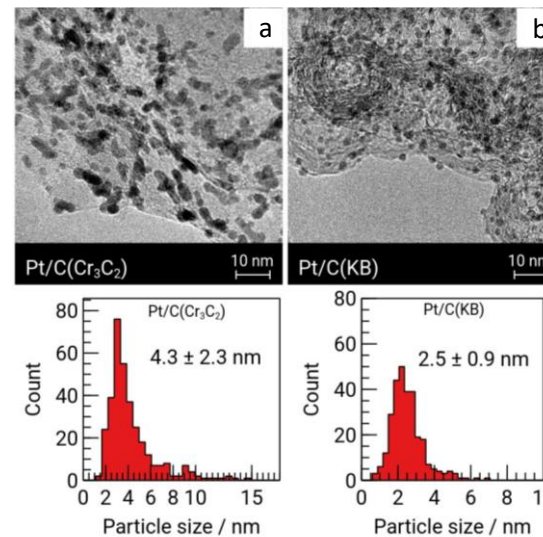
- Alusmaterjal - süsinik
- Katalüütiliselt aktiivne aine nt platin

Olulised

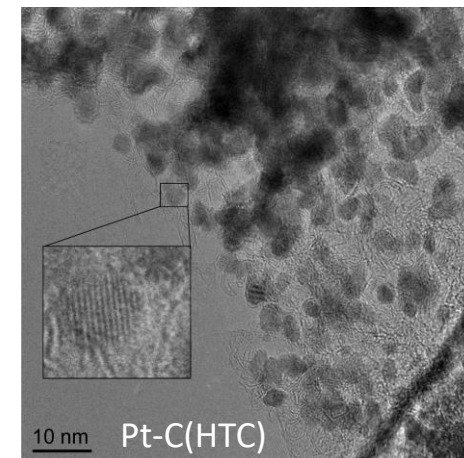
- Alusmaterjali omadused
- Katalüsaatori sadestamine



[Nat. Commun. 12 \(2021\) 4956](#)



[H.Q.V. Nguyen et al. ECS Advances 3 \(2024\) 024505](#)



[M. Taleb et al. J. Electrochem. Soc. 162 \(2015\) F651](#)

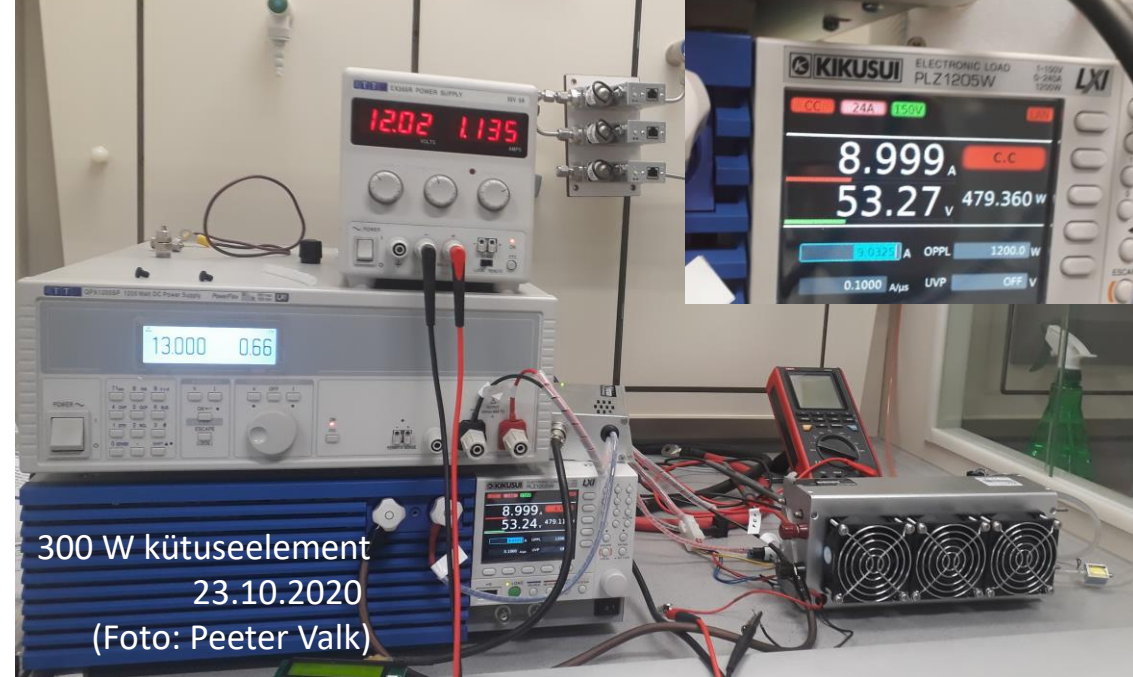


TARTU ÜLIKOOL

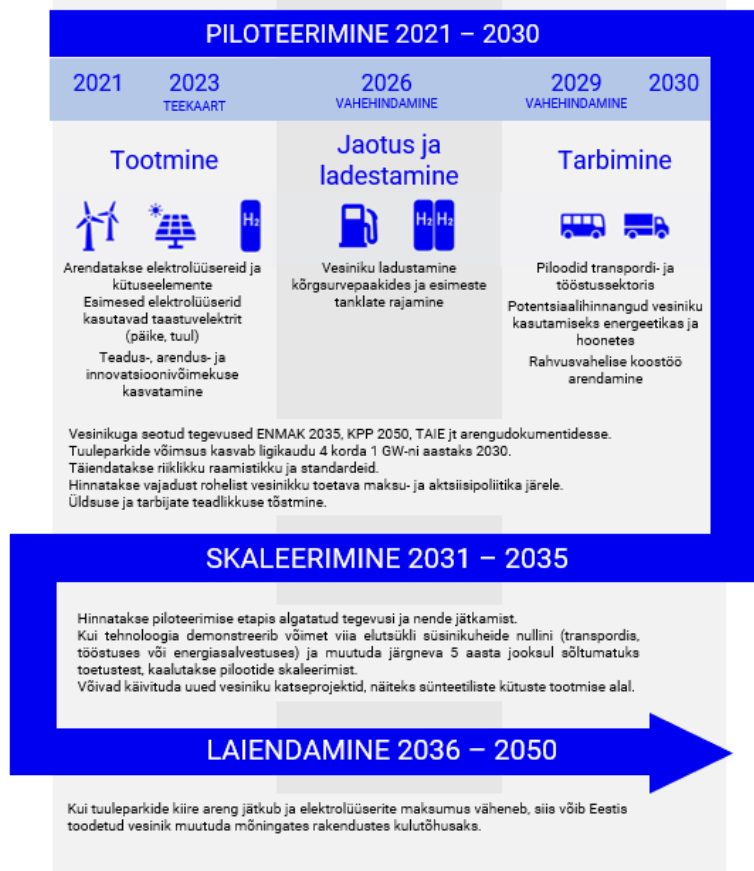
TARTU ÜLIKOO VESINIKUTEHNOLOOGIA TEENÄITAJA EESTIS

- Tartu Ülikooli keemia instituudi teadlased tegelevad suuremahuliste vesinikutehnoloogia arendus- ja koostööprojektidega.
- 2021. aasta suvel pandi koostöös AuveTechiga liikuma isejuhtiv vesinikubuss.
- Ülikooli teadlased on omavalitsustele hinnatud partnerid, et juurutada vesinikutehnoloogial põhinevaid tulevikulahendusi

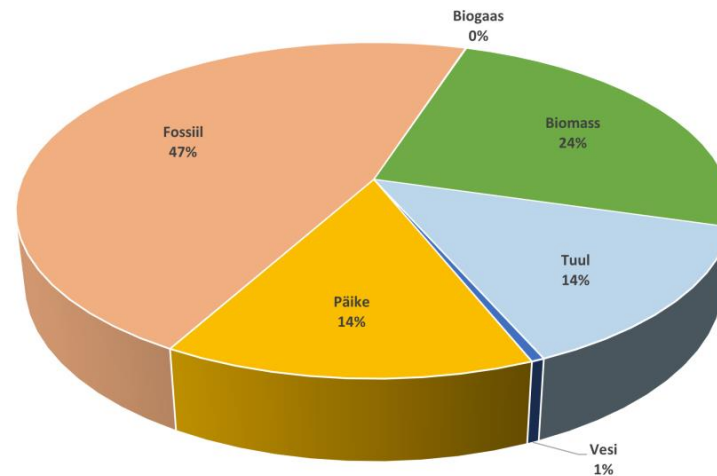
Tartu Ülikool – Sinu partner 2024



EESTI VESINIKU TEEKAART



Elektritoodangu jaotus
kütuseliikide lõikes 2023. a



www.elering.ee/toodang-ja-prognoos

Rohevesiniku tootmine suurendab energiajulgeolekut ja majanduslikku sõltumatust.

PÕHJAMAADE-BALTI VESINIKUKORIDOR



h2est.ee/pohjamaade-balti-vesinikukoridor



TARTU ÜLIKOOL

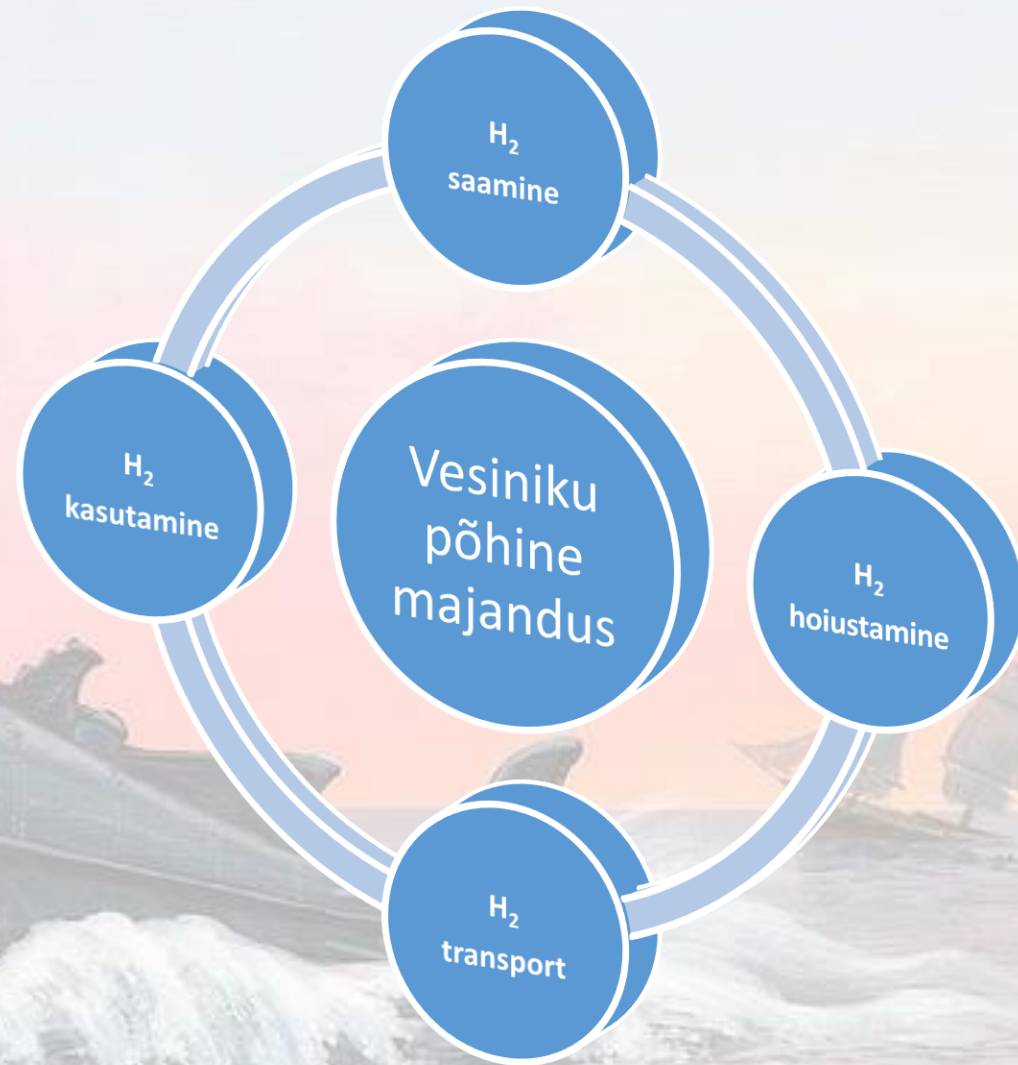
1632

JULES VERNE

SALADUSLIK SAAR

(1874)

Jah, mu sõbrad, ma usun, et ühel päeval kasutatakse vett kütteenaina. Vesinik ja hapnik, mis kuuluvad vee koosseisu, moodustavad – kas koos või eraldi – ammendamatu soojuse ja valguse allika, veel palju võimsama, kui seda on kivisüsi.



EESTI VESINIKUPÄEV 2024

- “Vesinik täna: Kiirendades investeeringuid ja rakendusi”
- Edendada praktilisi arutelusid ja jagada tegevusele suunatud teadmisi, et kiirendada vesinikumajanduse arengut Eestis ja Baltikumis.
- Tartu Ülikoolis Physicumis
- 18. oktoober 2024
- www.hve.ee/events/8th-hydrogen-day



Chemicumis tutvustab akupanka Rait Kanarbik
(Foto: Priit Möller)



HUVILISED ON OODATUD VAATAMA VIDEOLOENGUT

- Loengu link: uttv.ee/naita?id=35821



UTTV



TARTU ÜLIKOOL

TÄNAN!

Projektid:

TK210 Jätkusuutliku rohevesiniku ja energiatehnoloogia tippkeskus

ÕÜF1 Madaltemperatuursete elektrolüüserite arendamine ja rohevesiniku õhukesekihilised salvestusseadmed

TEM-TA81 Uudsete taastuenergeetika seadmete arendamine ja energia salvestussüsteemi komplekteerimine ja testimine

EAG273 Kõrge aktiivsusega leeliselise elektrolüüseri väärismetallivabade elektroodide valmistamine



Kaasrahastanud
Euroopa Liit



Eesti
tuleviku heaks

Töörühm
3.12.2020
(Foto: Viivi Järve)



Kääriku suveseminar
16.06.2021
(Foto: Piret Pikma)



TARTU ÜLIKOOL