

Vety – energiaa vai raaka-ainetta

Pauli Jumppanen
(pauli.jumppanen@welho.com)

Voimaseniorit
Helsinki 14.04.2023

VETY - ALKUAINE

Ominaisuuksia (1.0 baari)

- Alkuaihe (H) Alkalimetalli
- Molekyyli H_2
- Molekyylipaino 2,02
- Moolimassa/atomipaino 1,00794 g/mol
- Moolitilavuus 11,42 cm³/mol
- Tiheys 0,08375 kg/m³
- Isotoopit:
 - ¹H (H): Protium, 99,8 % maapallon vedystä
 - ²H (D): Deuterium (raskas vesi), 0,2% vedystä
 - ³H (T): Tritium, radioaktiivinen isotooppi

Termisiä ominaisuuksia (1.0 baarin paineessa)

- Sulamispiste - 259,14 °C (14,01 K)
- Kiehumispiste - 252,87 °C (20,28 K)
- Höyrystymislämpö 0,904 kJ/mol
- Ominaislämpö 14,29 kJ/kg K
- Lämmönjohtavuus 1,825 W/(m×K)
- Lämpöarvo
 - Alempi lämpöarvo (LHV) 33,3 kWh/kg = 2,79 kWh/m³, = 120,0 MJ/kg
 - Ylempi lämpöarvo (HHV) 39,4 kWh/kg = 2,36 kWh/m³ = 141,9 MJ/kg

VETY vs. MUUT POLTTOAINEET

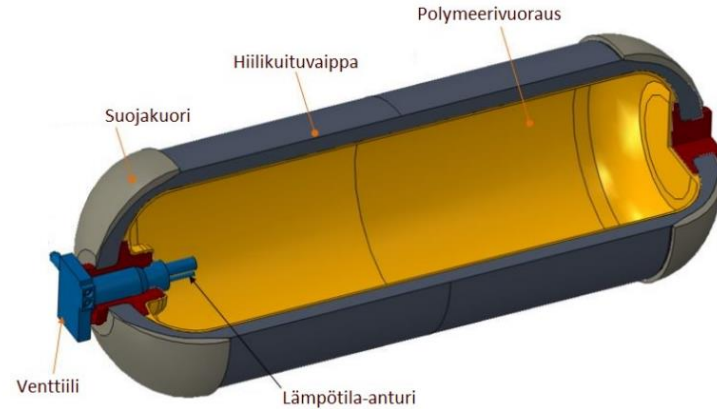
Ominaisuus	Yksikkö	Vety	Metaani	Propaani	Metanoli	Etanoli	Bensiini
Kemiallinen kaava		H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	ΣC _n H _{2n+2}
Molekyylipaino		2,02	16,04	44,10	32,04	46,07	100-105
Tiheys*	kg/m ³	0,0838	0,668	1,87	791	789	751
Viskositeetti*	kg/m·sec	8,81x10 ⁻⁴	1,10x10 ⁻³	8,01x10 ⁻⁴	0,0918	0,119	0,037-0,044
Suht. tiheys	Ilma=1	0,0696	0,555	1,55	-	-	3,66
Kiehumispiste	°C	-253	-162	-42,1	+64,5	+78,5	+27 - 225
Leimahduspiste	°C	< -253	-188	-104	+11	+13	-43
Itsesytyminen	°C	585	540	490	385	423	230 - 480
Alempi lämpöarvo (LHV)	kWh/kg	33,4	13,9	12,7	5,53	7,44	11,8
	kWh/m ³	2,79	9,29	23,8	4370	5870	8870

* +20 °C, 1 baari

VETY-POLTTOAINESÄILIÖT AJONEUVOIHIN

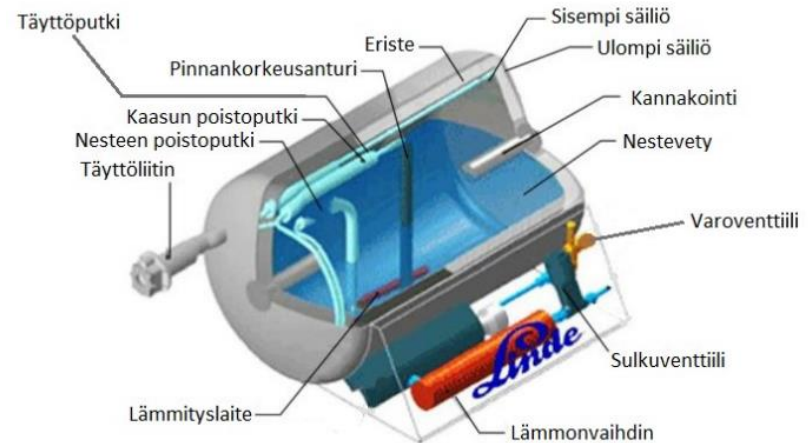
PAINEISTETUT SÄILIÖT (Quantum Technologies)

- Komposiittirakenne
- Paine 350/700 baaria



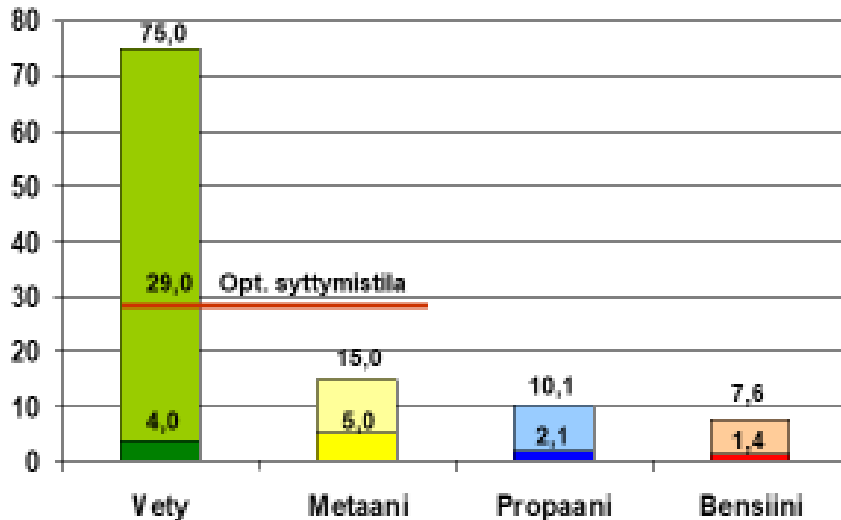
NESTEYTETTY VETY (Linde Gas LLC)

- Super-eristetty tankki
- H₂ -lämpötila < -253 °C

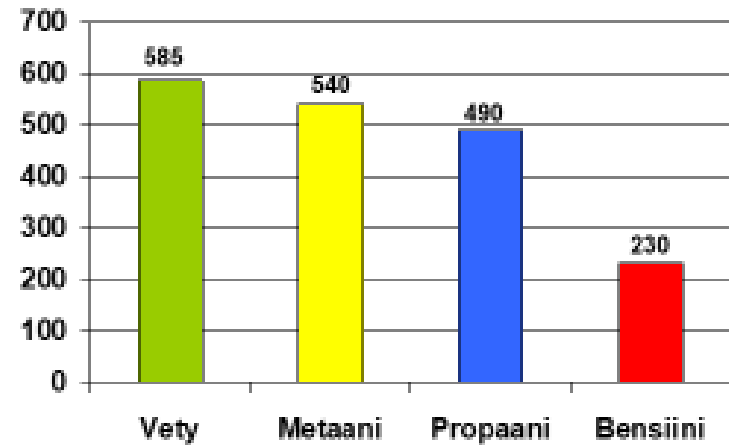


VEDYN JA HIILIHYDRAATTIEN PALO-OMINAISUUKSIA

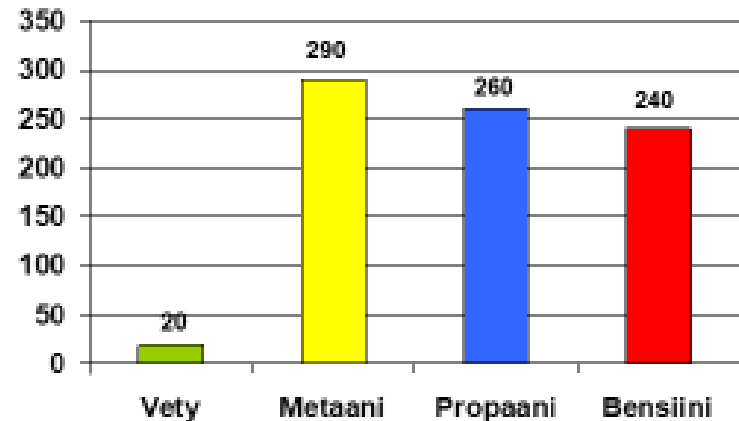
LEIMAHDUSALUE ILMASSA
(kaasu / ilma tilavuus-%)



ITSESYTTYMISLÄMPÖTILA (°C)



SYTTYMISENERGIA (J)



VETYTALOUS

Vedyn kantajat

(0,12 % maapallon massasta)

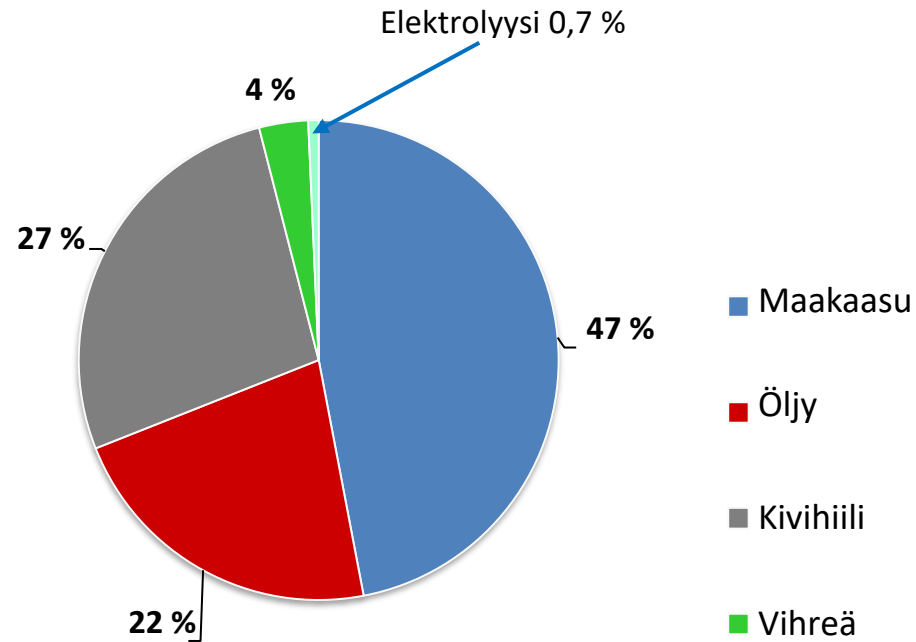
- Vesi
- Hiilivedyt
- Kaasuhydraatit
- Metalliset hydraatit
- Biomassa
- Amiinit ja amidit
- Hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit
- Alkoholit ym.

Vedyn käyttäjät

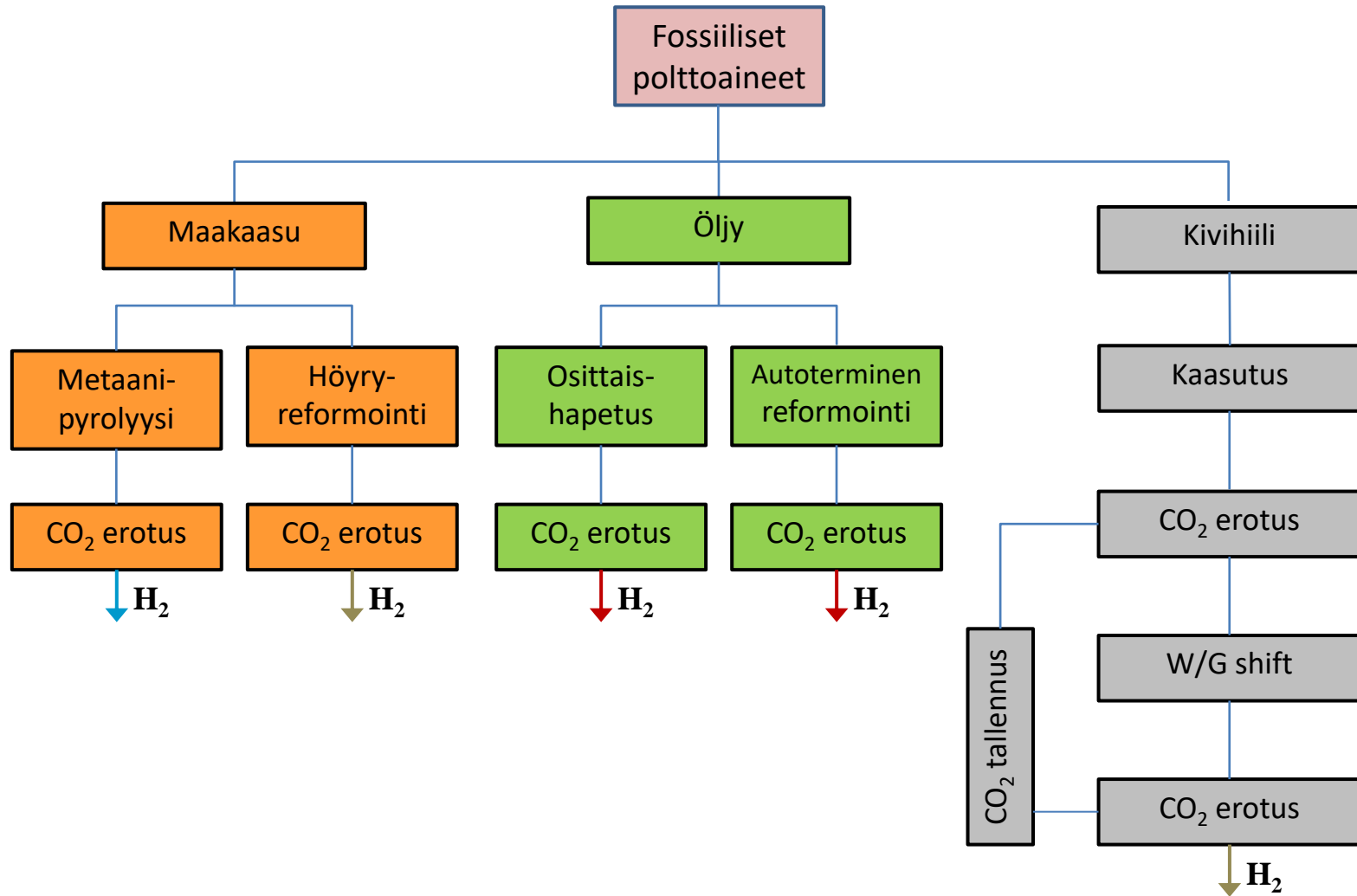
- Teollisuus
 - ✓ Petrokemia
 - ✓ Lannoitteet
 - ✓ Metallurgia
 - ✓ Elintarvike
 - ✓ Jäähdytys ym.
- Energian tuotanto
 - ✓ Sähkö, lämpö
- Liikenne
 - ✓ Vetyajoneuvot
 - ✓ Synteettiset polttoaineet
- Energian varastointi
- Energian siirto ja jakelu

VEDYN VALMISTUS JA RAAKA-AINEET

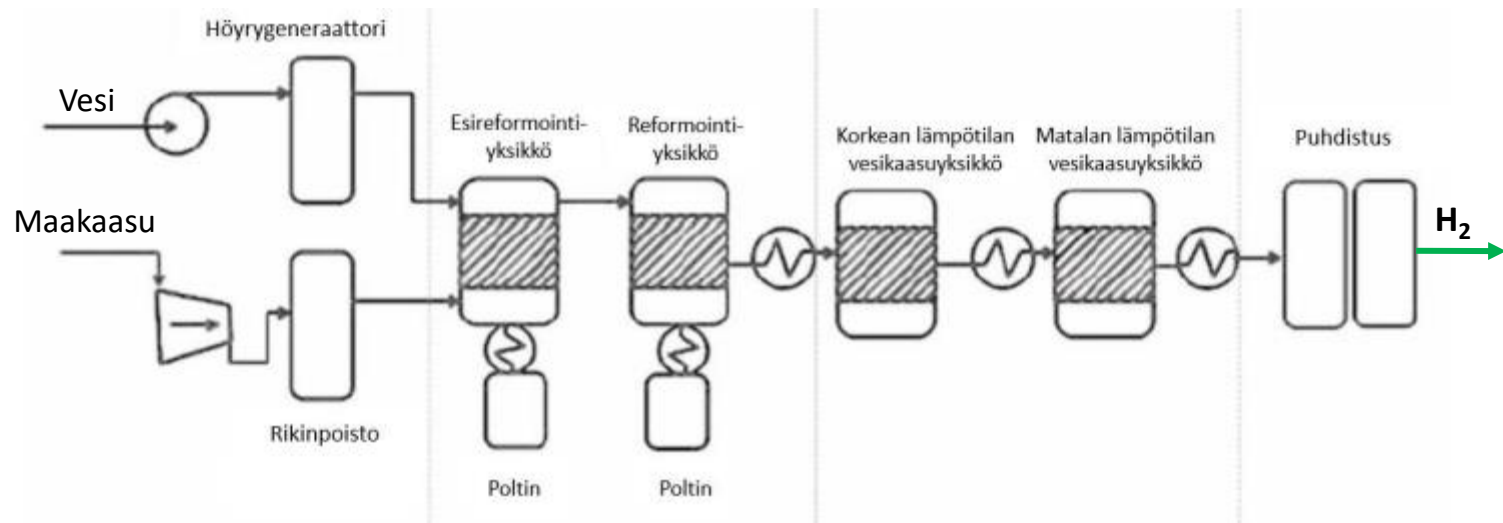
(Lähde: Irena 2022)



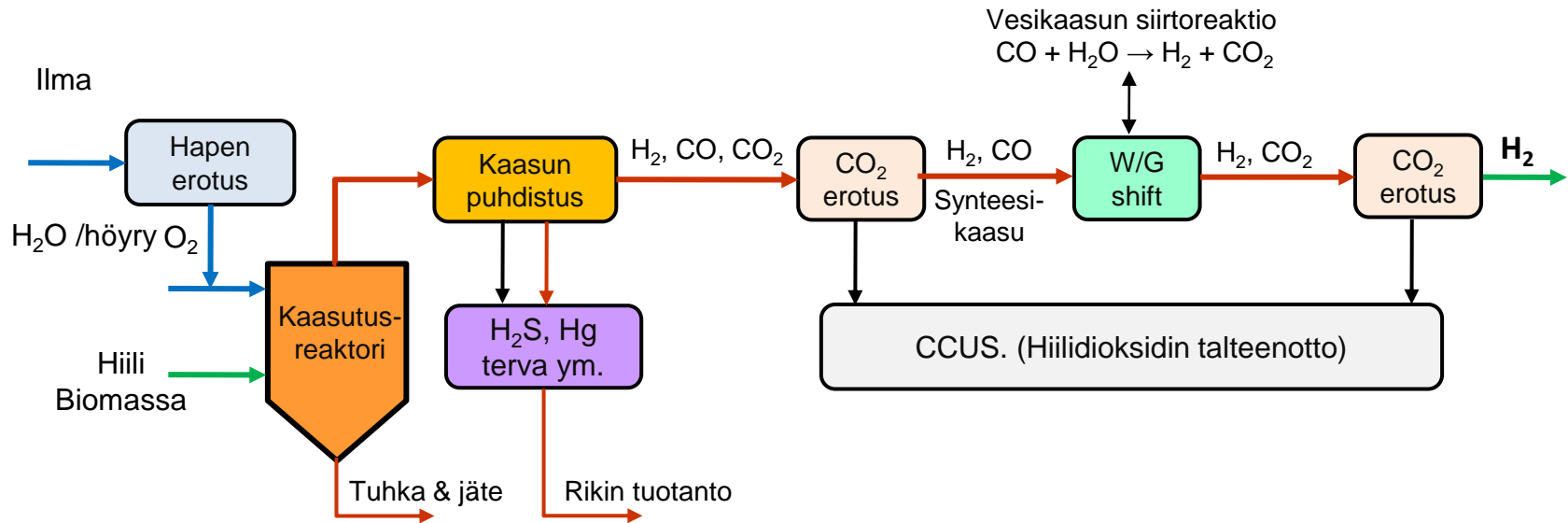
VEDYN VALMISTUS FOSSIILIPOLTTOAINEISTA



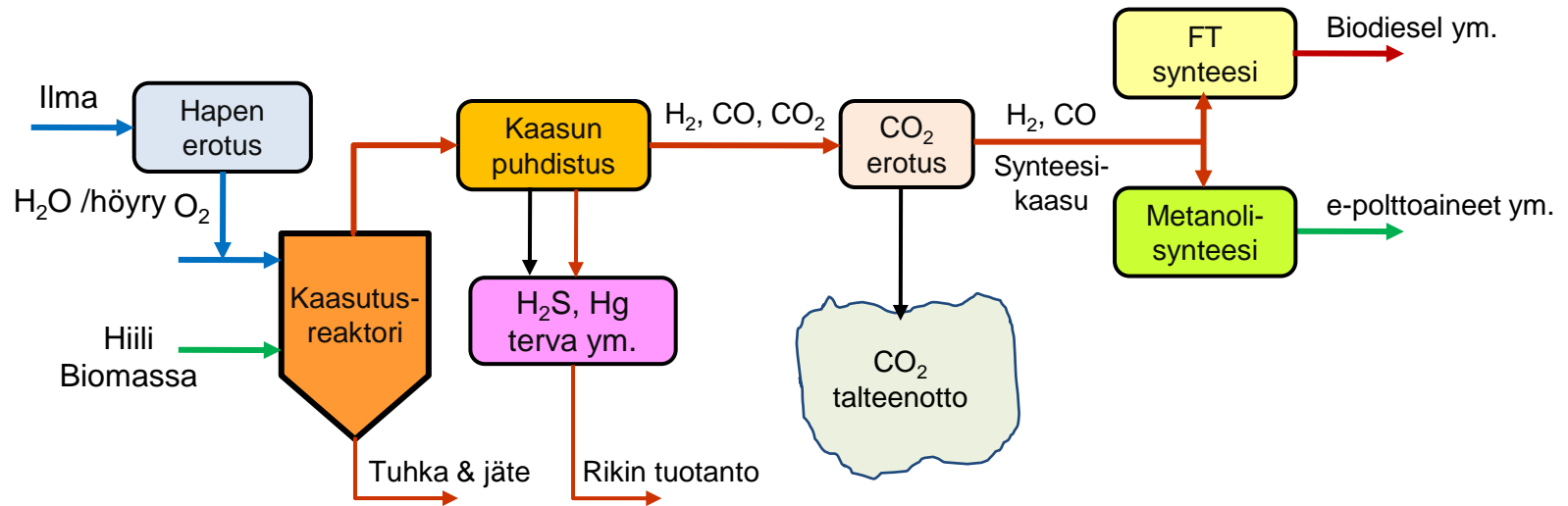
MAAKAASUN HÖYRYREFERMOINTI



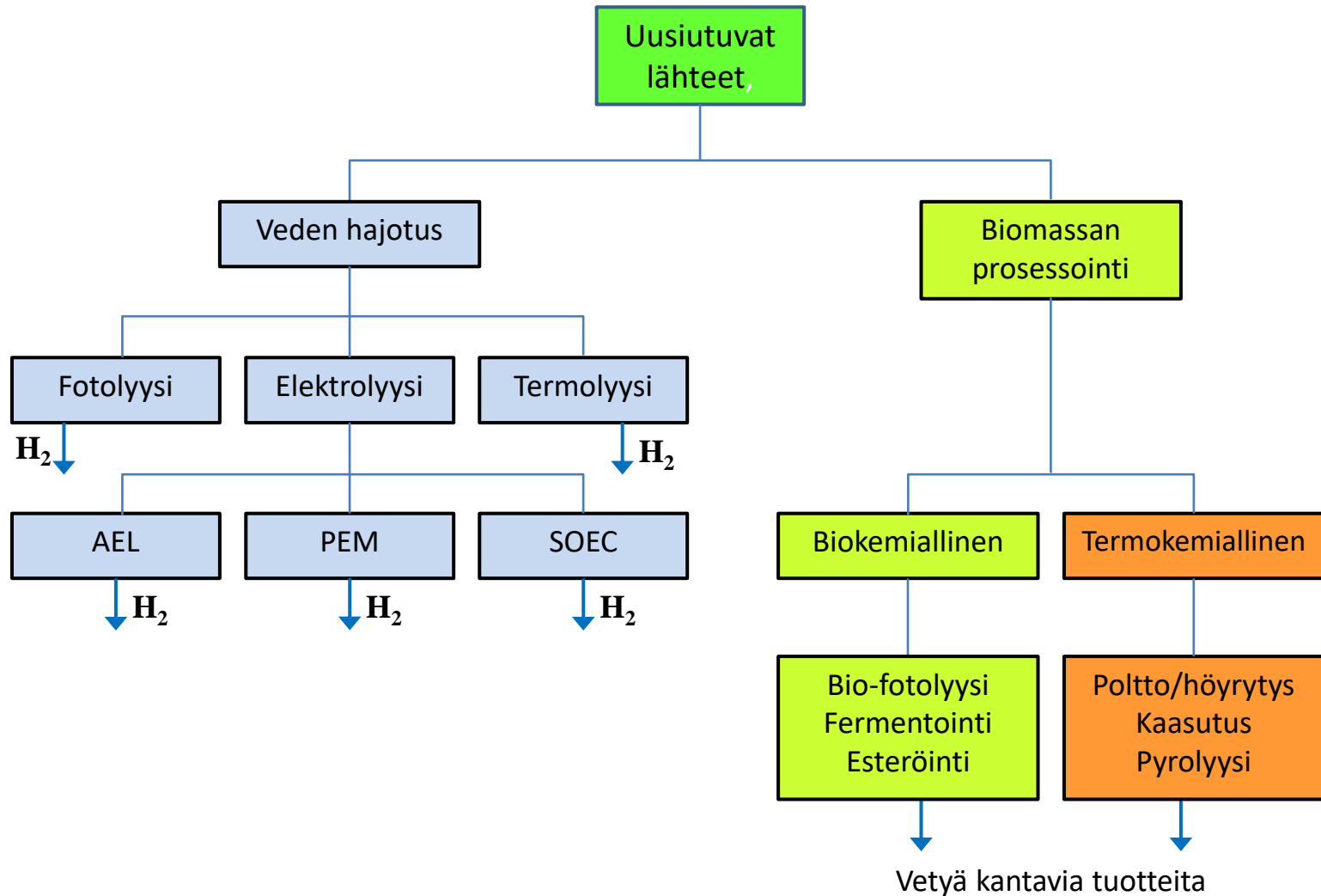
VEDYN TUOTANTO HIILESTÄ JA BIOMASSASTA



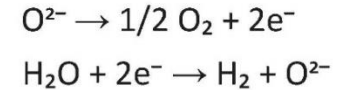
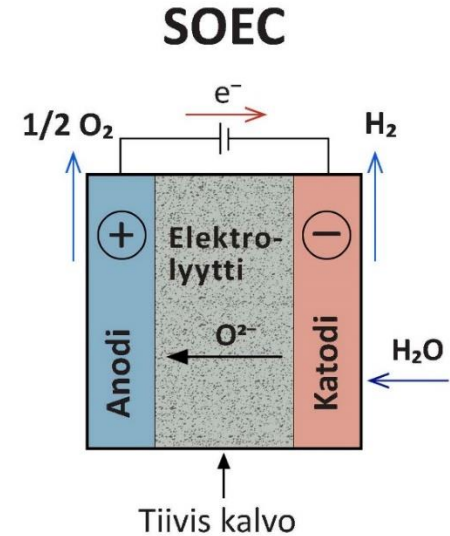
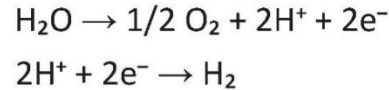
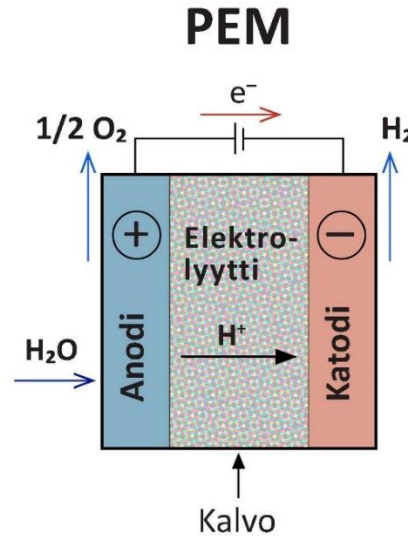
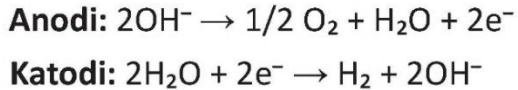
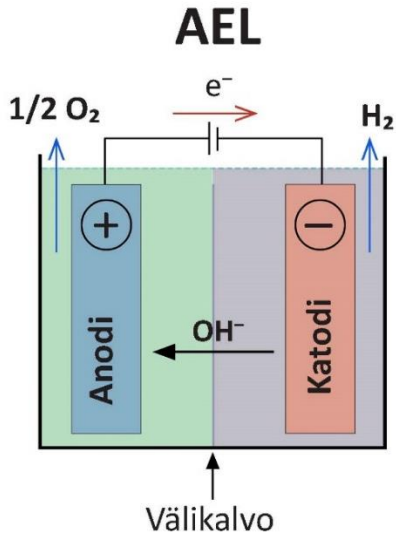
SYNTEETTISET POLTTOAINEIDEN TUOTANTO HIILENSTÄ JA BIOMASSASTA



VEDYN VALMISTUS UUSIUTUVISTA LÄHTEISTÄ



VETY - ELEKTROLYYSERIT



Kenno	Lämpötila (°C)	Paine (bar)	Hyötysuhde (% LHV)	Elektrodit	Elektrolyytti
AEL	60 - 80	1 - 30	65 - 70	Ni-pinnoitetut teräslevyt*	KOH / NaOH liuos
PEM	50 - 80	30 - 80	62 - 68	Titaani, hiilikudos + Pt&Au katalyytit*	PFSA-kalvo
SOEC	650 - 1000	1	75 - 85	Sr dopattu LaFeO ₃ perovskiitti*	Y stabilisoitu ZrO ₂

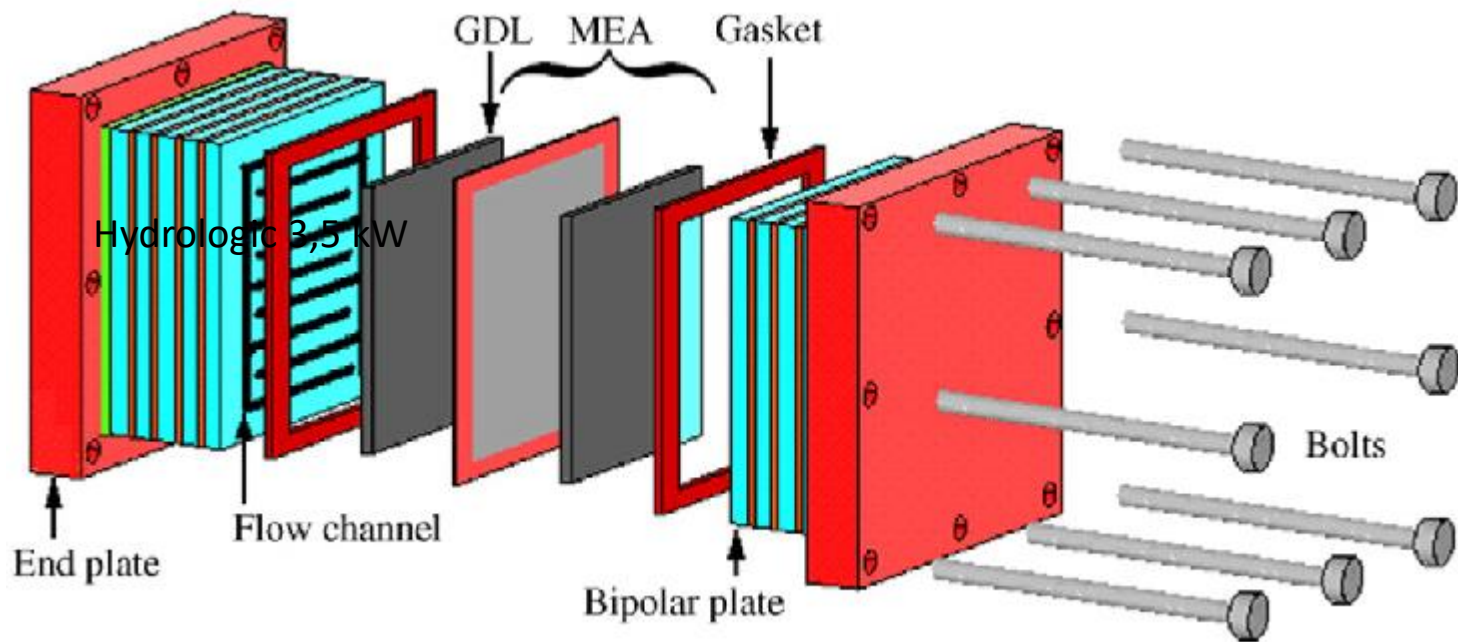
* paljon muita vaihtoehtoja

NELJÄNNEN SUKUPOVEN YDINREAKTORIT

(Useita lähteitä)

Tyyppi	Neutroni spektri	Jäähdytys	Lämpötila (°C)	Paine	Moduulikoko (MWe)	Polttoaine	P-aine-kierto	Tuote
GFR: Kaasu-jäähdytteinen	nopea	helium CO ₂	490 - 850	korkea	400 - 600	UO ₂ Pu-karbidi	suljettu "on site"	sähkö &vety
LFR: Lyijy-jäähdytteinen	terminen	lyijy- vismutti	550 - 800	matala	400 - 1200	UO ₂ & PU-nitriitti	suljettu (alue)	sähkö &vety
MSR: Sula-suola reaktori	epi- terminen	fluoridi & kloridisuola	700 - 800	matala	300 -1000	UO ₂ Th-232	suljettu	sähkö &vety
SFR: Natrium-jäähdytteinen	nopea	natrium	530 - 550	matala	500 - 1200	UO ₂ & PuO ₂	suljettu	sähkö
SCWR: Superkriittinen vesijäädtytetty	nopea/ terminen	vesi	500 - 550	korkea (30 MPa)	350 - 1200	UO ₂ UO ₂ & PuO ₂	suljettu/ avoin	sähkö
VHTR: Korkean lämpötilan kaasureaktori	terminen	helium	640 - 1000	korkea	400 - 600	UO ₂ Th-232	avoin	vety& sähkö

PEM-VETYGENERAATTORIN STACK-RAKENNE



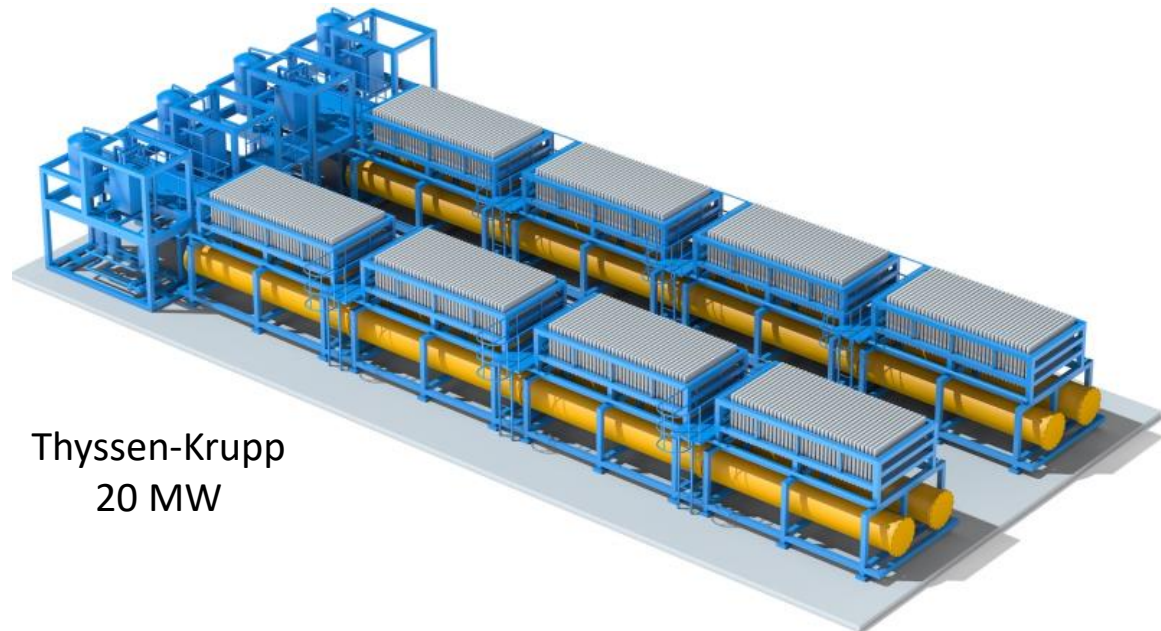
VETYGENERAATTOREITA



Hydrologic 3,5 kW

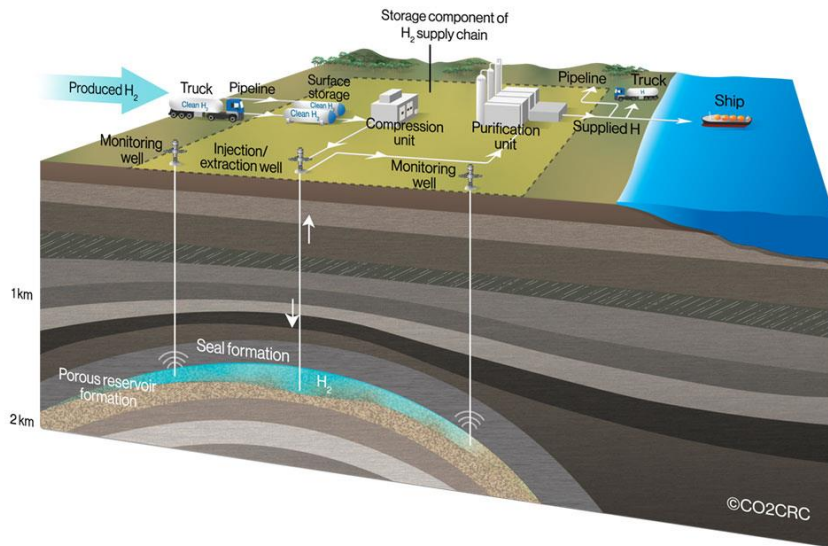
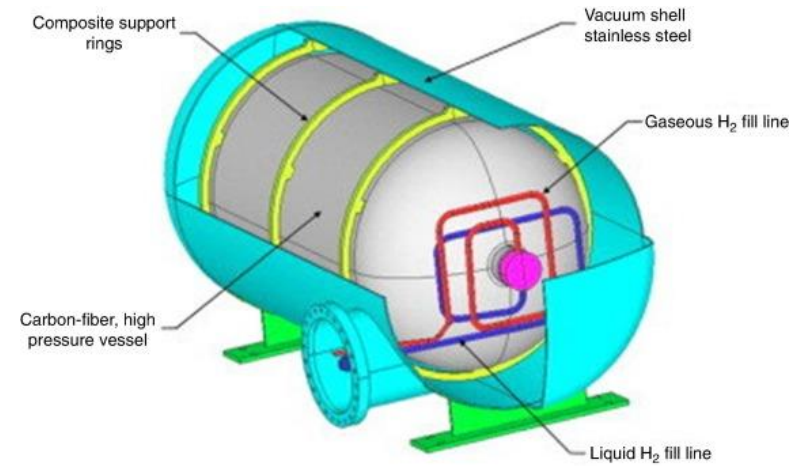


Convion 250 kW

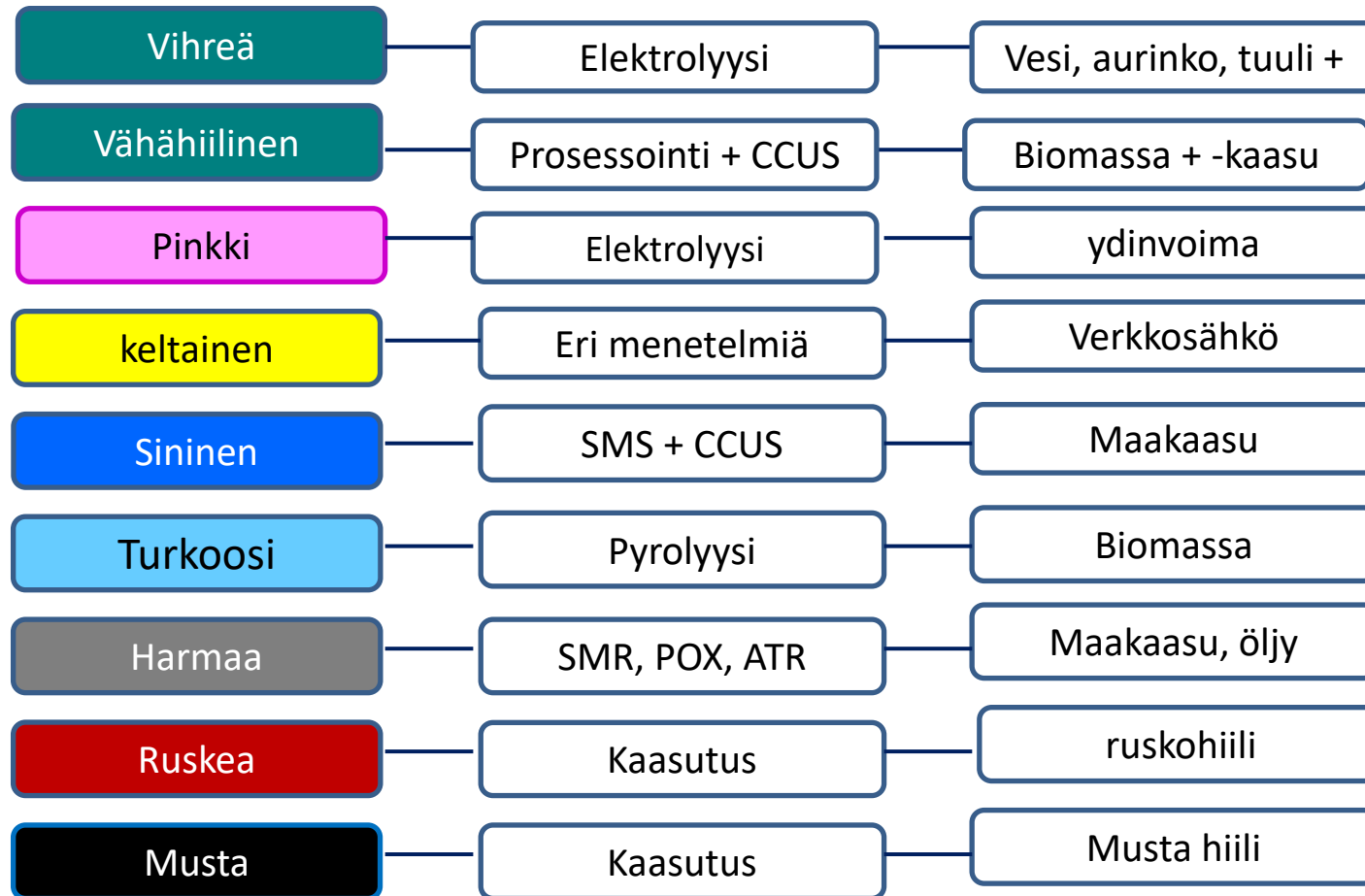


Thyssen-Krupp
20 MW

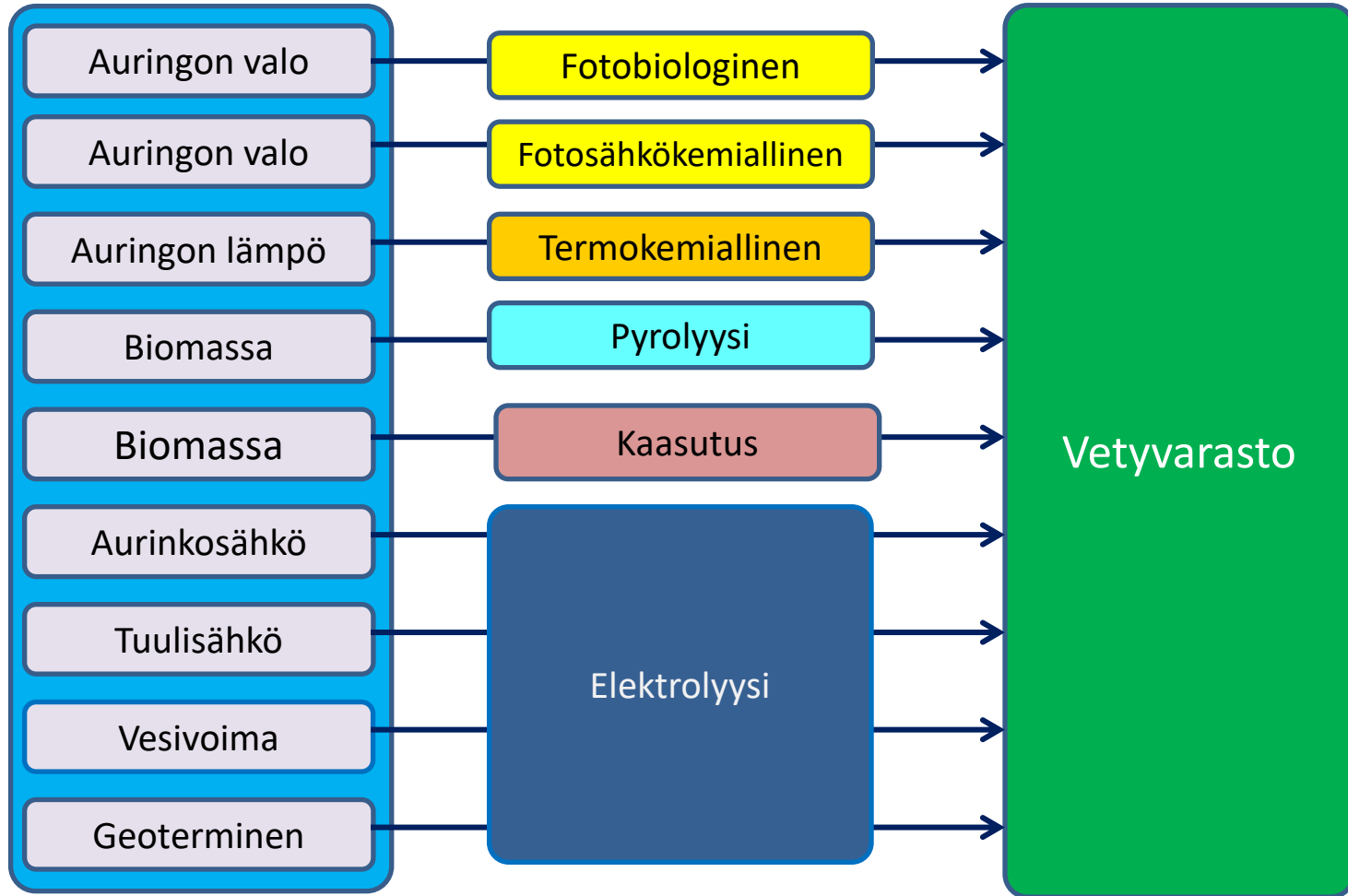
VEDYN VARASTOINTIRATKAISUJA



ERÄS VEDYN LAATULUOKITTELU

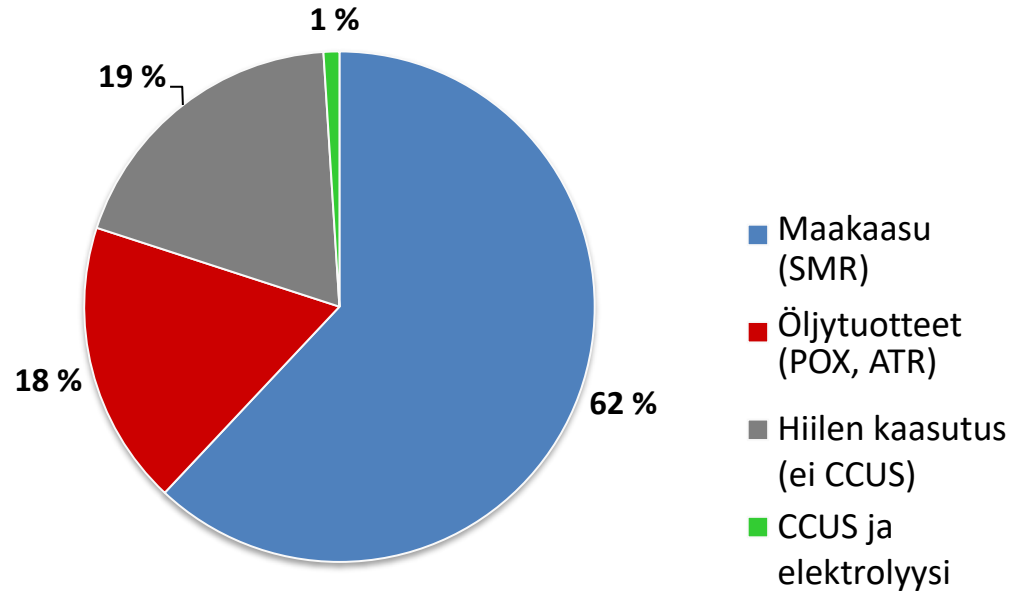


"VIHREÄN VEDYN" VALMISTUS



VEDYN VALMISTUS ERI RAAKA-AINEISTA 2021

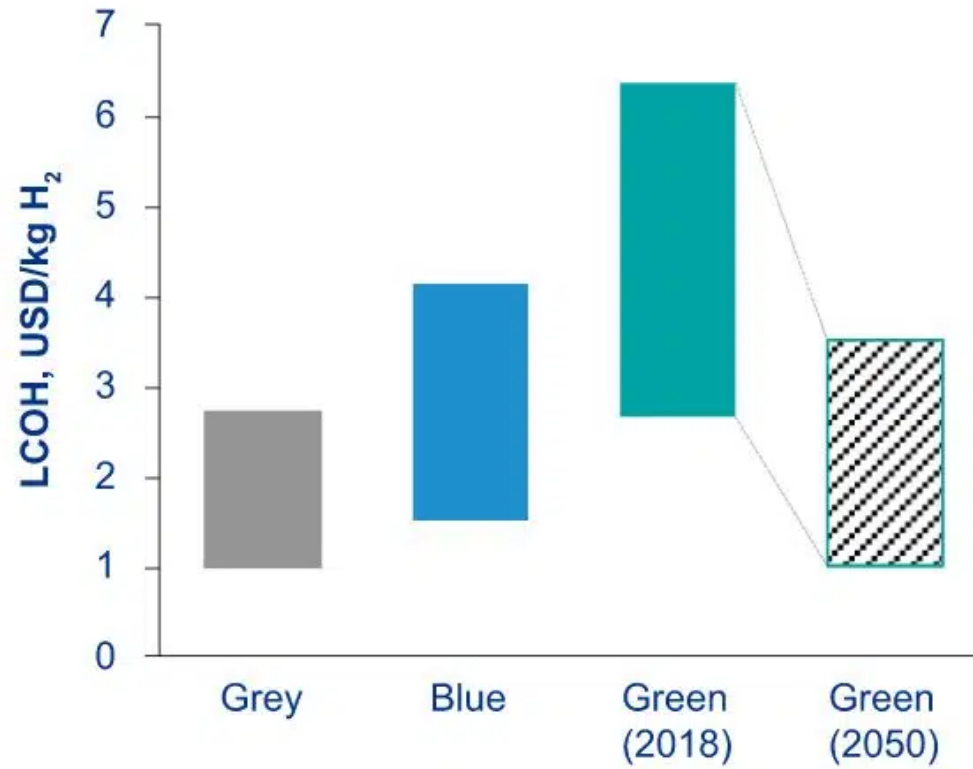
(Lähde: IAE 2022)



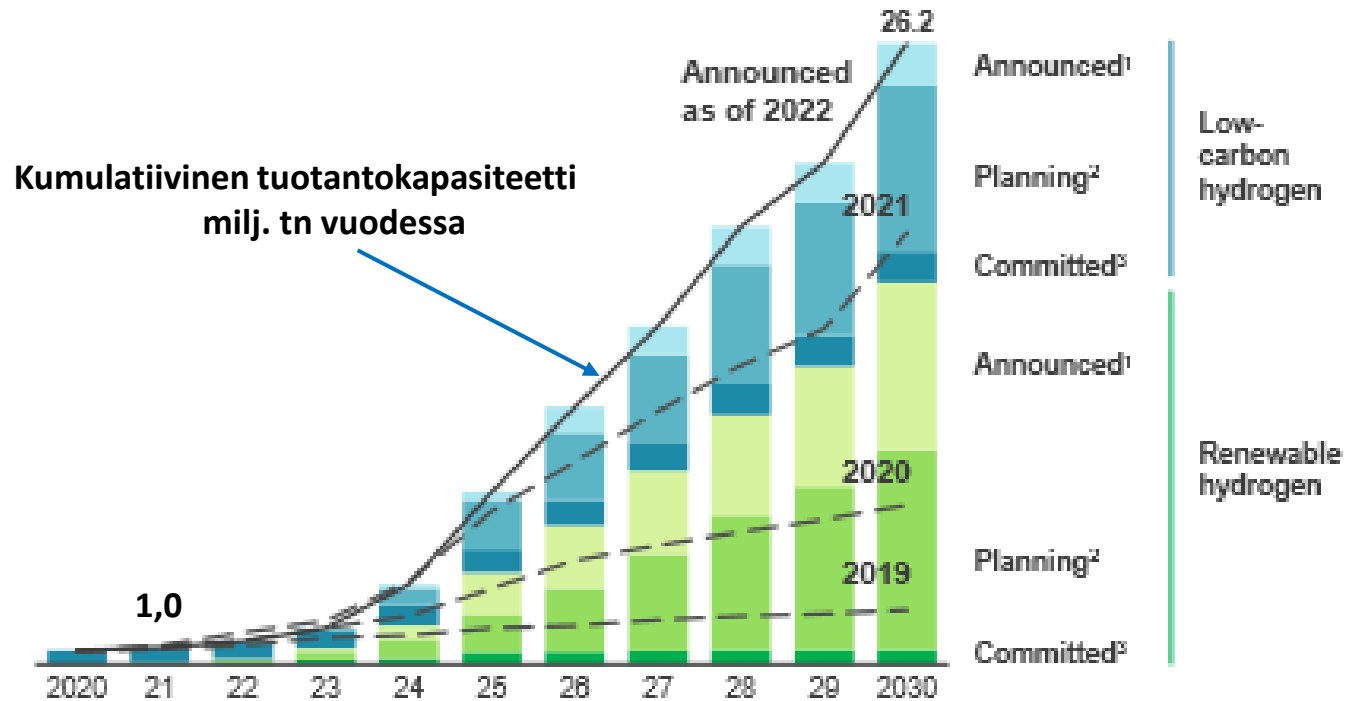
Vuosi	Vedyn tuotanto (Mt)	CCUS (Mt)	Elektrolyysi (Mt)	Vihreä vety (Mt)	Osuus kaikesta (%)
2021	94	0,62	0,035	0,66	0,7
2030	180	7,5 - 10	9,9 - 14	16,5 - 24,0	6,9 – 13,3
2050	300			100	33

VEDYN HINTAKEHITYS

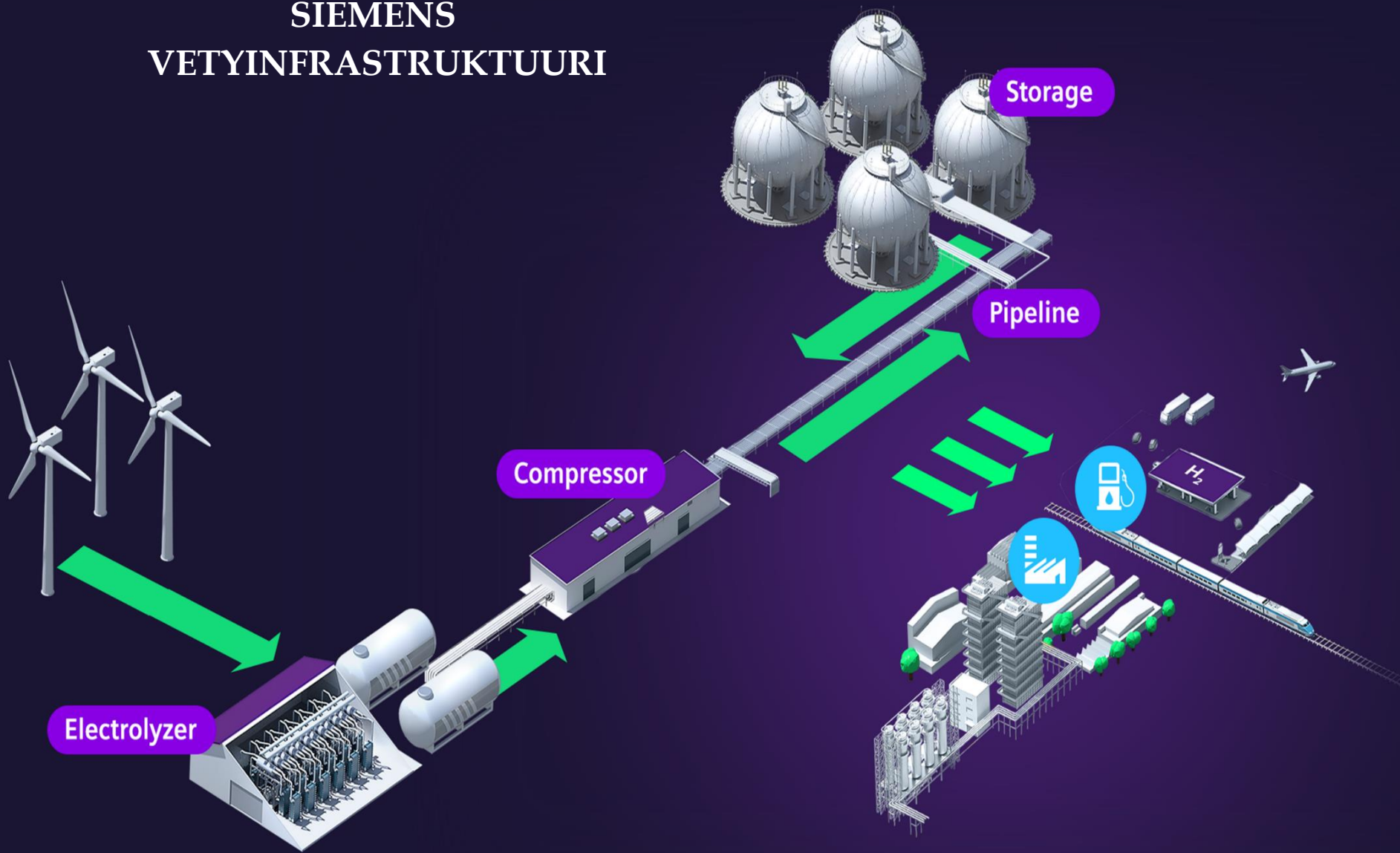
(Lukuisia lähteitä)



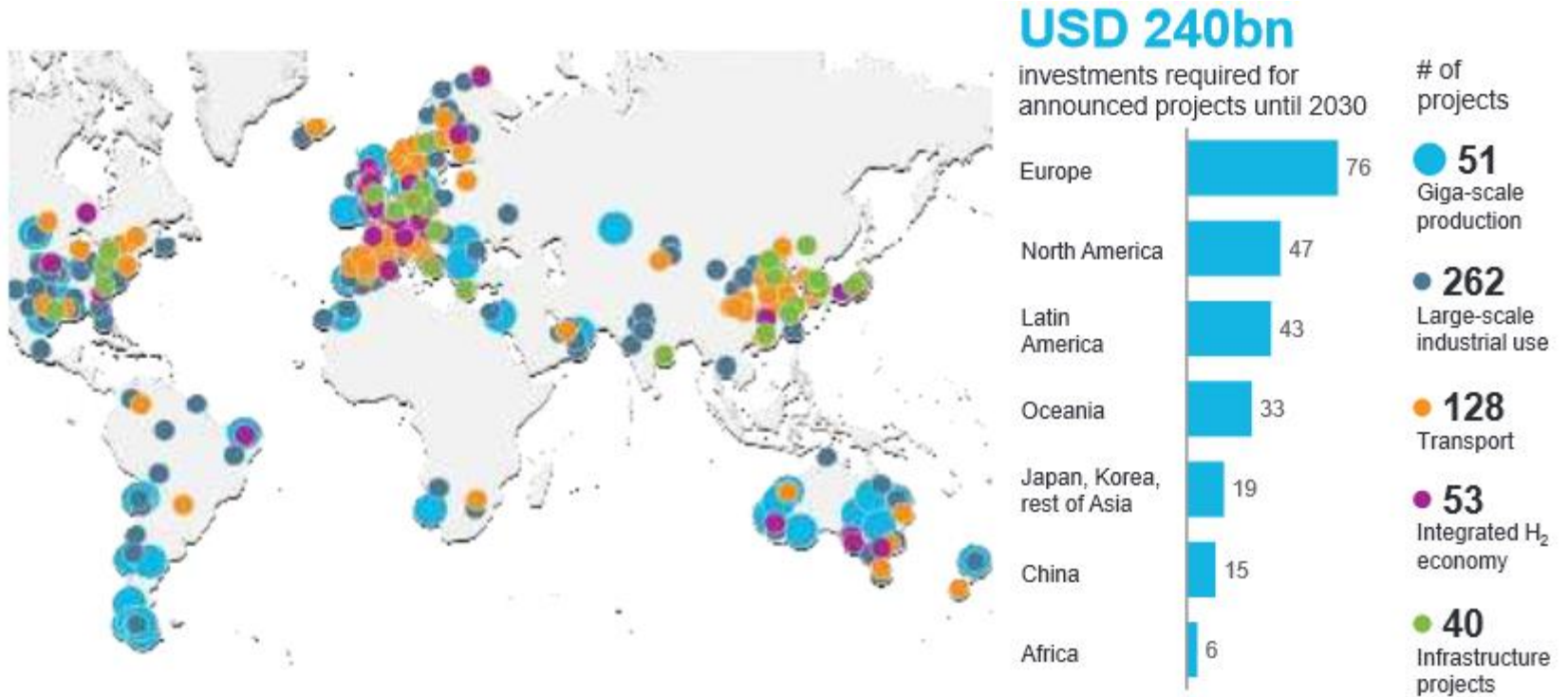
"VIHREÄN VEDYN" TUOTANTOKAPASITEETIN KASVUARVIO 2020 - 2030



SIEMENS VETYINFRASTRUKTUURI

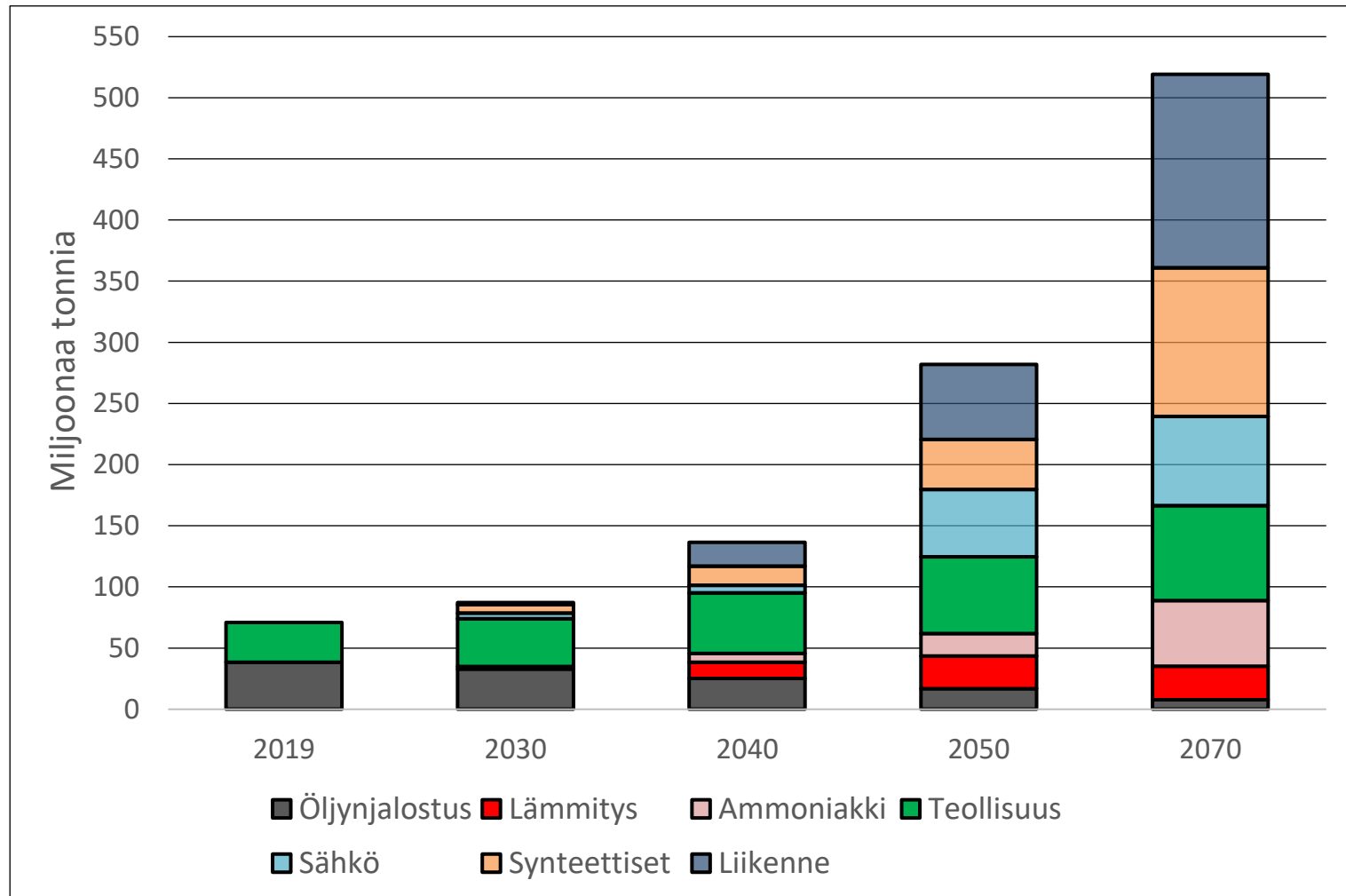


SUURET VETYHANKKEET VUOTEEN 2030

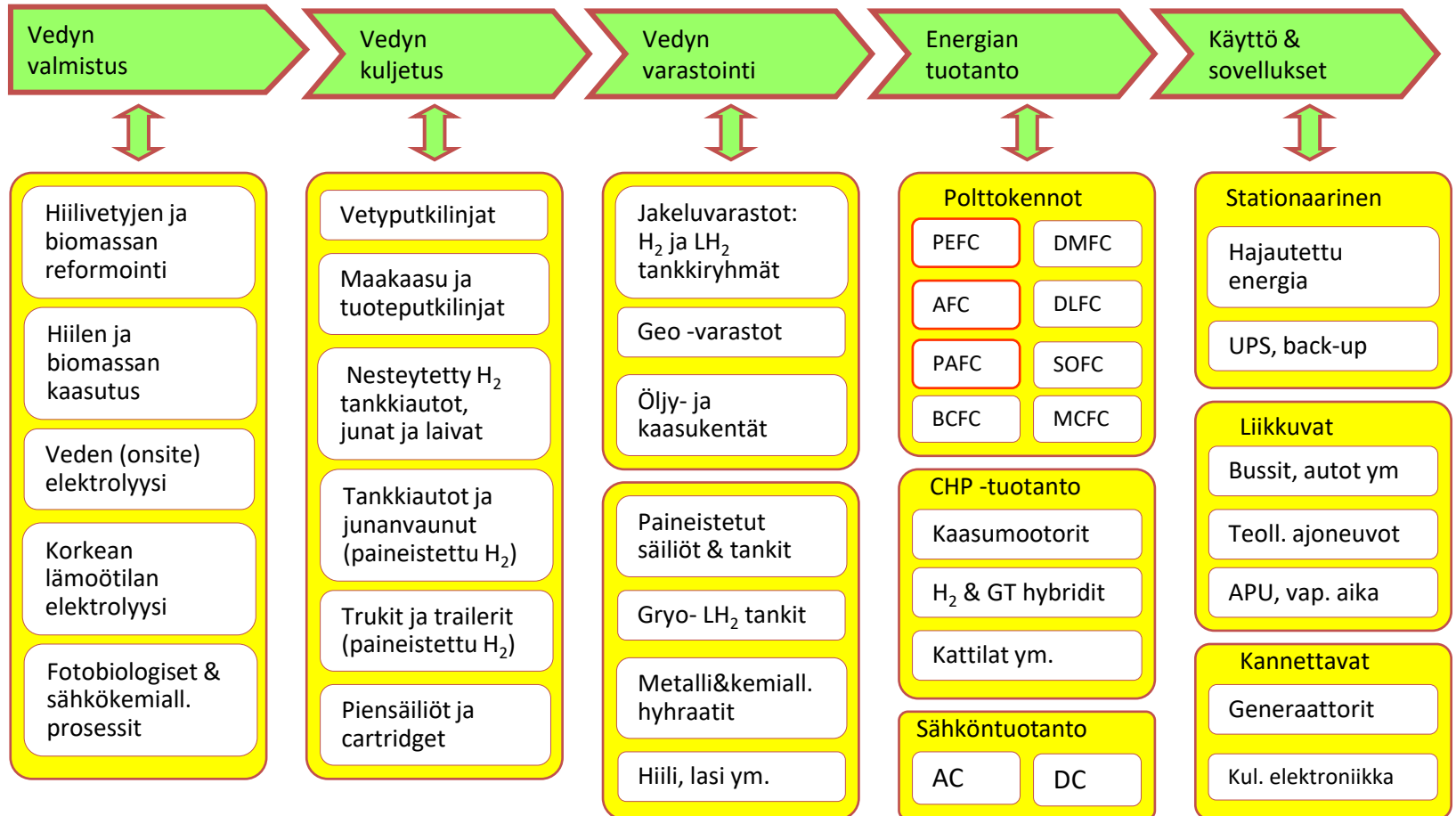


VEDYN KYSYNTÄ MAAILMASSA 2019 - 2070

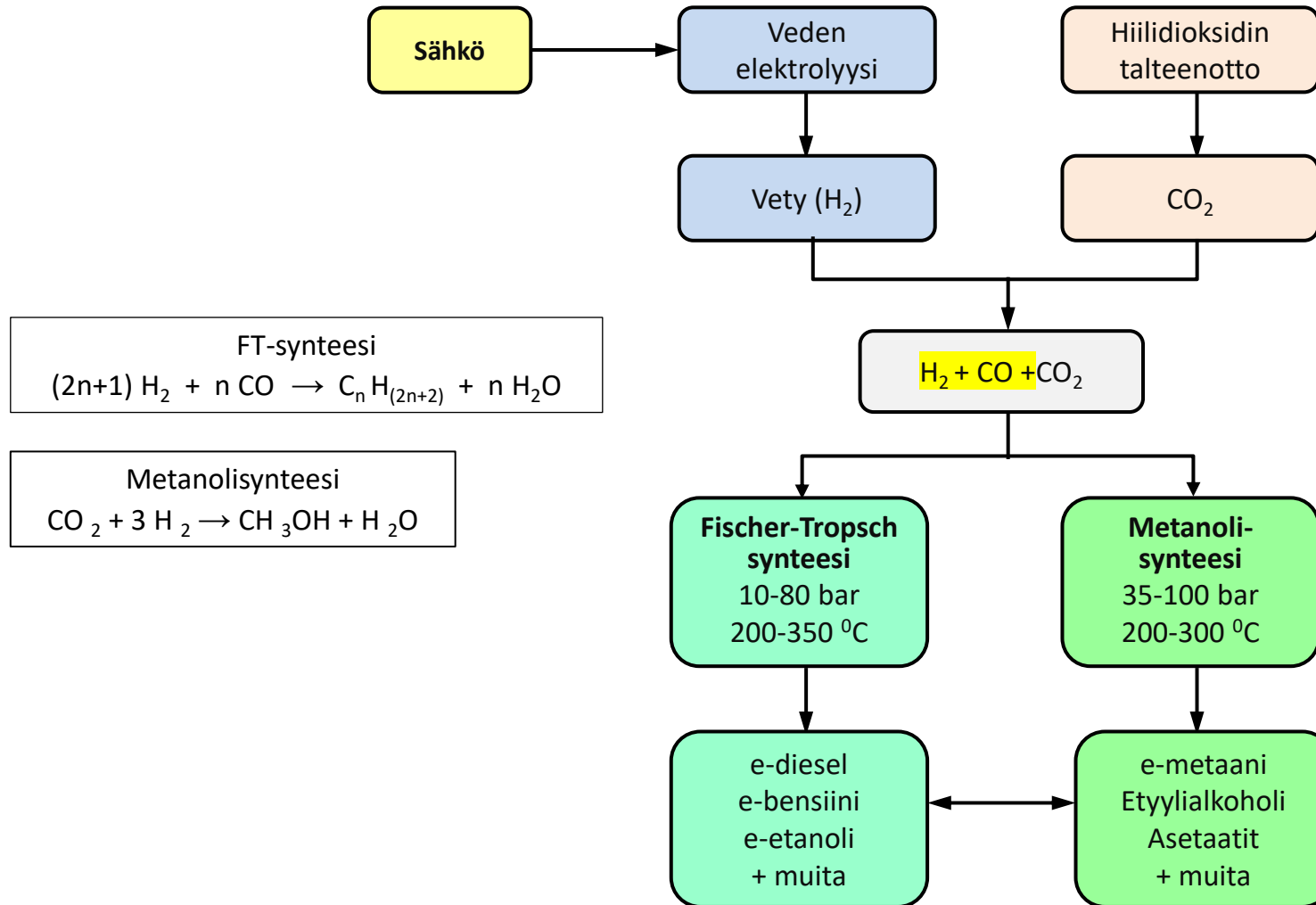
(Lähde: Statista 2020)



VETYENERGIAN TEKHOLOGIAPUU



POWER-TO-X SÄHKÖPOLTTOAINEET



JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

- ❑ Vedyn kysyntä ajanjaksolla 2020-2030 lisääntyy 6-8 %:in vuosivauhtia kasvualueina teollisuuden eri sektorit.
- ❑ Tärkeä kasvualue on vihreän (vähähiilisen) vedyn tuotanto mm. lannoitteiden (ammoniakin), teräksen ja synteettisten polttoaineiden valmistukseen.
- ❑ Vihreän vedyn tuotantoennusteet kuitenkin varsin ylioptimistisia.
- ❑ Kilpailukykyisten liikennepolttoaineiden valmistus vihreästä vedystä edellyttäisi sen markkinahinnan alenemista tasolle 1,5 – 3,0 USD/kg. Tämä tapahtunee vasta 2050-luvulle tultaessa.
- ❑ Potentiaalisen mahdollisuuden halvan vihreän vedyn laajamittaiseen tuotantoon tarjoaa höyryelektrolyysi toteutettuna 4:nneen sukupolven pienydinvoimaloiden yhteydessä.
- ❑ Sähköenergian varastointi vetyyn tapahtuu tehokkaimmin teolliseen vetyinfrastruktuuriin ja synteettisten polttoaineiden tuotantoon ja varastointiin.
- ❑ Aurinkosähköstä tulee 2030-luvulta alkaen tärkeä vihreän vedyn valmistuksen energianlähde.
- ❑ Vastaavasti ympäristönäkökohdat tulevat asettamaan rajoja tuulienergian tuotannon kiihtyvälle kasvulle.

Kiitoksia
Thank you
谢谢