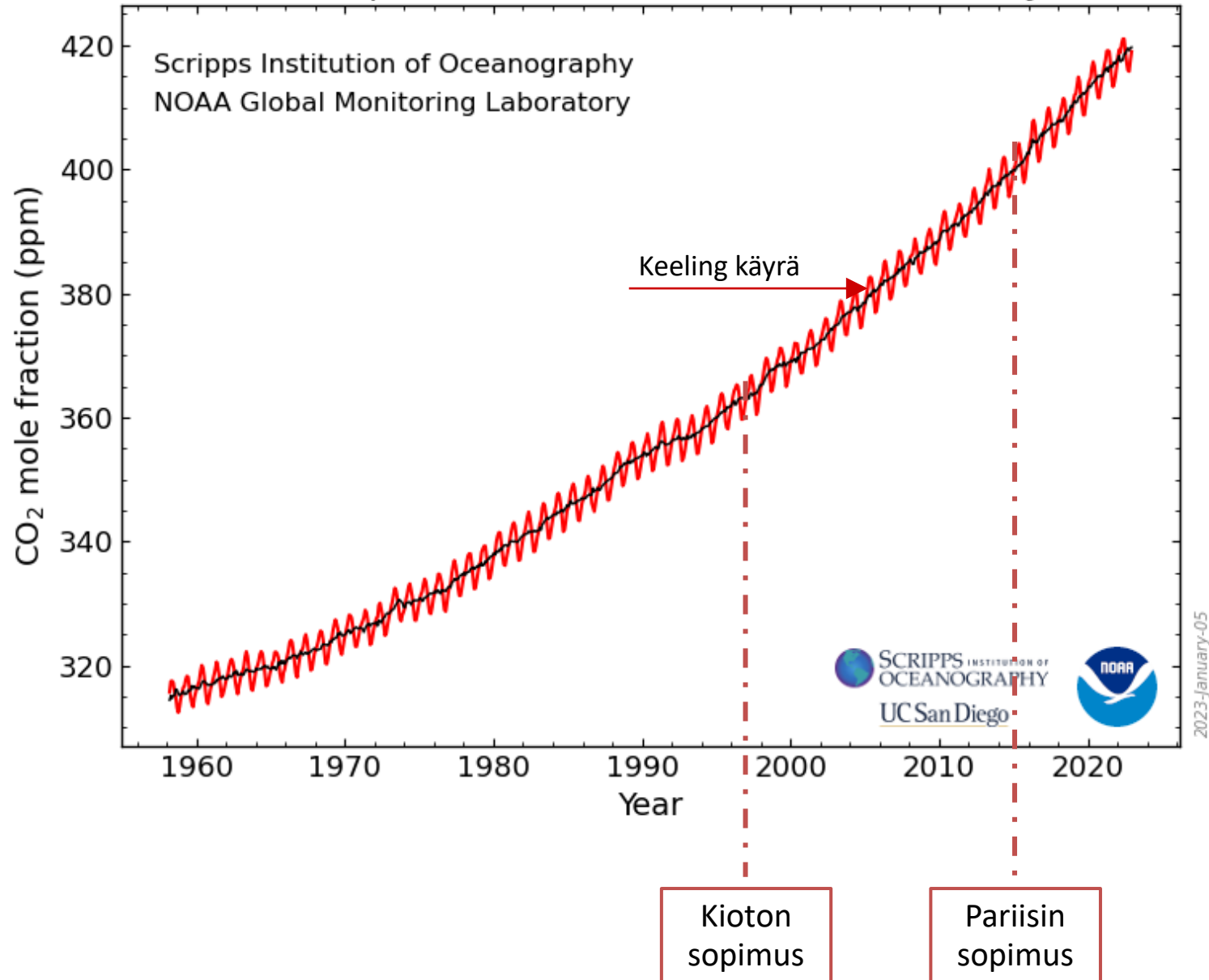


# ENERGIANTUOTANTO JA ILMASTONMUUTOS

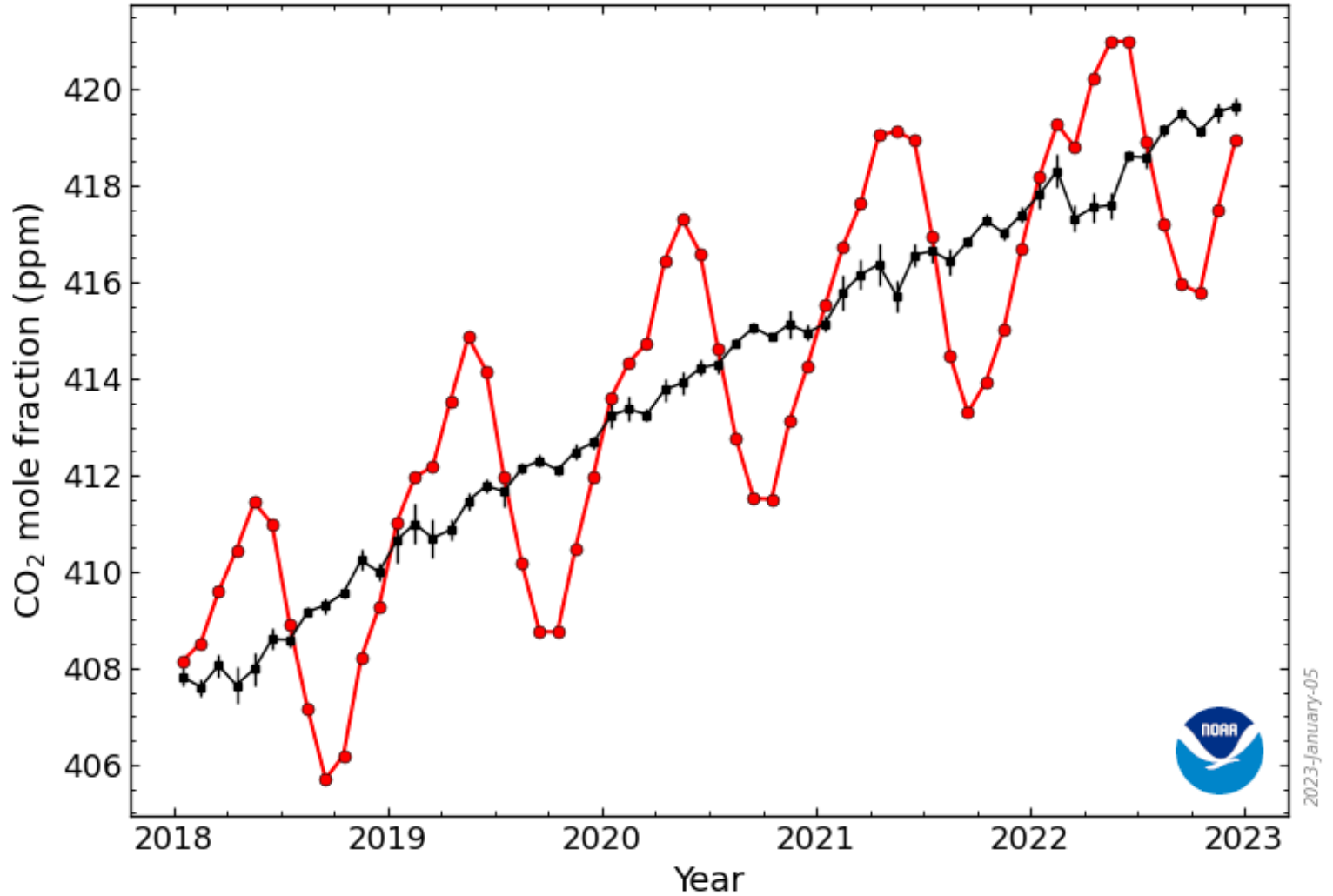
Pauli Jumppanen  
([pauli.jumppanen@welho.com](mailto:pauli.jumppanen@welho.com))

Voimaseniorit  
Helsinki 14.03.2023

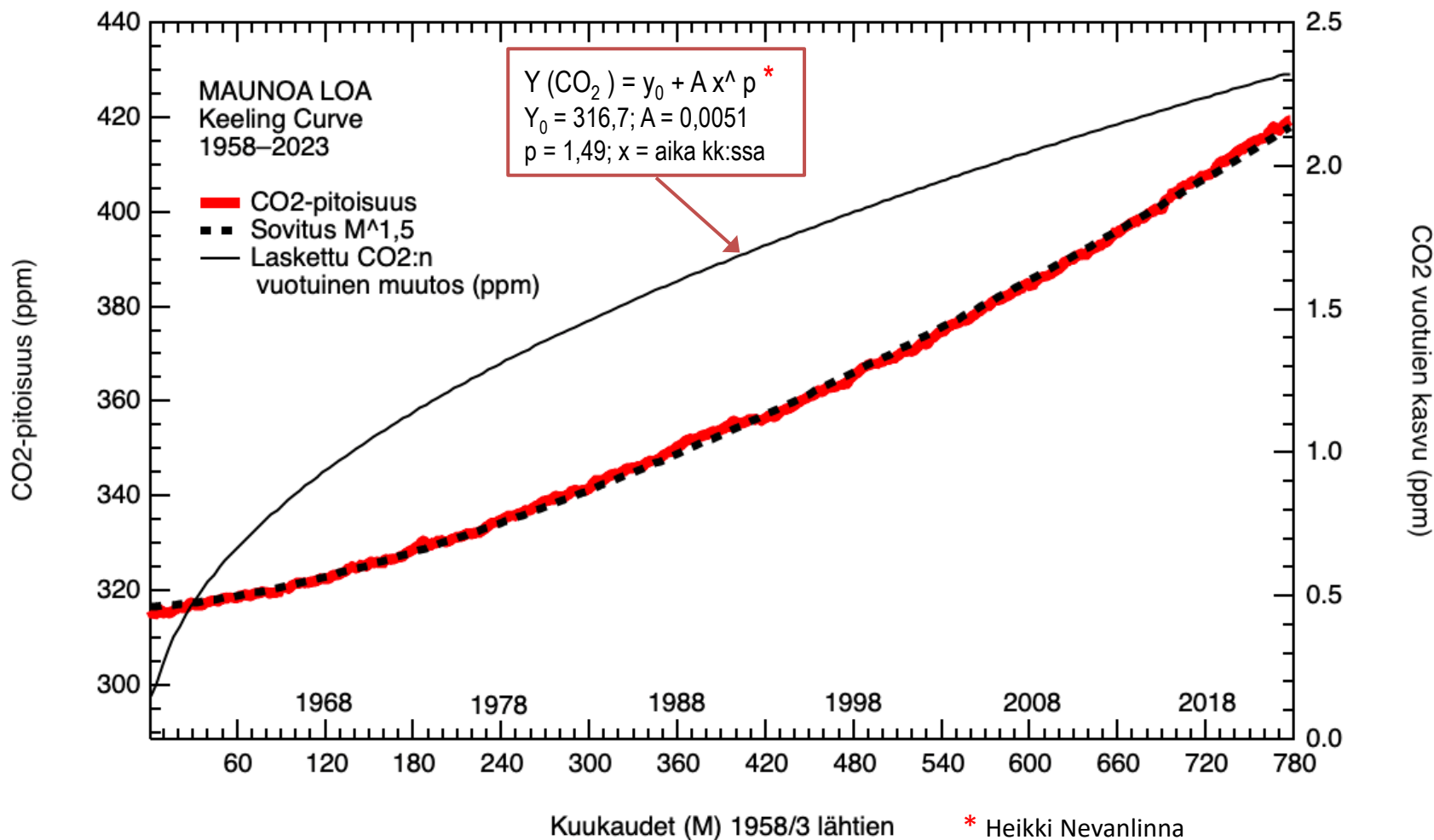
# Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory

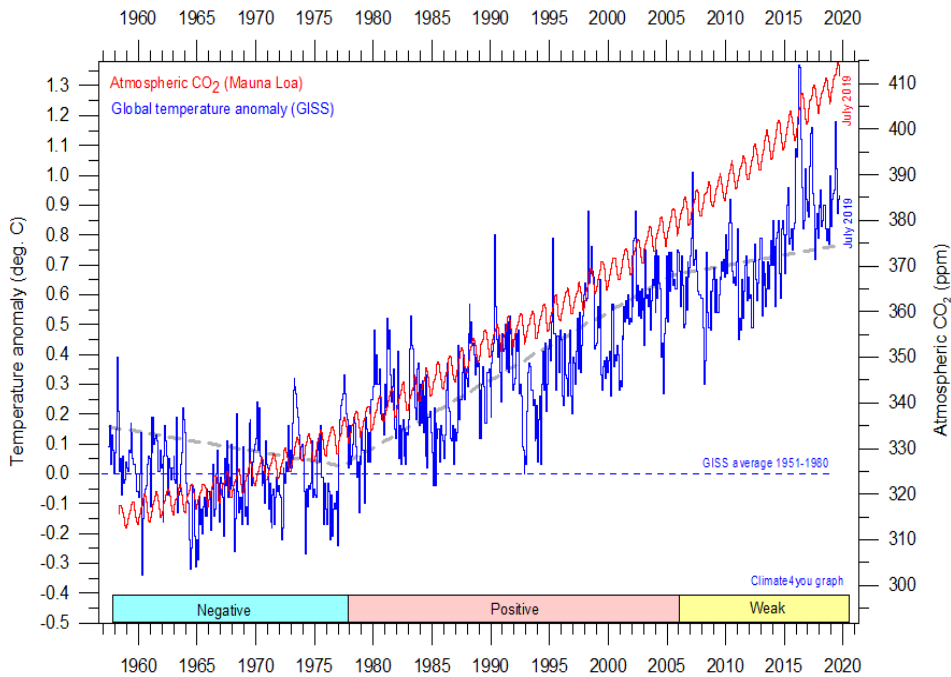


# Recent Monthly Mean CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory

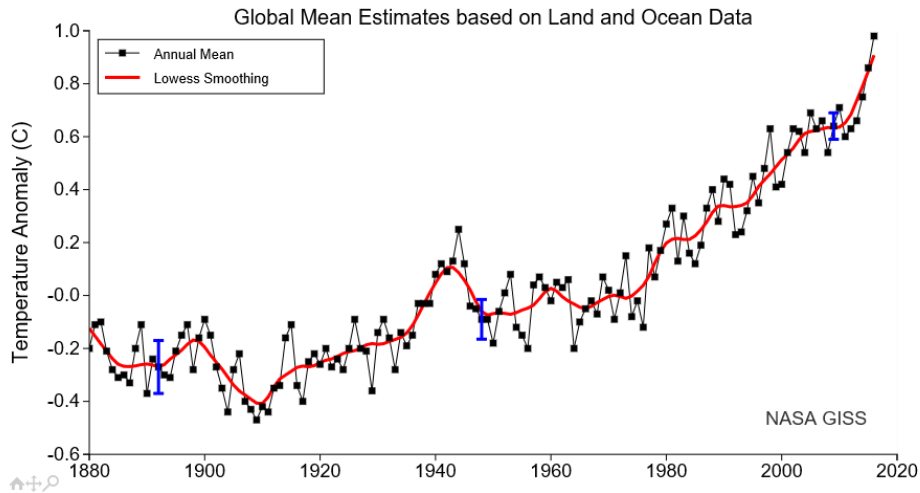


# CO<sub>2</sub> PITOISUUDEN MUUTOSNOPEUS



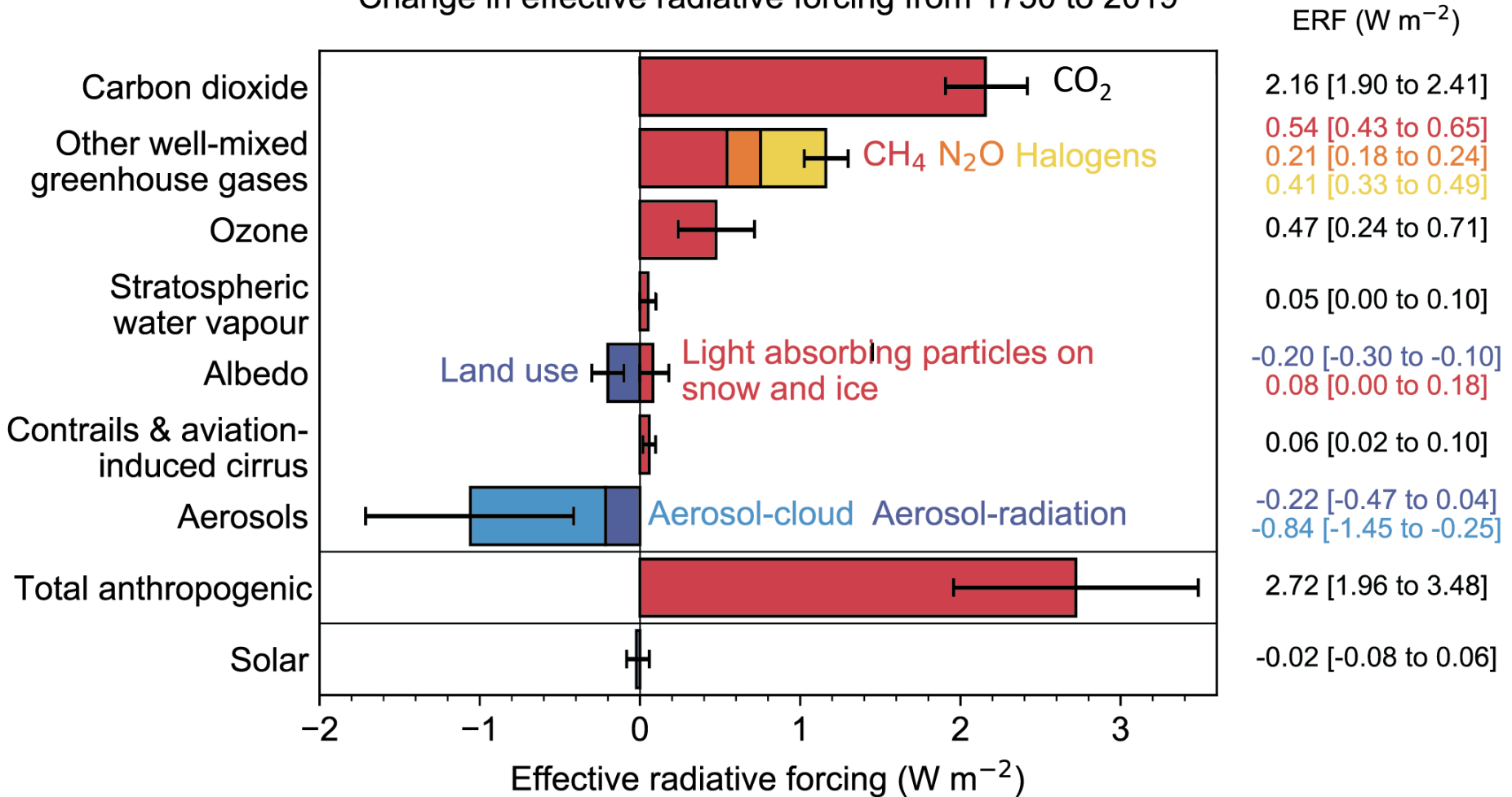


# CO<sub>2</sub> PITOISUUS versus LÄMPÖTILAN MUUTOS

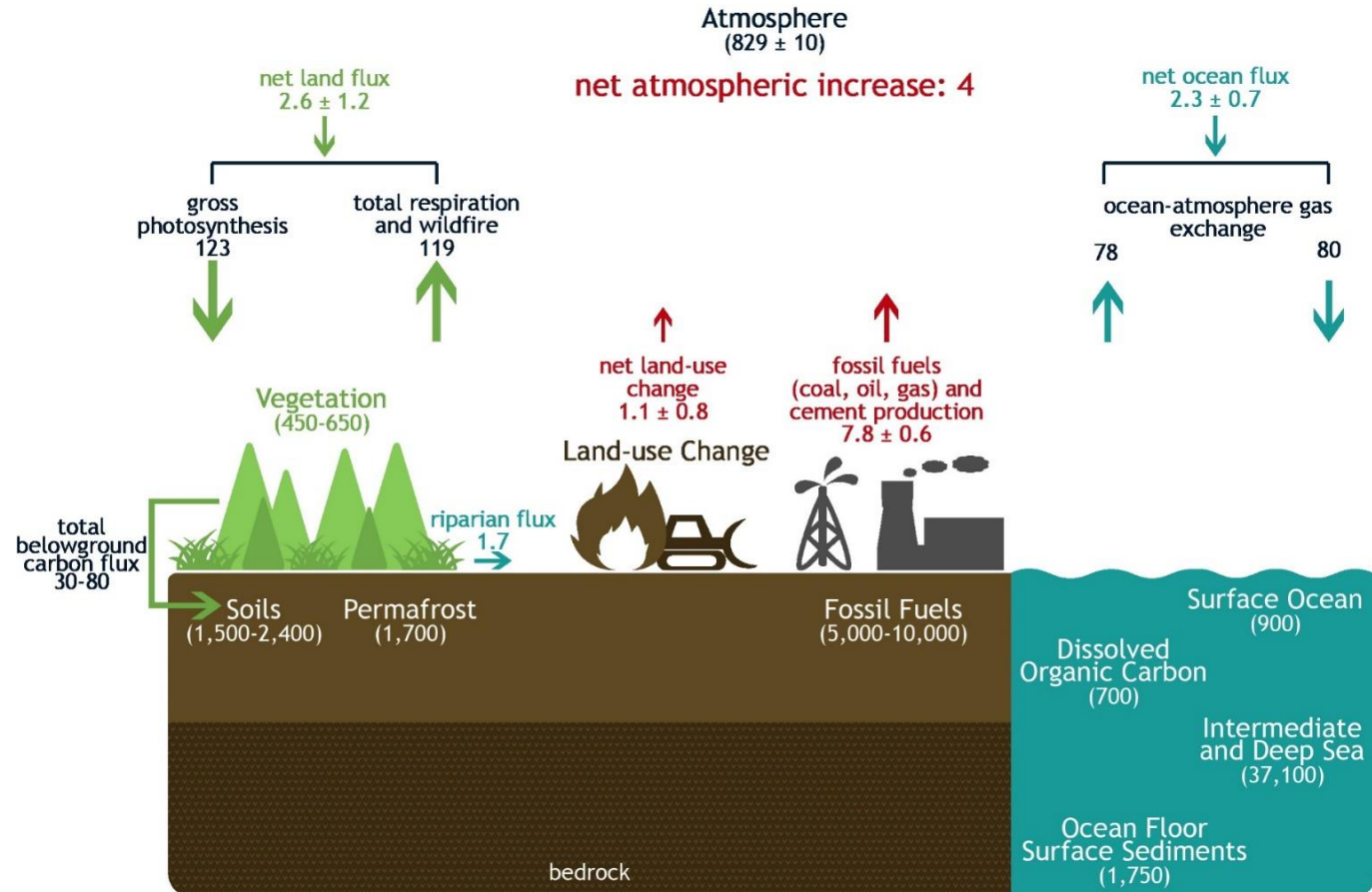


# SÄTEILYPAKOTE

Change in effective radiative forcing from 1750 to 2019



# HIILEN KIERTOKULKU

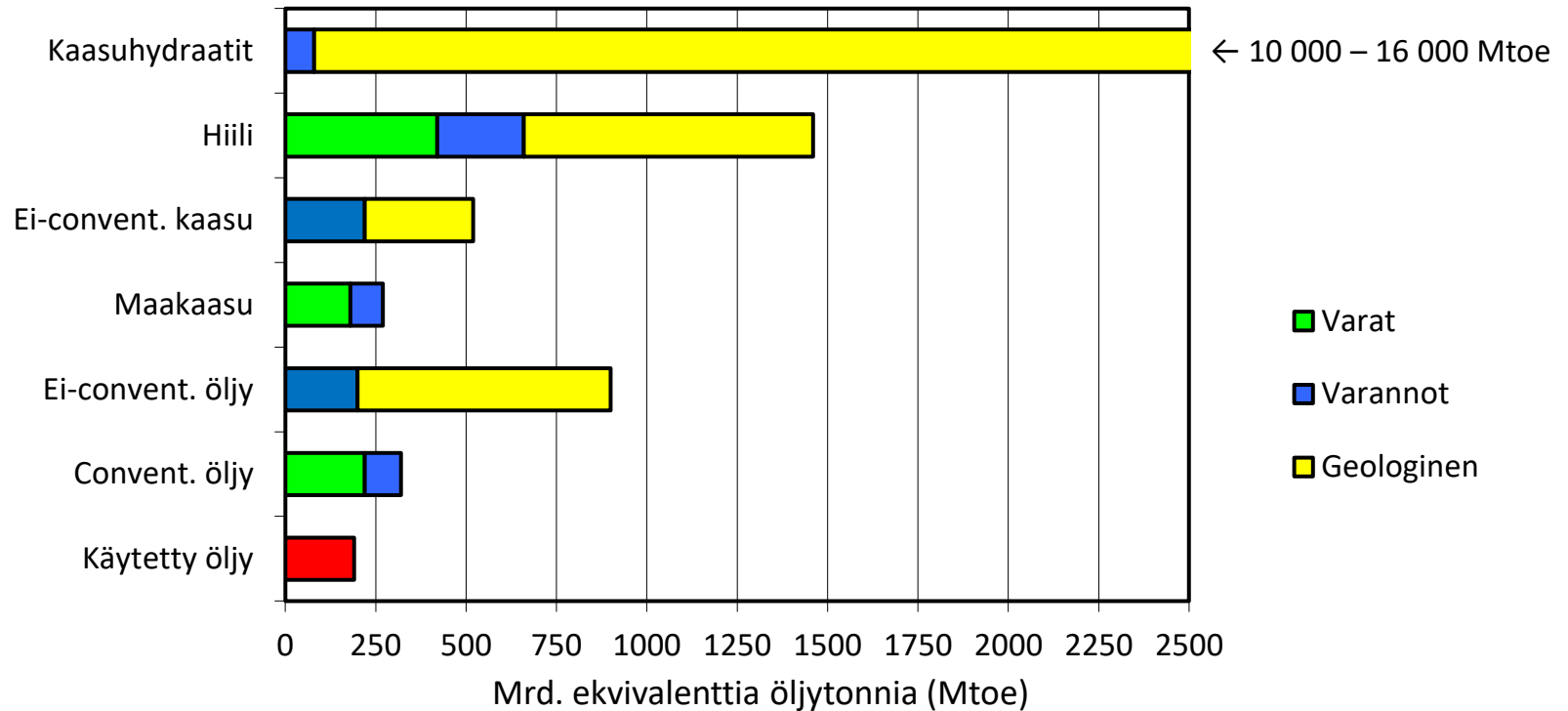


## Hiilivarannot (gigatonnia)

- Ilmakehä 830
- Kasvillisuus 550
- Maaperä 2300
- Ikirouta 1700
- Foss. polttoaineet 5000
- Kaasuhydraatit 5000
- Pintameri 1000
- Meret-liuennet 700
- Syvä meri 37 000

# MAAILMAN FOSSILISET POLTTOAINEET

(Eri lähteitä)



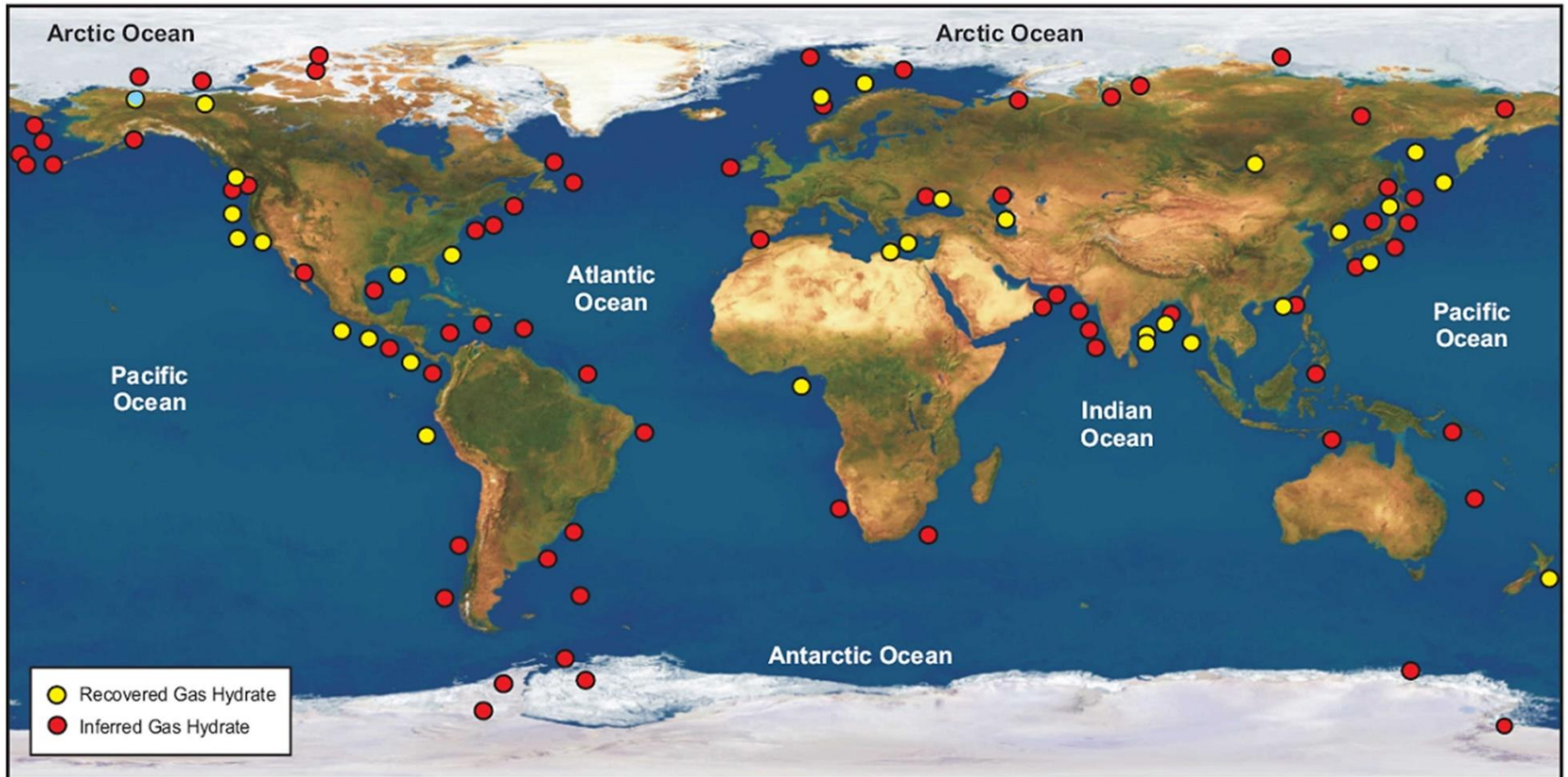
## Hyödynnettävien varojen riittävyys (vuosia)

Polttoaine	Varat	Varannot	Yhteensä
Öljy	50	+40	90
Maakaasu	50	+ 90	140
Hiili	130	+100	230

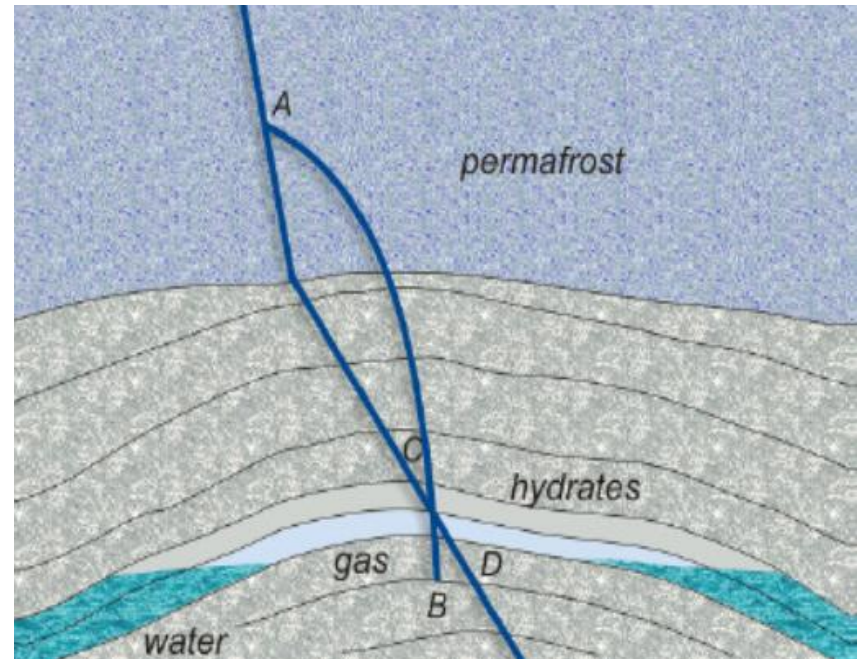
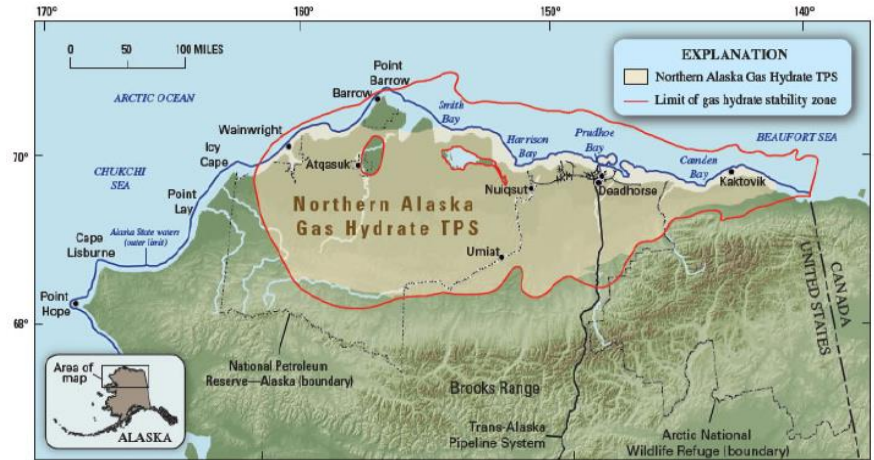


# MAAILMAN KAASUHYDRAATTIESIINTMÄT

(Lähde USSS)



# ALASKAN KAASUHYDRAATTIHANKE

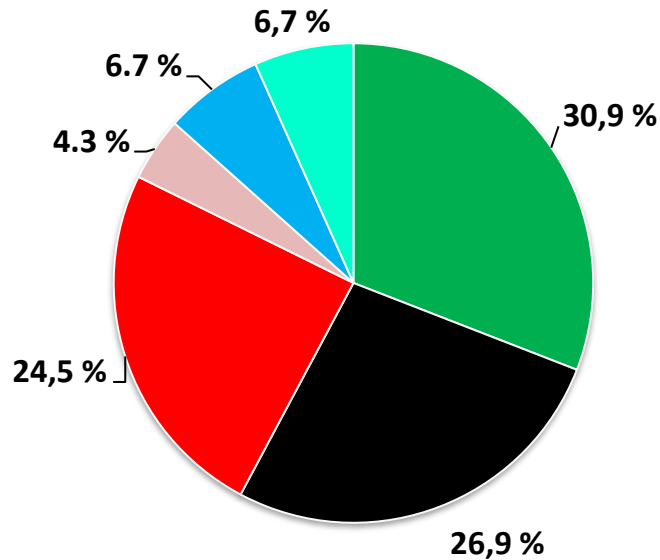


# PRIMÄÄRIPOLTTOAINEIDEN KULUTUS 2021

(Lähde: BB Statistical Review 2022)

## Maailma

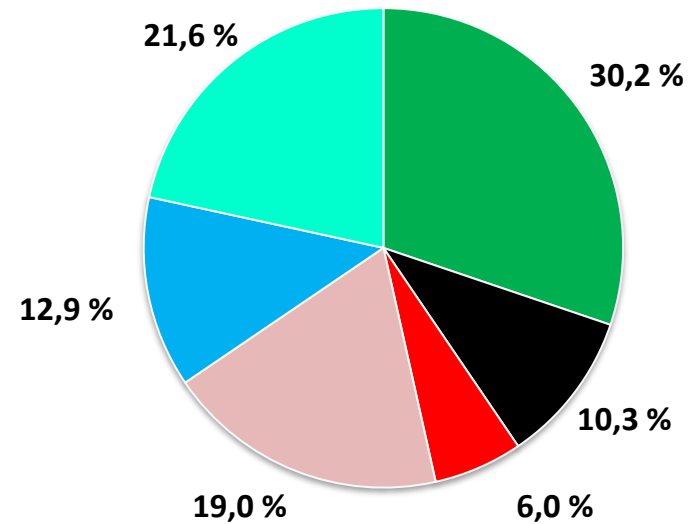
595,2 EJ / 165 300 TWh  
Fossiilienergia 490 EJ (82,3%)



■ Öljy  
■ Hiili  
■ Kaasu  
■ Ydinvoima  
■ Vesivoima  
■ Uusiutuvat

## Suomi

1,16 EJ / 332 TWh  
(0,19 % glob. kulutuksesta)

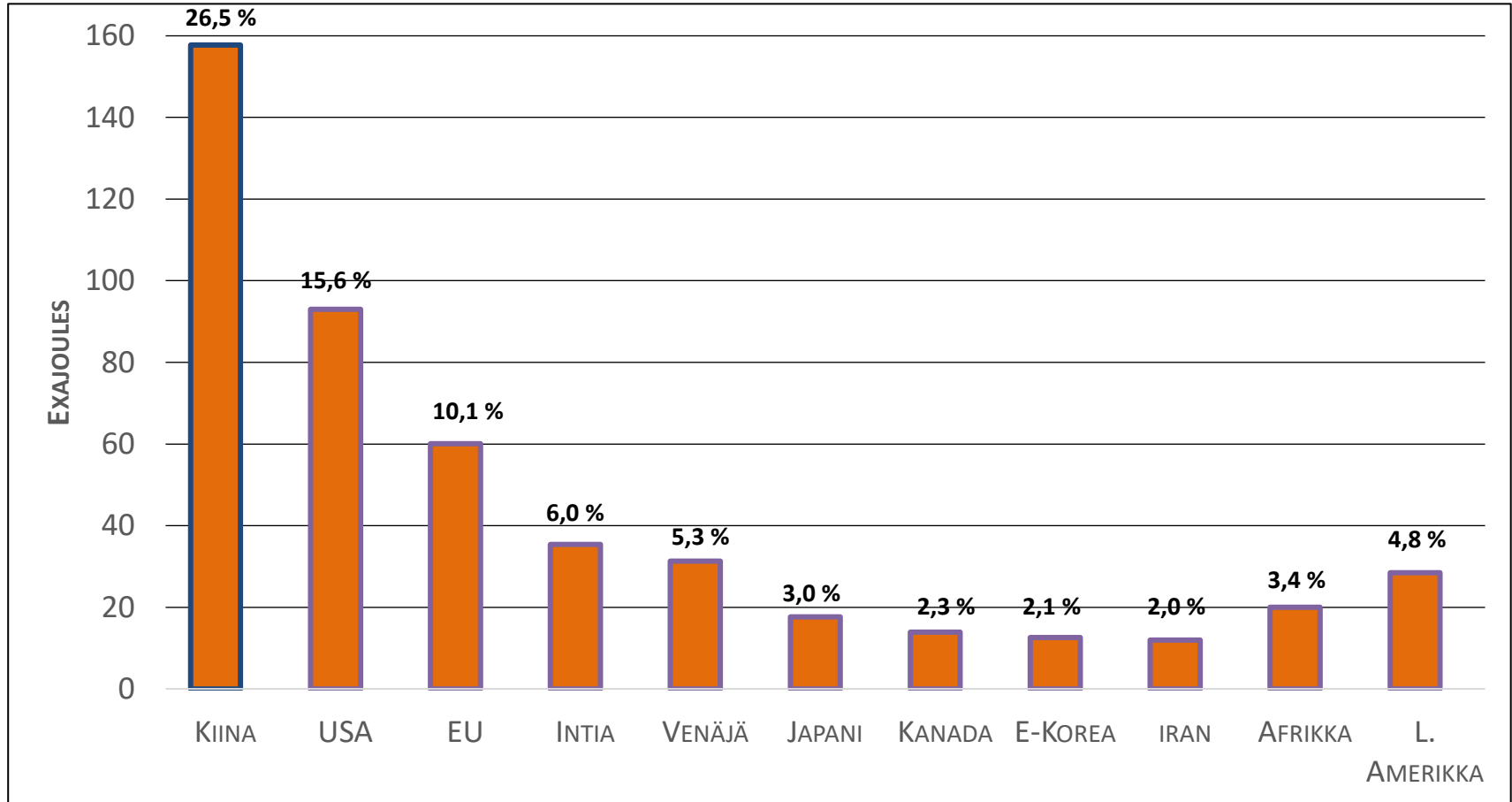


## Fossiilienergia vv. 2011 - 2021

- Öljy 168 - 178 (0,6 %/v)
  - Hiili 163 - 168 (0,3 %/v)
  - Kaasu 116 - 144 (2,4 %/v)
- Yht. 445 - 490 (1,0 %/v)**

# ENERGIAN KULUTUS ERI MAISSA 2021

( Lähde: BB 2022 )



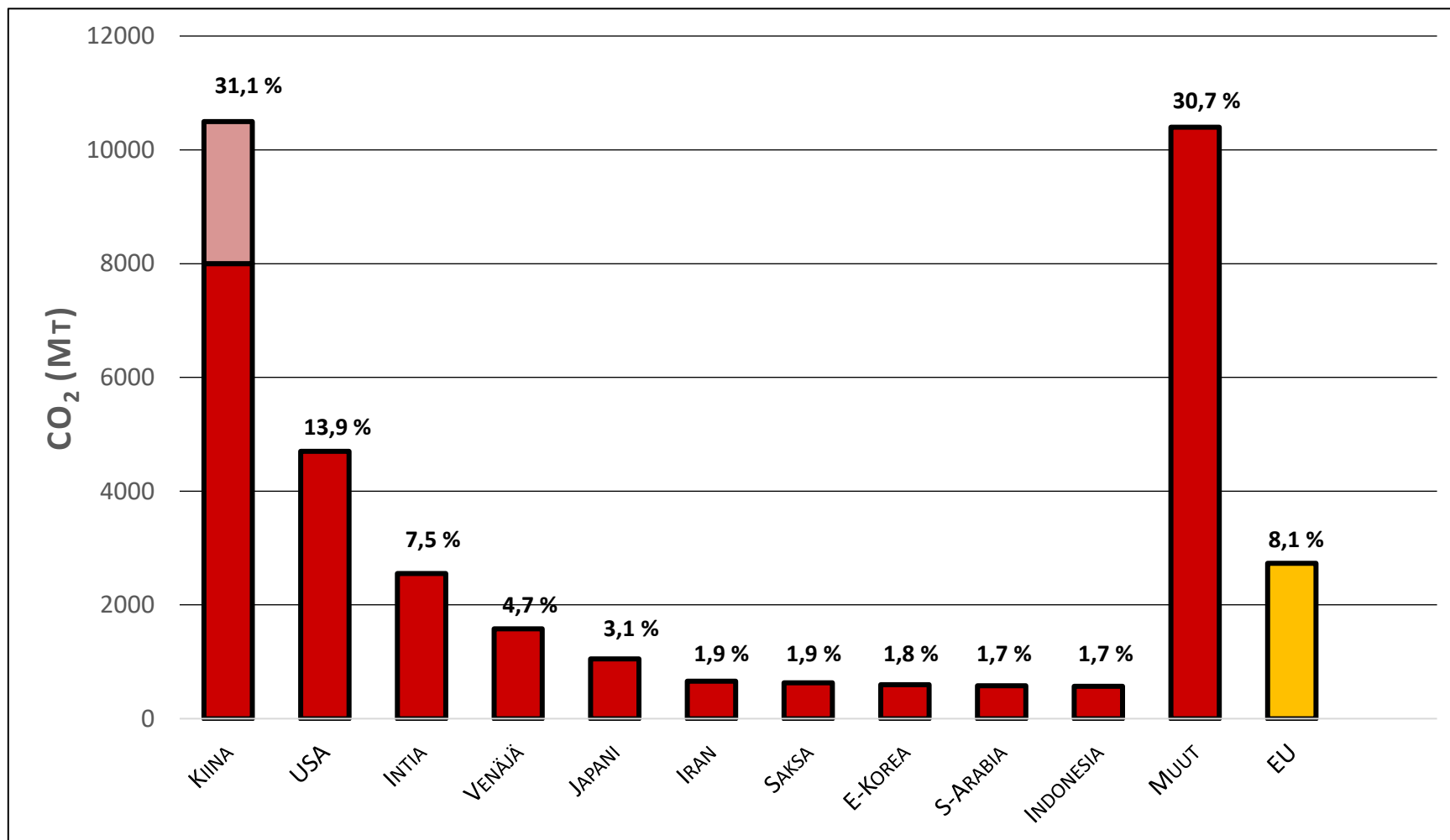
# ERI MAIDEN CO<sub>2</sub> PÄÄTÖT ENERGIANTUOTANNOSTA 2021

( Lähde: IEA 2022 )

Maailma 33884 Mt

(Puuttuu sotilassektori)

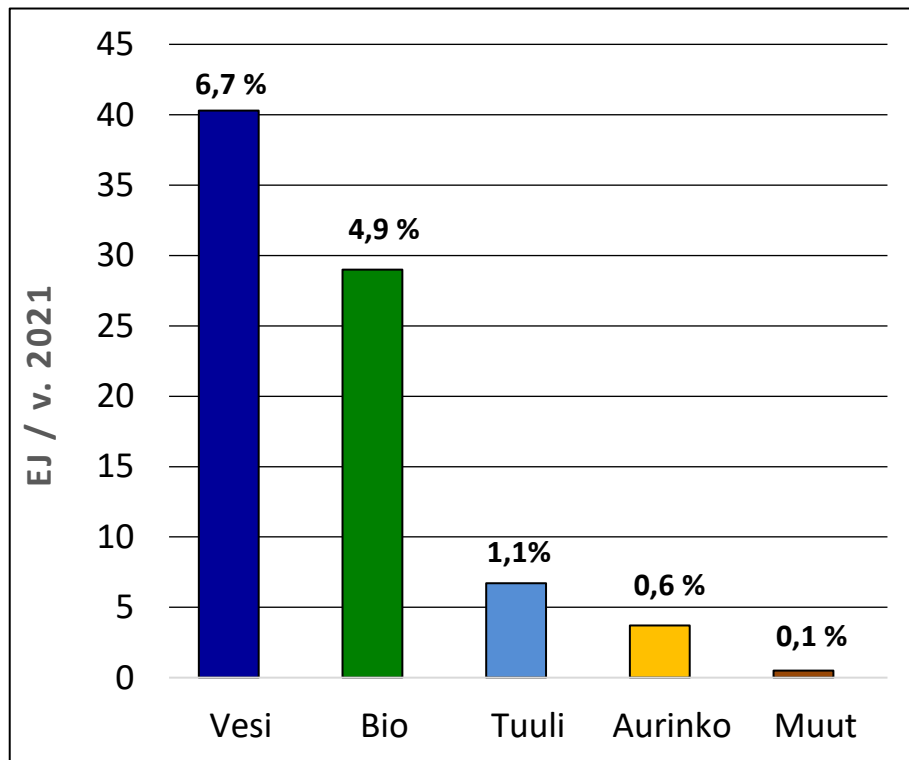
Suomi 37,2 Mt / 0,11 %



# VIHREÄN ENERGIAN OSUUDET 2021

( Lähde: BB 2022 )

## Osuudet globaalienergiasta



### Vihreän energian kasvuluvut (%)

	2021	2011 - 2021
Vesi	-0,2	1,5
Bio	7,0	12,0
Tuuli	17,0	14,1
Aurinko	22,3	27,9
Muut	na	na

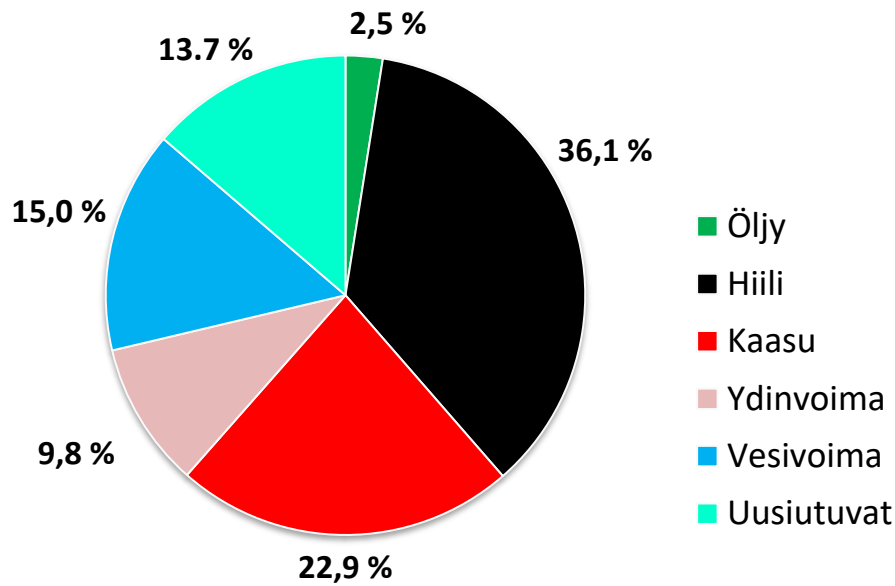
# SÄHKÖN KULUTUS 2021

(Lähteet: BB 2022, Tilastokeskus)

## Maailma

28 470 TWh

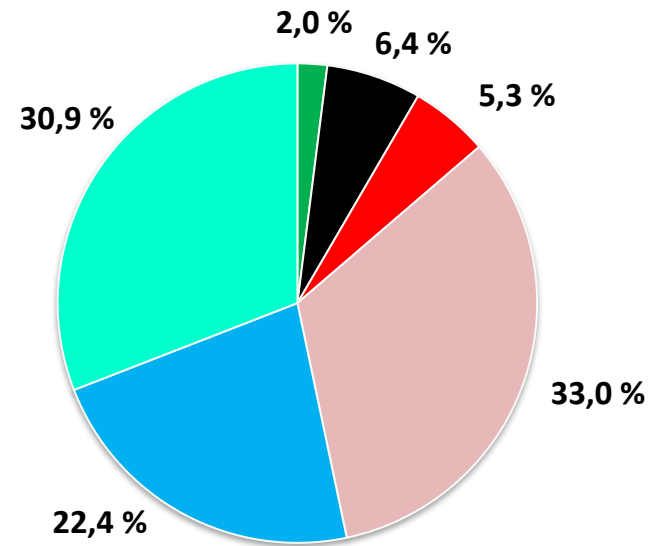
Fossiilienergia 17 500 TWh (61,5 %)



## Suomi

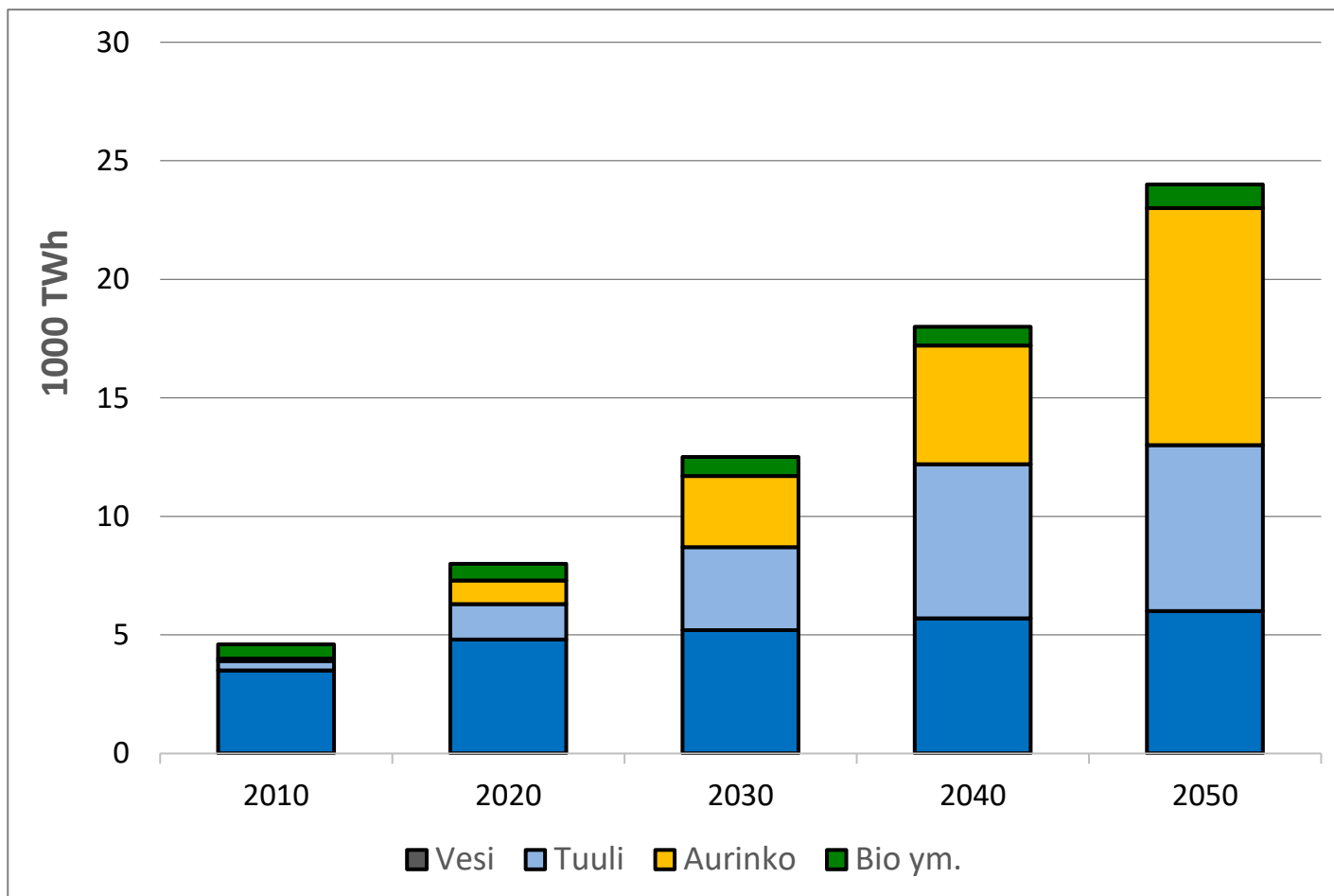
69,3 TWh

(0,24 % glob. kulutuksesta)



# VIHREÄN SÄHKÖENERGIAN LÄHTEET 2010 - 2050

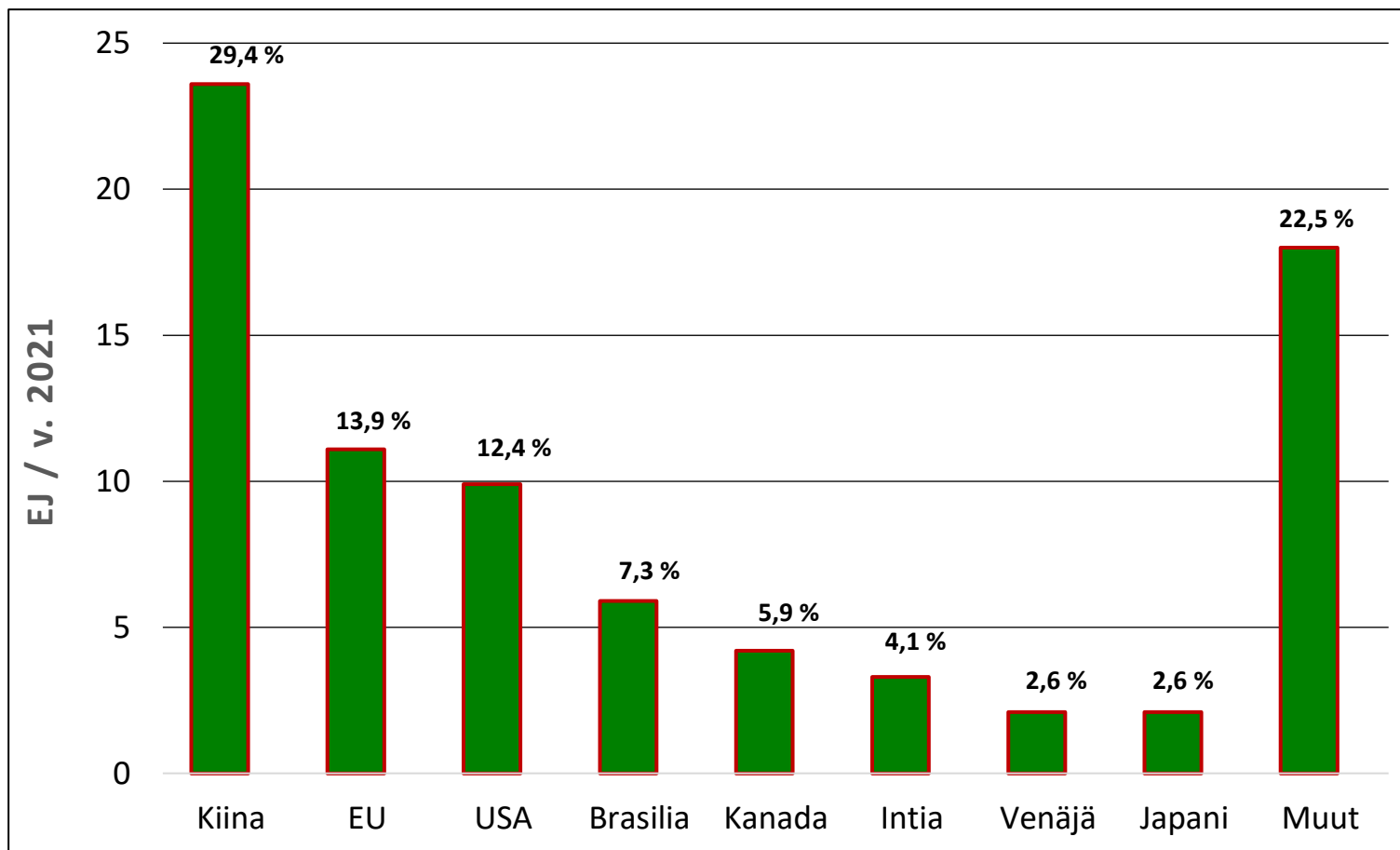
(Lähde: IAE 2020)





# VIHREÄN ENERGIAN TUOTTAJAT 2021

( Lähde: IEA 2022 )



# VIHREÄN ENERGIAN KRIITTISET MINERAALIT 2021

( Lähteet: BB, IEA 2022 )

Koboltti		%	Litium		%	Nikkeli		%	Harv. maametallit		%	Grafiitti		%
Kongo*	93,0	70,9	Australia	56,4	52,3	Indonesia	884	36,5	Kiina	168,0	59,0	Kiina	820,0	67,1
Venäjä	6,5	5,0	Chile	26,0	24,6	Filippiinit	351	14,5	USA	43,0	15,1	Brasilia	96,0	7,8
Australia	5,6	4,2	Kiina	14,0	13,2	U. Kaledonia*	206	8,5	Australia	22,5	7,9	Madagaskar*	88,1	7,3
Filippiinit	4,3	3,3	Argentiina	6,0	5,6	Venäjä	202	8,3	Thaimaa	8,0	2,8	Mosambik*	72,0	5,9
Kuuba	4,0	3,0	Brasilia	1,5	1,4	Australia	178	7,4	Intia	5,0	1,8	Venäjä	15,2	1,2
Kanada	3,8	2,9	Zimbabwe*	1,2	1,1	Kanada	130	5,4	Madagaskar*	3,2	1,2	Turkki.	15,2	1,2
PNG*	3,0	2,2	Muut	1,9	1,8	Kiina	120	5,0	Venäjä	2,6	0,9	Muut	116,5	9,5
Muut	11,1	8,5				Muut	349	14,4	Muut	32,2	11,3			

\* Papua New Quinea \* Yhteistyö Kiinan kanssa

# VETYTALouden KÄSITTEITÄ

## Vetytalous



Tilanne, jossa liikenteessä ja energiantuotannossa käytettävät nestemäiset polttoaineet sekä osa maakaasusta on korvattu vedyllä

## Vetyinfrastruktuuuri



Vedyn tuotannon, varastoinnin, jakelun ja käytön edellyttämä alueellinen järjestelmä

## Vety-yhdyskunta



Vetyyn perustuva klusteri tarjoaa pääosan yhdyskunnan energian ja liikenteen palveluista



# VETY - ALKUAINE

## Ominaisuuksia (1.0 baari)

- Alkuaihe (H) Alkalimetalli (epämetalli)
- Molekyyli  $H_2$
- Moolimassa/atomipaino 1,00794 g/mol
- Moolitilavuus 11,42 cm<sup>3</sup>/mol
- Tiheys 0,0899 g/m<sup>3</sup>
- Isotoopit:
  - <sup>1</sup>H (H): Protium, 99,8 % maapallon vedystä
  - <sup>2</sup>H (D): Deuterium (raskas vesi), 0,2% vedystä
  - <sup>3</sup>H (T): Tritium, radioaktiivinen isotooppi

## Termisiä ominaisuuksia (1.0 baarin paineessa)

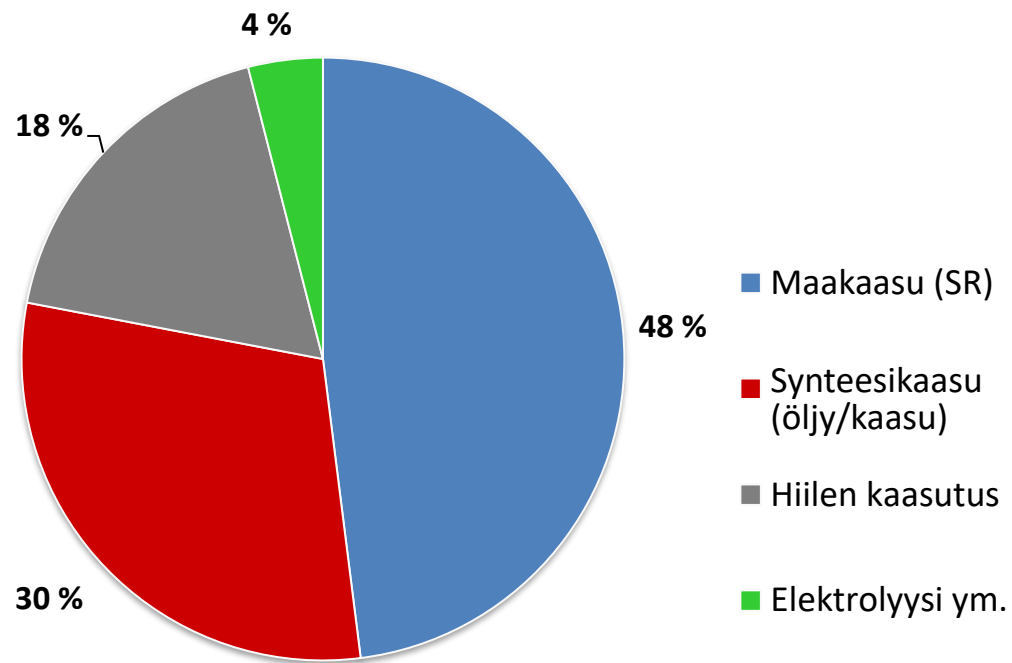
- Sulamispiste - 259,14 °C (14,01 K)
- Kiehumispiste - 252,87 °C (20,28 K)
- Höyrystymislämpö 0,904 kJ/mol
- Ominaislämpö 14,404 kJ/kg K
- Lämmönjohtavuus 1,805 W/(m×K)
- **Polttoarvo 119 MJ/kg tai 33,1 kWh/kg**

## Esiintyminen

- 0,12 % maapallon massasta, 73 % maailmankaikkeuden aineesta
- Vetyä sisältäviä materiaaleja eli ”vedyn kantajia”:
  - Vesi
  - Hiilivedyt
  - Metalliset & kemialliset hydraatit
  - Biomassa & glukoosi
  - Metanoli, etanoli, ammoniakki ym.

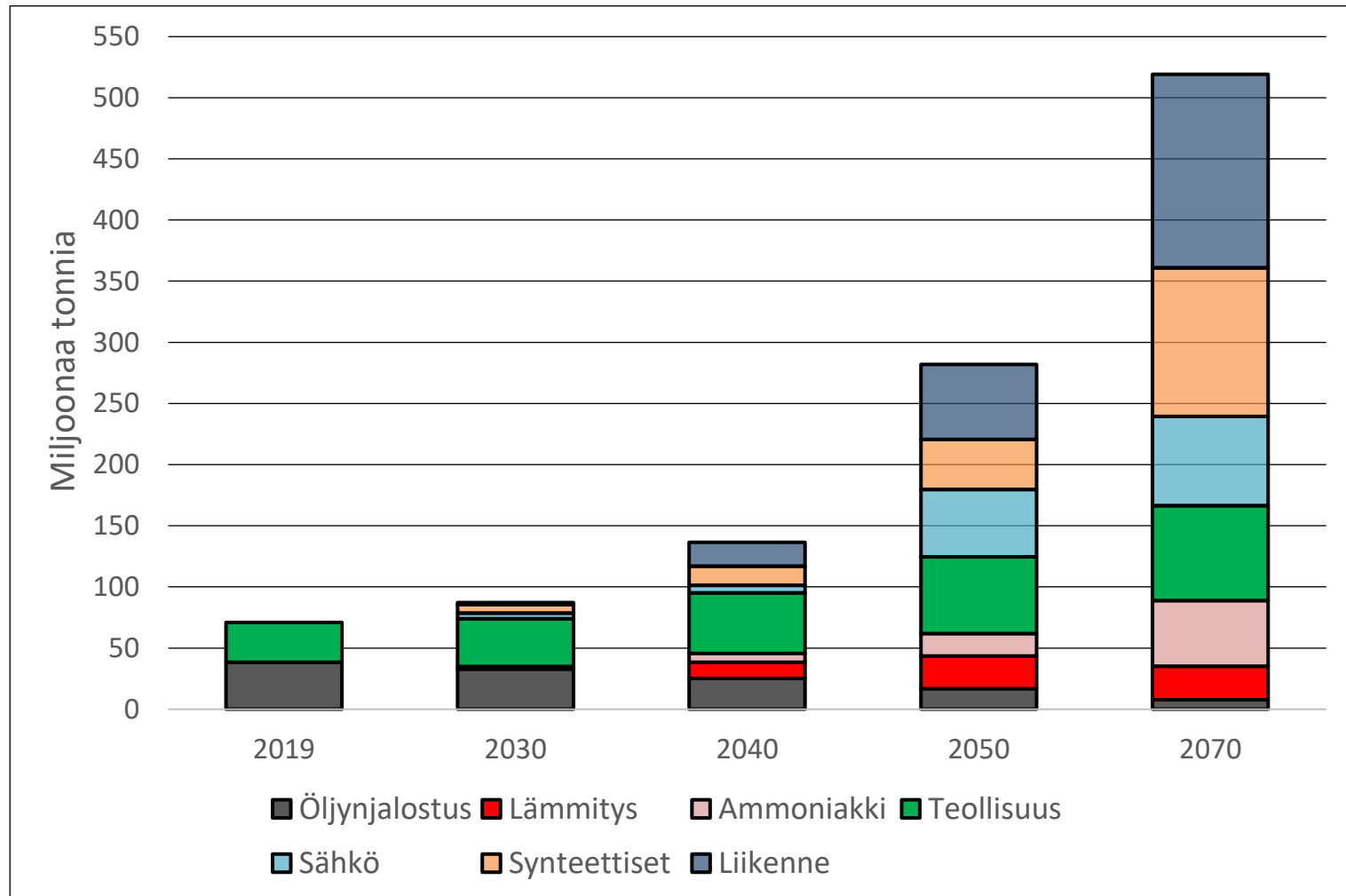
# VEDYN VALMISTUKSEN RAAKA-AINEET

( Lähde: Research Gate 2020 )



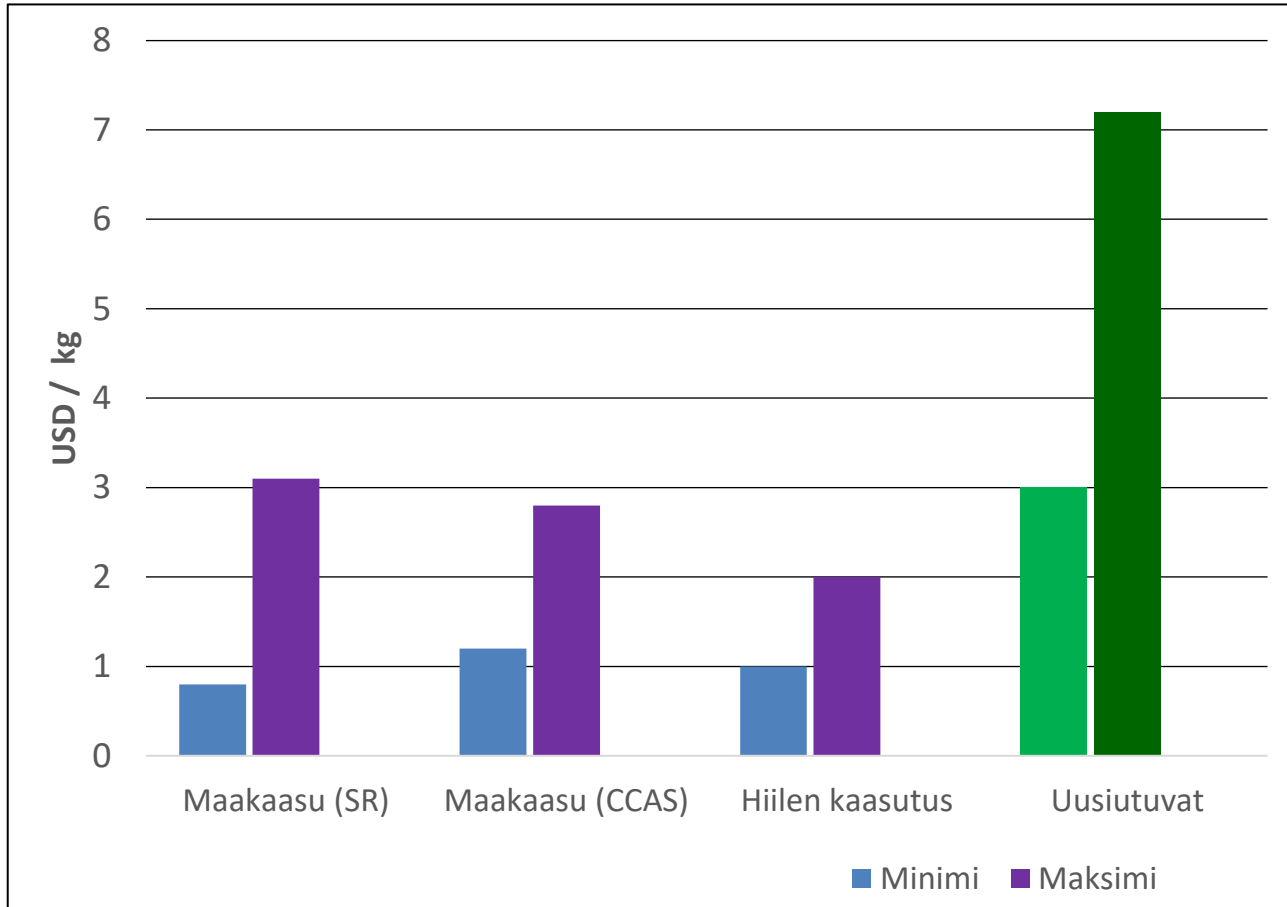
# VEDYN KYSYNTÄ MAAILMASSA 2019 - 2070

( Lähde: Statista 2020 )



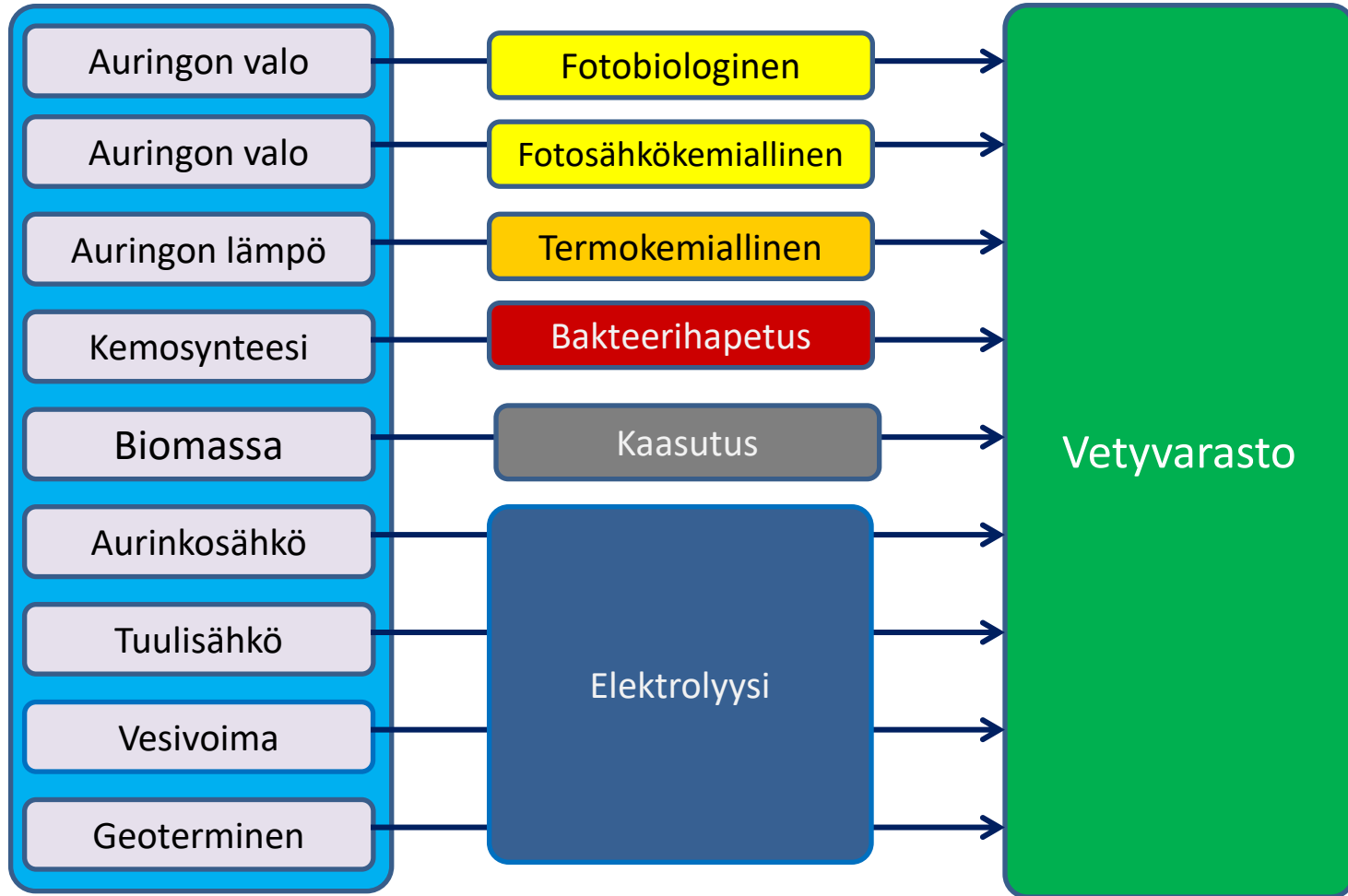
# VEDYN TUOTANTOKUSTANNUS

( Lähde: IEA 2020 )



# VIHREÄN VEDYN VALMISTUS

( Useita lähteitä )





# NELJÄNNEN SUKUPOVEN YDINREAKTORIT

( Useita lähteitä )

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

# JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

- ❑ Fossiilisten polttoaineiden absoluuttiset tuotantoluvut tulevat kasvamaan Ukrainan sodan synnyttämän globaalin energiakriisin takia ainakin seuraavan vuosikymmenen ajan.
- ❑ Vihreän siirtymän toteutuksen onnistuminen edellyttää globaaleja hiiliveroon tai hiilen päästökauppaan perustuvaa markkinaehtoista toteutusta.
- ❑ Lisäksi fossiilisista polttoaineista luopuminen edellyttää merkittävää ydinenergian tuotannon lisärakentamista.
- ❑ Kiina tulee olemaan globaali markkina- ja teknologiajohtaja uusiutuvien polttoaineisiin (aurinko, tuuli, vesi ja geoterminen) perustuvan energiantuotannon kehittämisessä:
  - Omat kehitysinvestoinnit uusiutuvan sähkön tuotantoon 25 % v. 2025, 30 % v. 2030)
  - Aurinkopaneelien tuotanto – 80 % maailman kapasiteetista
  - Massiivinen tuuliturbiinien tuotannon lisääminen
  - Vihreän siirtymän kriittisten mineraalien omistusosuudet
- ❑ Fossiiliset polttoaineet eivät yksin selitä hiilidioksidipäästöjen kiihtyvää kasvua.
- ❑ Ilman lämpötilanmuutoksen ja hiilidioksidipitoisuuden kasvun välinen suhde epälineaarinen
- ❑ Metaanivuodot ilmakehään ovat hiilidioksidipäästöjen jälkeen suurin potentiaalinen ilmastomuutoksen uhka.
- ❑ Biomassan kiihtyvä kasvu ml. puurajan siirtyminen pohjoiseen ja tundran vihertyminen on merkittävä ilmaston lämpenemistä hillitsevä tekijä.
- ❑ Energiamarkkinoiden sähköistyminen tulee lisääntymään kiihtyvää vauhtia
- ❑ Kiinnostus globaalia vetytaloutta kohtaan on kasvamassa, mutta laaja kaupallinen läpimurto edellyttää kilpailukykyistä fossiilivapaan vedyn tuotantoa.



**Kiitokset !**