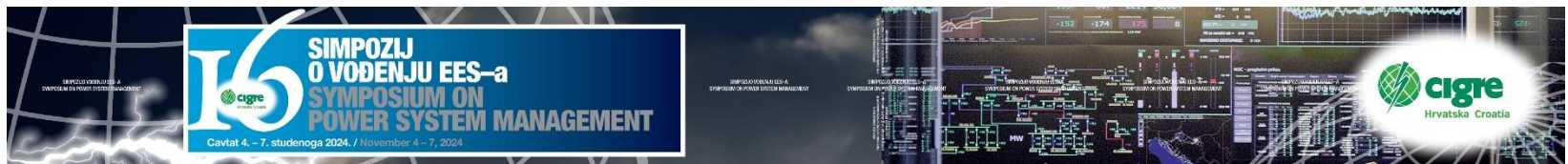


Uloga elektro-energetskog sustava u sektoru transporta: baterije plus/ili vodik

Frano Barbir

Professor emeritus, FESB, Sveučilište u Splitu

Predsjednik, Hrvatska udruga za vodik



Dekarbonizacija energetike

- Vodik ima smisla samo u kontekstu dekarbonizacije energetike!
- Dekarbonizacija energetike uključuje i dekarbonizaciju/elektrifikaciju sektora transporta
 - Električna vozila kontaktom spojena na mrežu (catenary)
 - Električna vozila s baterijama (BEV)
 - Električna vozila s vodikom i gorivnim člancima (FCEV)



Penetracija BEV i FCEV

■ Penetracija električnih vozila
Oslanjaju se na sadašnju infrastrukturu

■ Budući sustav i buduća infrastruktura
Broj i snaga punjača

million

18

16

14

12

10

8

6

4

2

0

2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021

BEV

FCEV

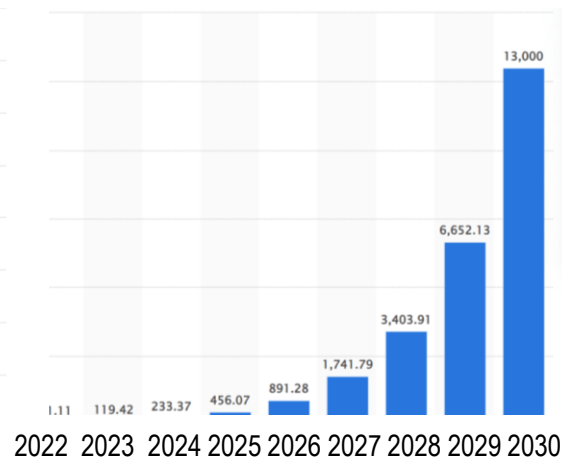
Automobili
Autobusi
Kamioni
Punionice

California²⁰²⁴

Japan²⁰²²

Europe²⁰²²

18355	7404	4804
66	102	334
		109
43	161	189



Najnovije: na kraju 2023. je bilo 42 milijuna električnih automobila, 50% više nego 2022.

● China BEV ● China PHEV ● Europe BEV ● Europe PHEV ● United States BEV ● United States PHEV ● Other BEV ● Other PHEV



BEV su efikasniji od FCEV

Od izvora do spremnika

Od spremnika do kotača

El. auto s baterijama



Energy



Transportation and storage



Electric battery (high capacity)



E-engine



100 %

70 - 90 %

Ukupna efikasnost

El. auto s vodikom i gorivnim člancima



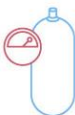
Energy



Electrolysis



Compression and liquefaction



Transportation and filling



Fuel cell and power generation



Electric battery (low capacity)



E-engine



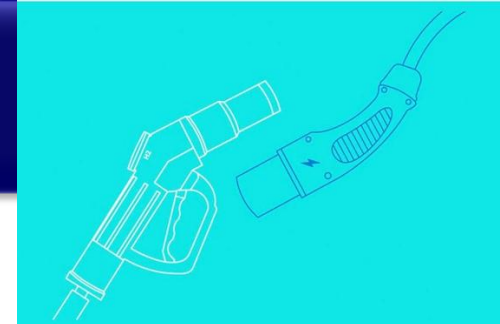
100 %

30 - 40 %

Ukupna efikasnost

Source Volkswagen

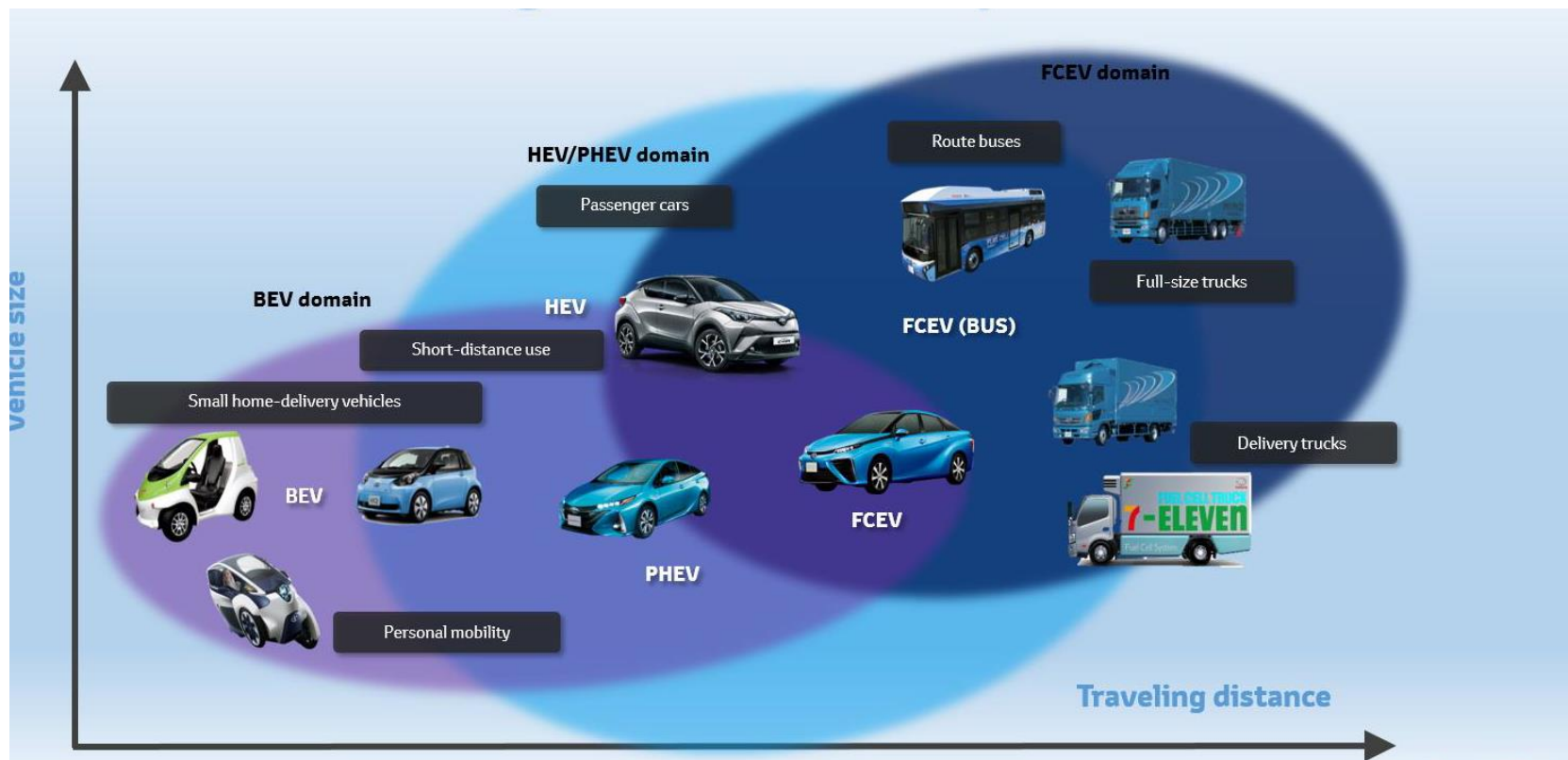
Vodik ili baterije



Druge usporedbe

	FCEV	BEV	
■ Vrijeme punjenja	3-5 min ✓	>1 sat	X
■ Gustoća energije (veličina, težina)			
vodik:	39.4 kWh/kg		
el. energija iz vodika:	19.7		
+spremnik:	0.6 – 0.8 ✓	0.1 – 0.26 kWh/kg	X
+gorivni članak:	0.4 – 0.6 ✓		X
■ Odvojenost snage od energije	✓		X
■ Sigurnosni aspekti		?	
■ Rad u ekstremnim uvjetima		?	
■ Gubitak performansi s vremenom/trajnost			
■ Ograničenost kritičnih materijala/mogućnost recikliranja			
■ Cijena			✓

Mapa budućih automotivnih tehnologija



Vodik ima prednost kod primjena koje zahtijevaju brzo punjenje i gdje je potrebno pohraniti veće količine energije (teža vozila i velika autonomija)

Vozila na vodik su stvarnost



taksi



autobusi



kamioni

vlakovi

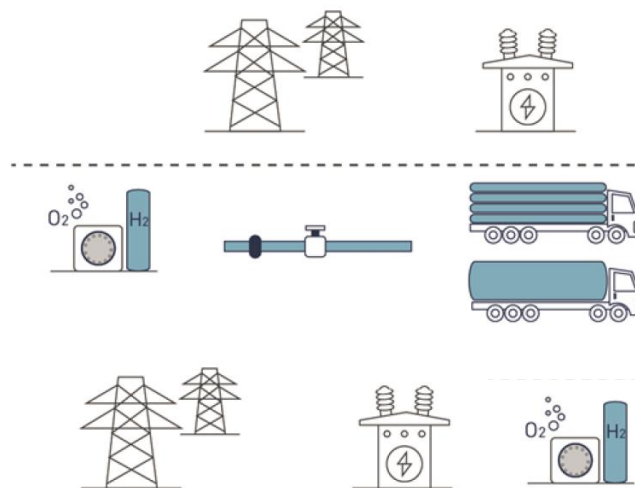
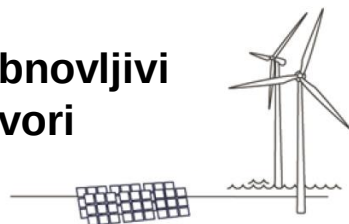


brodovi



Usporedba uspostave infrastrukture

Obnovljivi
izvori



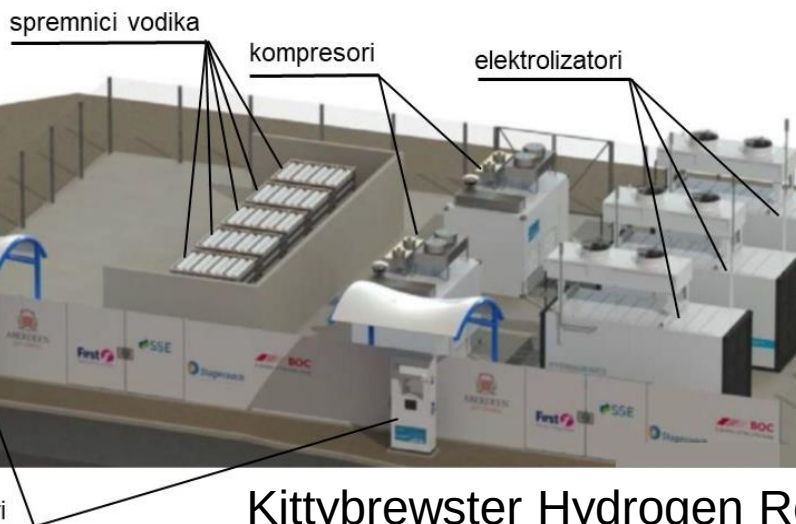
Punjenje
baterija



Punjenje
vodikom

Punionice vodika

- punionica malog kapaciteta, demonstracijski karakter za nekoliko automobila ili autobusa: 100-200 kg/dan;
- punionica srednjeg kapaciteta: ~500 kg/dan;
- punionica velikog kapaciteta: >1000 kg/dan;



Kittybrewster Hydrogen Refueling Station, Aberdeen, Scotland

Koliko vodika? Koliko električne energije?

- 500 kg/dan $\longrightarrow$ 1250 kW elektrolizator (56 kWh/kg; eff.70%; CF 0.93)
- Iz plana primjene strategije – 16 punionica do 2030
16 punionica x 1,25 MW = 20 MW
16 punionica x 500 kg/dan x 365 dana/god = 2,92 kt H₂/god
- Iz plana primjene strategije – potrošnja vodika za transport u 2030:
3,81 kt H₂/god $\longrightarrow$ 26,3 MW (CF 0,93)
100 MW (CF 0,245)
- CAPEX 1500 €/kW $\longrightarrow$ 1.06 €/kg (k = 6%; N = 15 god)
proporcionalan s €/kW i kWh/kg; obrnuto proporcionalan s CF

Usporedba uspostave infrastrukture

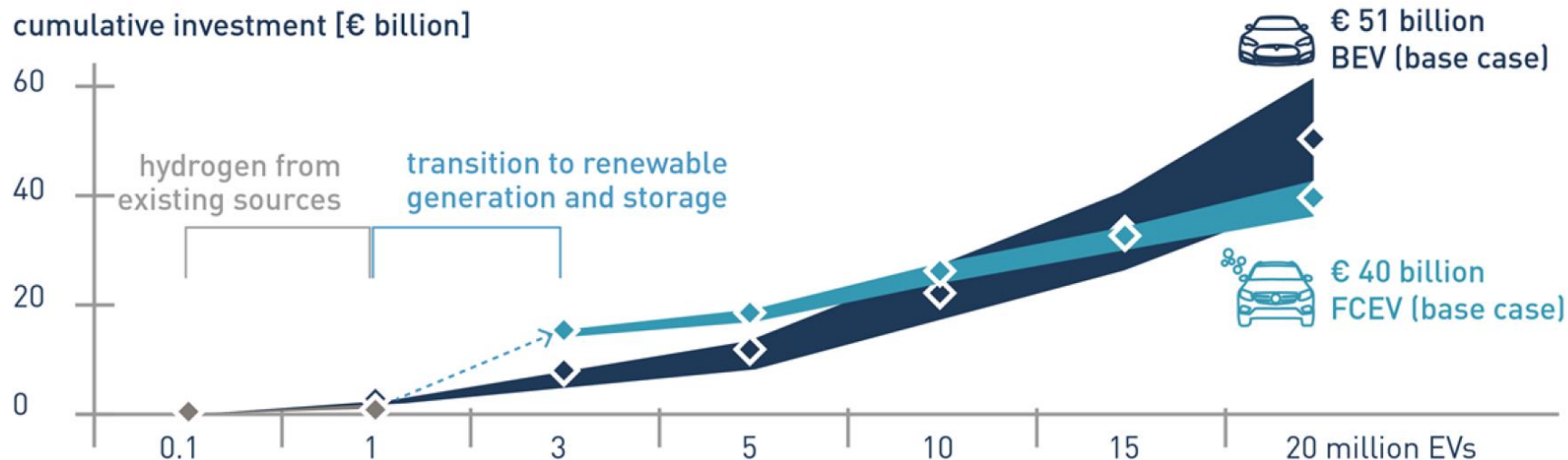


Figure 0-2: Comparison of the cumulative investment of supply infrastructures.

Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles

Martin Robinius, Jochen Linßen, Thomas Grube, Markus Reuß, Peter Stenzel,
Konstantinos Syranidis, Patrick Kuckertz and Detlef Stolten

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 408
ISBN 978-3-95806-295-5

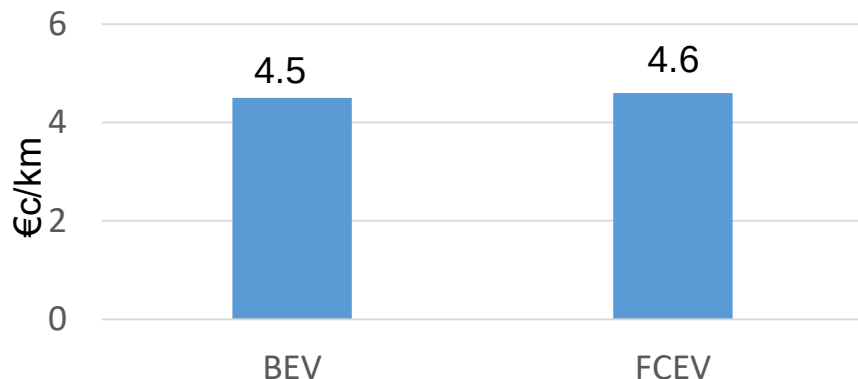


Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

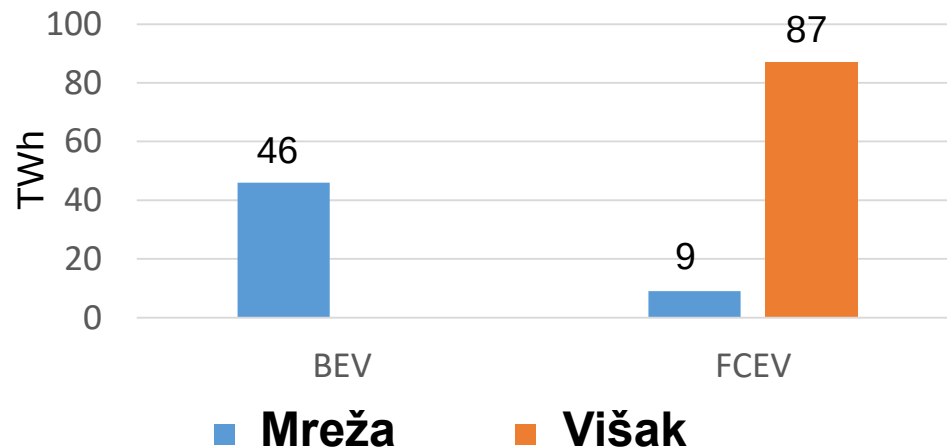
JÜLICH
Forschungszentrum

Usporedba uspostave infrastrukture

Trošak transporta po km



Izvor električne energije



Scenarij visoke penetracije: 20 milijuna e-vozila

Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles

Martin Robinius, Jochen Linßen, Thomas Grube, Markus Reuß, Peter Stenzel,
Konstantinos Syranidis, Patrick Kuckertz and Detlef Stolten

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 408
ISBN 978-3-95806-295-5



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

JÜLICH
Forschungszentrum

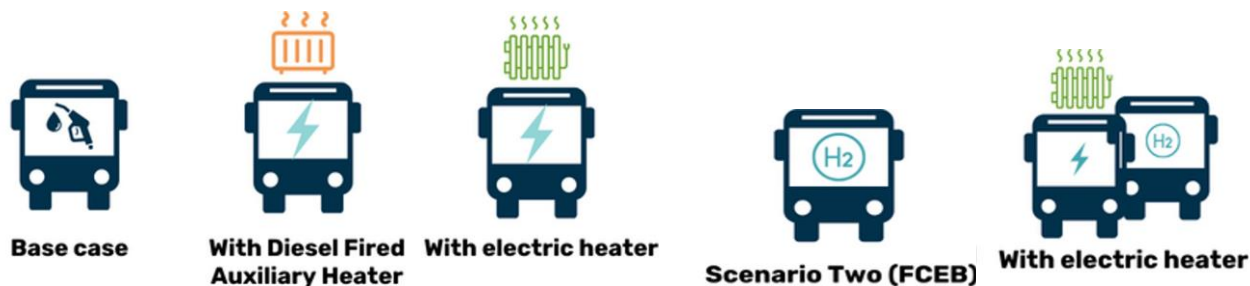
BEV vs FCEV - Zaključci

- BEV su efikasniji od FCEV
- Efikasnost nije jedini kriterij
- FCEV imaju prednost kod primjena koje zahtijevaju brzo punjenje i gdje je potrebno pohraniti veće količine energije (teža vozila i velika autonomija)
- BEV i FCEV će dijeliti tržište
- Infrastrukturu tek treba izgraditi
- Trošak uspostave infrastrukture je sličan
- Odluka o izboru ovisiti će od slučaja do slučaja

Brampton transit zero emission bus feasibility study (Canada)



2 Modelling Results Summary



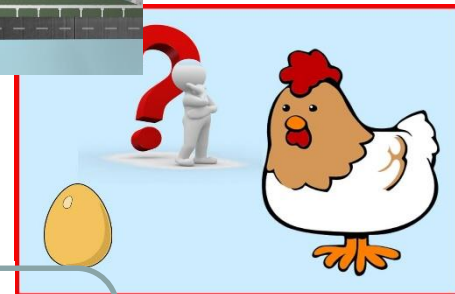
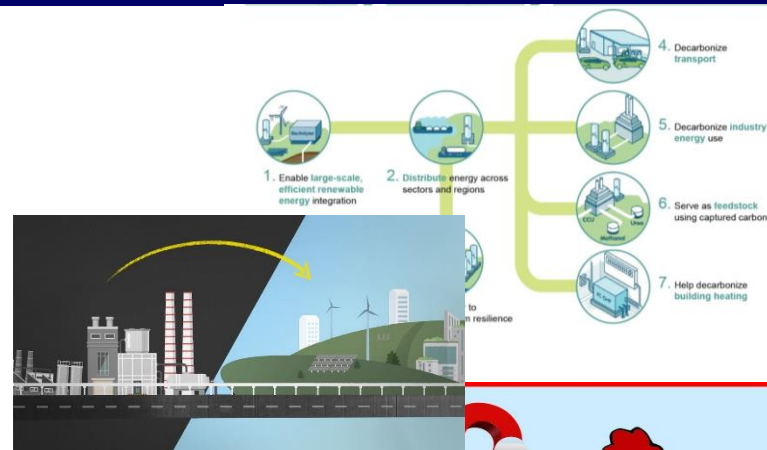
Current Fleet	476	590	633	720	602
Growth fleet	938	1,161	1,240	1,418	1,185

Izbor mješane flote baterijskih i vodikovih (FCEB) autobusa rezultirao je najmanjim potrebnim brojem autobusa i najmanjim troškovima!



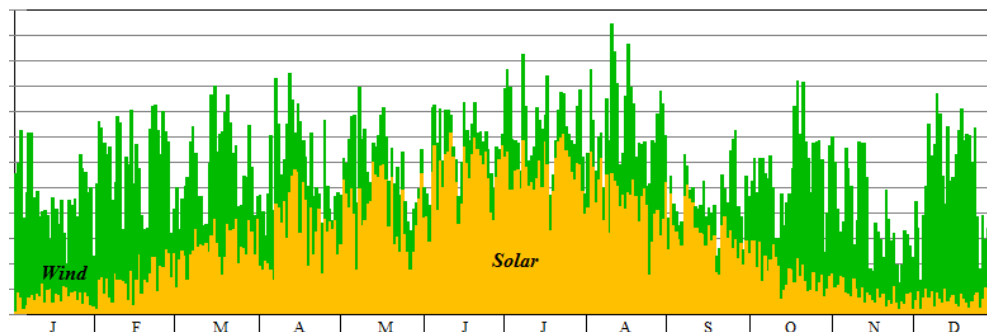
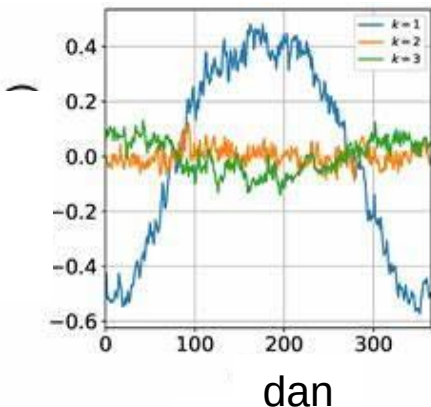
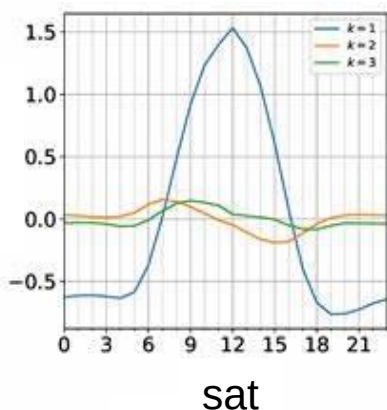
Vodik u transportu: Ključni izazovi!

- Za koje primjene vodik ima smisla
- Izazovi tranzicije
- Izazov infrastrukture: „kokoš ili jaje”
- Pitanje troškova/cijene
- Prihvatanje (razumijevanje) javnosti

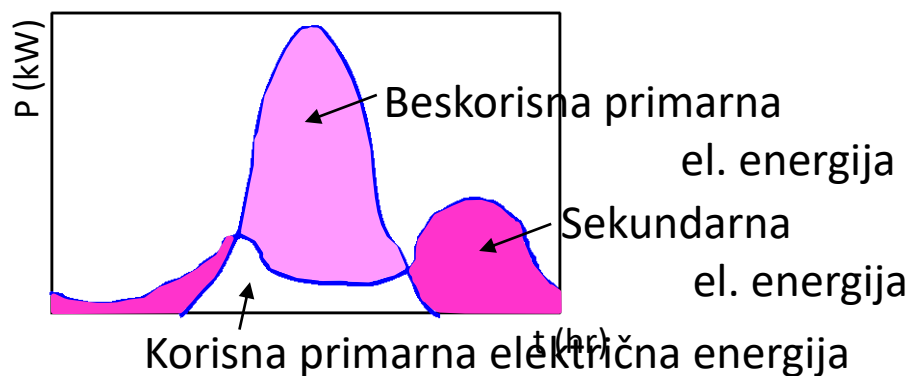


Specifičnosti obnovljivih izvora energije

Obnovljivi izvori energije su promjenjivog intenziteta (dnevno, sezonski)



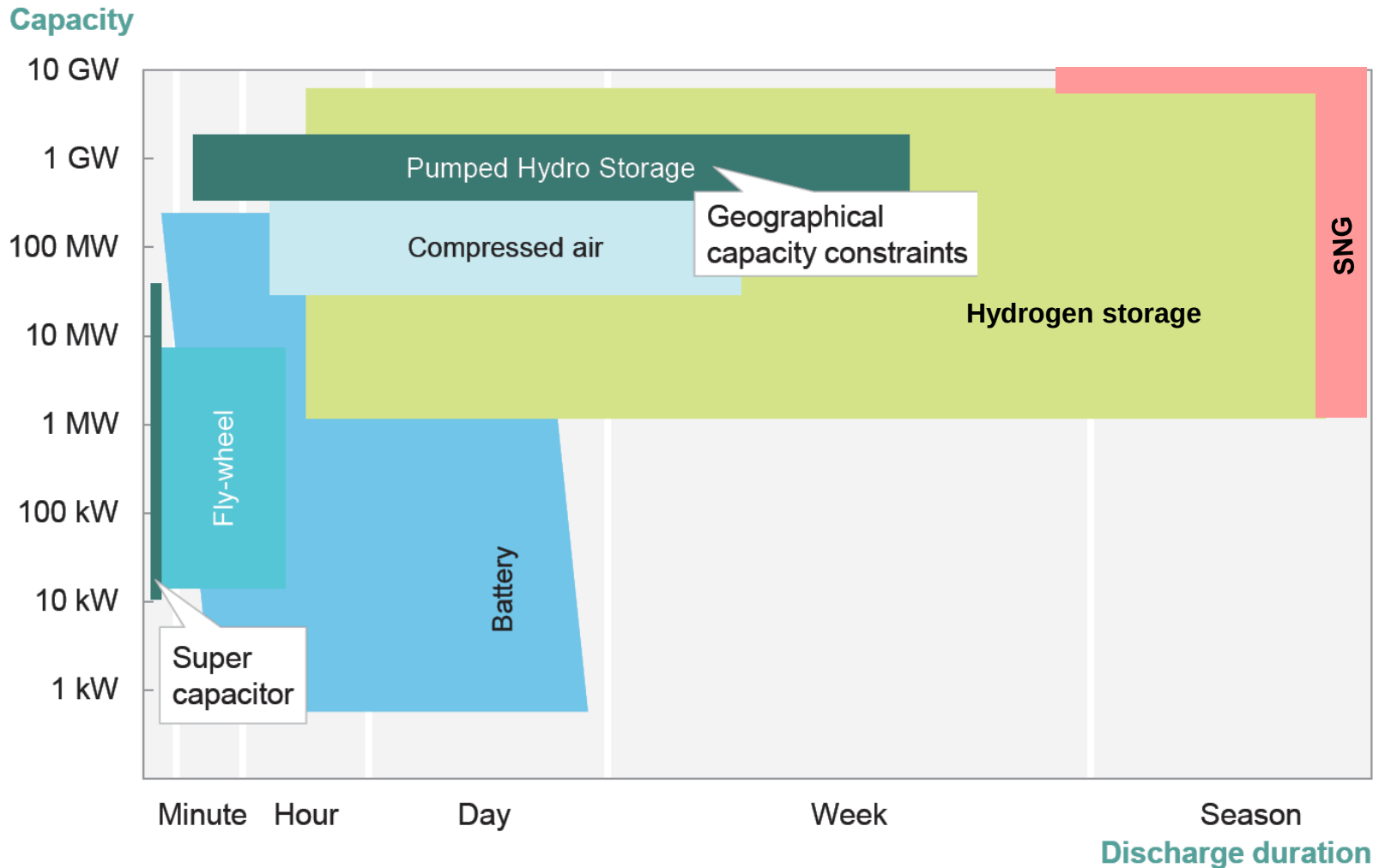
Postoji raskorak između potreba i raspoloživosti



Kako povećati korisnost energije

- Diversifikacija izvora
- Regionalna povezanost
- Demand side management
- Pohrana energije (baterije, vodik, toplina)
- Integracija sektora

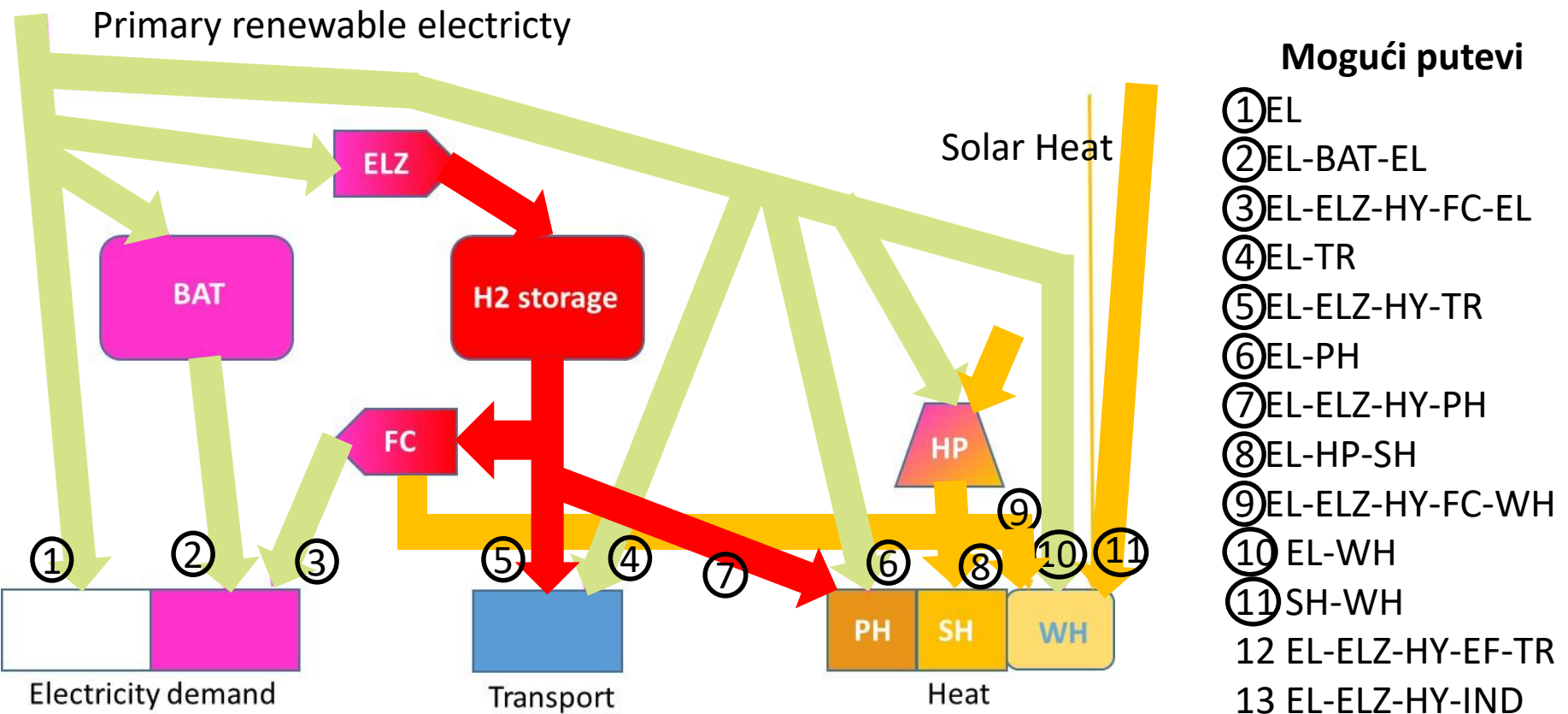
Mogućnosti pohrane energije !



¹ IEA data updated due to recent developments in building numerous 1MW hydrogen storage tanks

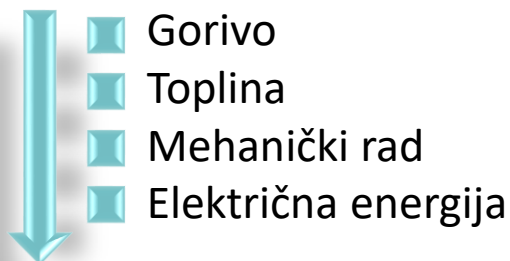
Source: IEA Energy Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells, JRC Scientific and Policy Report 2013

Mogućnosti zadovoljavanja energetske potreba s obnovljivim izvorima energije



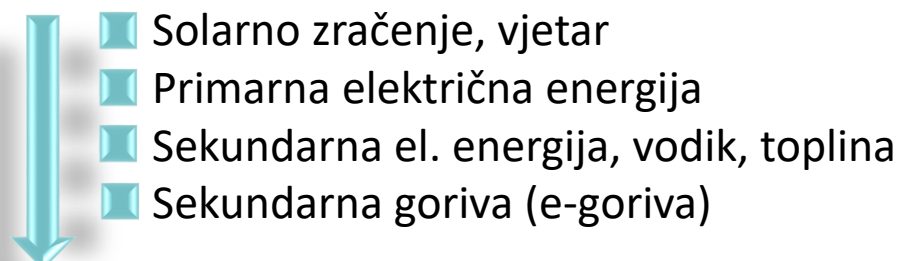
Nova paradigma u vrednovanju energije!

Stara paradigma u sustavu baziranom na fosilnim gorivima

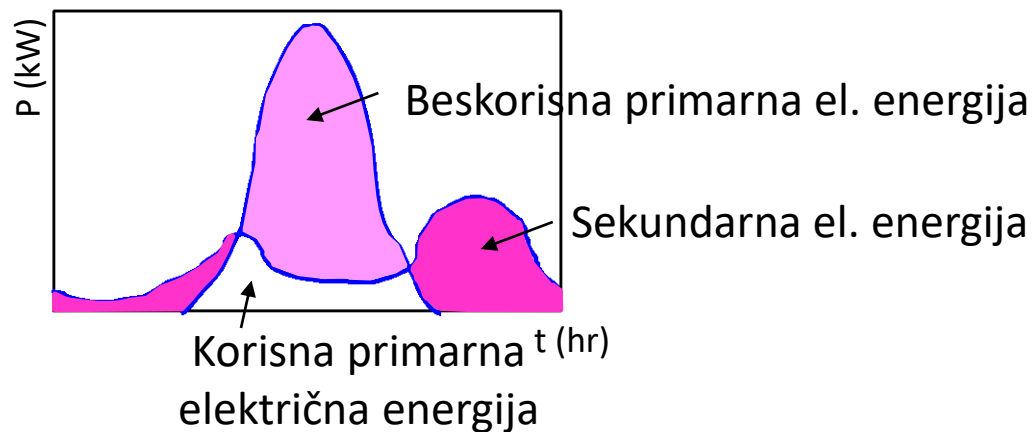


Povećava se vrijednost energije
Eksergija (Exergy)

Nova paradigma u sustavu baziranom na obnovljivim izvorima energije



Povećava se korisnost energije
"Usergija" („Usergy“)



Dodatne mjere vrijednosti

- Novac
- Energija (Emergy)

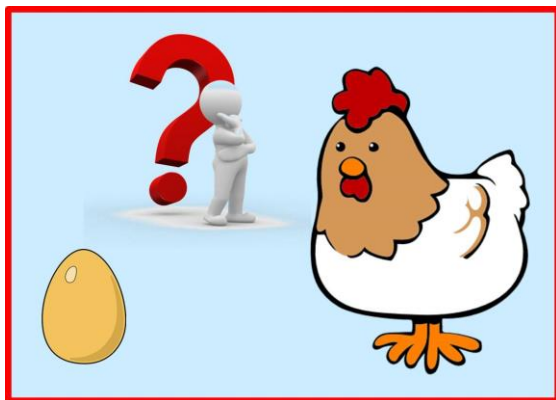
Problemi u tranziciji



- Za samu tranziciju (zasad) ne treba vodik
- Vodik će postati potreban tek onda kad bude viškova električne energije iz obnovljivih izvora energije
- Do tada je potrebno pripremiti infrastrukturu
- Do tada su potrebne potpore za primjenu vodikovih tehnologija



Pitanje infrastrukture – „kokoš ili jaje?”



Nitko neće kupiti automobil na vodik i gorivne članke dok nema punionica vodika u blizini

Nitko neće napraviti punionicu vodika dok nema automobila na vodik na cesti

LIDER ■ informacijama dajemo poslovno značenje

klub izvoznika | studentski lider klub | lider invest | kont

biznis i politika | tvrtke i tržišta | financije | kripto | što i kako | tehno | 1000 najvećih | zeleno i digitalno | život

zeleno i digitalno

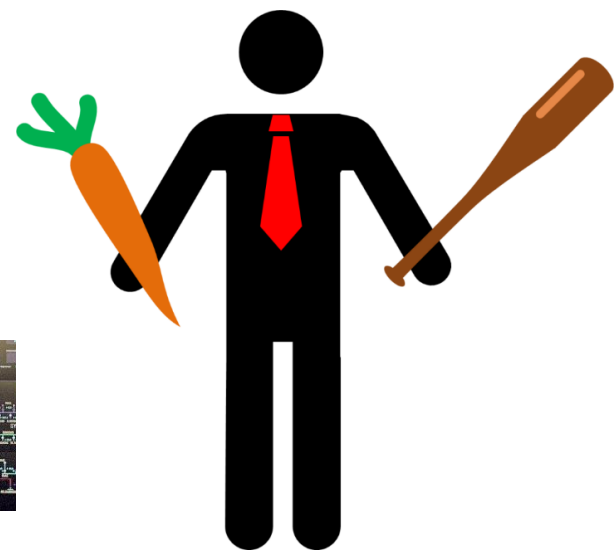
Samo neka se troši: Nemamo automobila na vodik, ali gradimo deset punionica

28. ožujak 2024.



Pitanje troškova/cijene

- Vodik ima smisla samo u kontekstu dekarbonizacije
- Stoga nema smisla uspoređivati cijenu vodika sa cijenom fosilnih goriva
Jedino ima smisla uspoređivati cijene različitih tehnologija/goriva kojima se postiže dekarbonizacija
- Za krajnjeg korisnika cijena je naravno bitna
 - Državne potpore za dekarbonizirajuće tehnologije i goriva (CAPEX/OPEX/Mix)
 - Penalizacija fosilnih goriva / Prestanak potpora fosilnim gorivima / internalizacija svih troškova
 - Kombinacija



Stvarna opasnost ili percepcija opasnosti?



Nesreća Hindenburga (1937)
je zapravo primjer kako vodik
i nije baš tako opasan!
U nesreći je poginulo 13
putnika i 22 člana posade.
Ali 26 putnika i 39 članova
posade je preživelo nesreću!

Sigurnosne karakteristike vodika i njihova usporedba s drugim gorivima

hydrogen fire



gasoline fire



- vjerojatnost curenja ↑
- volumen goriva koje iscuri ↑
- energija goriva koje iscuri ↓
- difuzivitet i uzgon ↑
- donja granica zapaljivosti u zraku ↑
- minimalna energija zapaljenja ↓
- energija zapaljenja na LFL ~
- brzina plamena ↑
- omjer gorivo/zrak na donjoj granici eksplozivnosti ↑
- omjer energije eksplozije i energije pohranjene ↓
- vidljivost plamena ↓
- emisivnost plamena ↓
- toksičnost dimnih plinova ↓
- toksičnost goriva ↓

Legenda

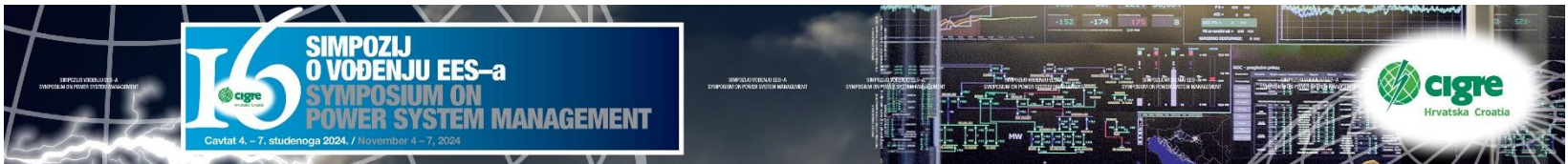
- ↑ Više od drugih goriva
- ~ ~ isto kao druga goriva
- ↓ Manje od drugih goriva

Boje označavanja opasnosti

- potencijalno opasno
- sigurno/sigurnije
- Isto kao druga goriva ili irelevantno

Percepcija i krivo shvaćeni koncepti

- Vodik nije izvor energije
- Vodik se (uglavnom) proizvodi iz fosilnih goriva (prirodni plin)
- Ne postoji infrastruktura vodika
- Nema nade za automobile na vodik – vozila na baterije su puno bolja
- Vrlo je neefikasno proizvoditi vodik i onda iz njega proizvoditi električnu energiju
- Vodik zauzima puno prostora
- Vodik je ekstremno opasan
- Ali ...

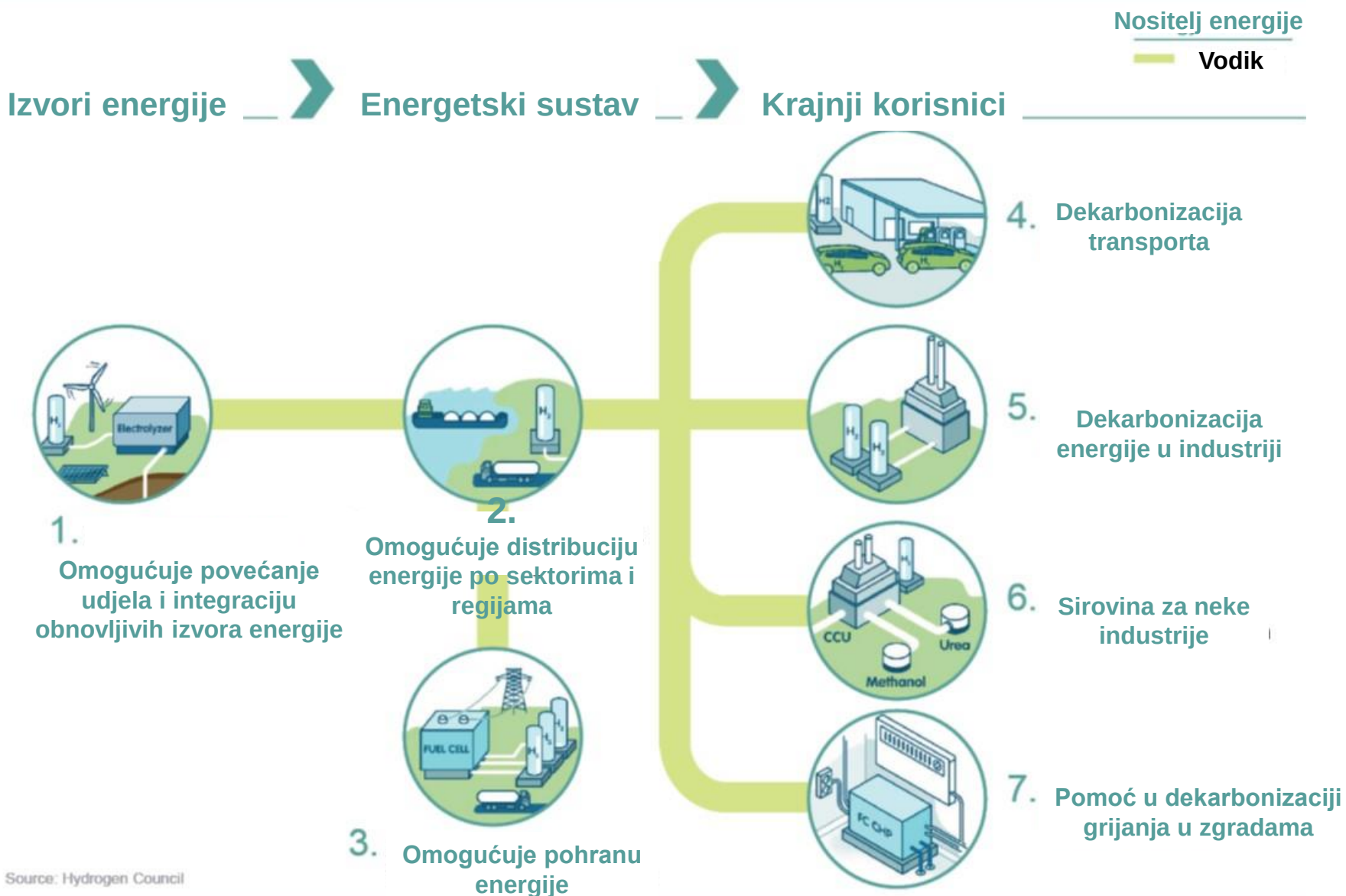


Zaključci

- Vodik nije izvor energije – vodik je nositelj energije
 - Vodik se mora proizvoditi iz obnovljivih izvora energije
 - Treba uspostaviti infrastrukturu vodika
 - I vozila na vodik i baterijska električna vozila će imati svoje tržište
 - Prihvatljivo je proizvoditi električnu energiju iz vodika ako se time povećava usergija (korisnost)
 - Vodik zauzima puno prostora – ali spremnici vodika ipak stanu u vozila
 - Vodik nije opasniji od drugih goriva
 - Stoga će ...
- Vodik imati važnu ulogu u sustavu 100% baziranom na obnovljive izvore energije!**



EU planovi za ulogu vodika u energetskej tranziciji



Hvala na pozornosti

Franjo Barbir

Professor emeritus, FESB, Sveučilište u Splitu

Predsjednik, Hrvatska udruga za vodik

fbarbir@fesb.hr

