



Celice s trdnim elektrolitom – edini način za učinkovito, dolgoročno, shranjevanje ter pretvorbo velikih količin energije

dr. Kostja Makarovič, KEKO – OPREMA, d. o. o.

18. junij 2025, prispevek v sklopu 17. posveta Sekcije za okolje in energijo
pri Gospodarski zbornici Dolenjske in Bele krajine



Equipment and Materials for Multilayer Ceramics

CHOSEN BY LEADING COMPONENT MANUFACTURERS WORLDWIDE

Uvod

- Onesnaženost
- Evropa prva podnebno nevtralna celina
- Zeleni prehod
- Iz 16 % v 2014 na 32 % v 2030
- Potreba po zeleni energiji



Možnosti pridobivanja električne energije?

- Hidro elektrarne in črpalne elektrarne (vpliv na ekosistem, težje umeščanje v prostor)
- Sončne elektrarne (težave z umeščanjem v prostor, težava iz strani krajinske arhitekture, nizek albedo, relativno energetsko potratna proizvodnja, težko reciklirati majhne količine)
- Vetrna energija (težave z umeščanjem v prostor, težave z recikliranjem)
- Jedrske elektrarne (fisijske) (jedrski odpadki, izjemno draga postavitve)
- Hidrotermalne elektrarne (dostopnost)
- Termoelektrarne z biomaso (emisije)

Druge možnosti

- Zmanjšanje potreb po energiji
- Povečanje izkoristka pretvorb energije

Sonce sije, mi pa smo v službi...

Kaj narediti s presežkom energije?



Ena od rešitev...

- Shranjevanje viškov energije (Power to X)
- Učinkovita pretvorba shranjene energije nazaj

Baterije



- Od 1kWh do MWh
- Cena okoli 200 k€/MWh
- Življenjska doba okoli 10 let.
- Izkoristek polnjena in praznjenje okoli 95 %



Elektrolizerji

Različnih dimenzij in načinov delovanja

- Od 1 kW do 500 MW

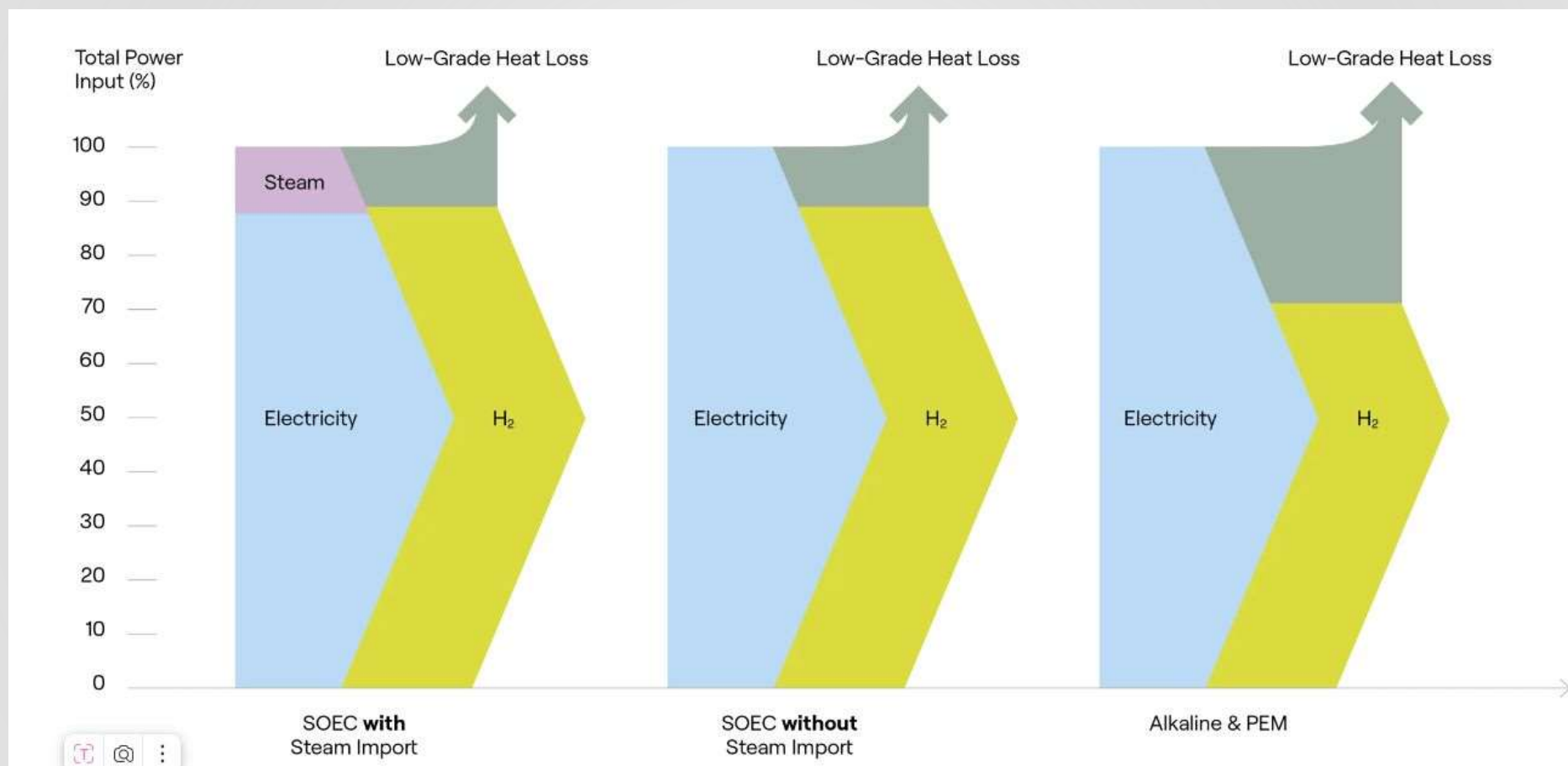
Cena okoli:

- 1M€ za 1 MW alkalni elektrolizer izkoristek cc 70 %
- 3 M€ za 1 MW PEM izkoristek cc 70 %
- 10-100 M€/MW za elektrolizer s trdnim elektrolitom izkoristke cc 90 %

Življenjska doba: 10 let

SOEC z virom pare	SOEC brez vira pare	Alkalni in PEM elektrolizerji
100 %	85 %	70 %

Izkoristki retvorb različnih tipov elektrolizerjev



Iz snovi v električno energijo

	Izkoristek	Prednosti	Izzivi
Motor z notranjim izgorevanjem	20- 40 %	Hiter zagon hiter izklop	Emisije dušikovih oksidov, hrup
Plinske turbine	40-50 %	Počasnejši zagon in izklop	Emisije, hrup, velikost
Gorivne celice (PEM)	Izkoristek okoli 40-50 %	Hiter zagon hiter izklop Nizka temperatura	Potrebuje zelo čist vodik
Gorivne celice s trdnim elektrilitom	Izkoristek okoli 50-70 %	Visok izkoristek, uporaba manj čistih plinov	Zahtevna in draga proizvodnja

Baterije vs. hranilniki vodika

	Baterije	Vodik
Tip hranilnika	Največja baterija hrani ¹ : 3,200 MWh električne energije Oz. cc 48 ton vodika.	Največji hranilnik vodika ² hrani: ~120,000 ton vodika oz. 4,000,000 MWh
Teža	8000 ton baterij	170 ton (vodika)

¹ "Oasis of Power" in California, USA

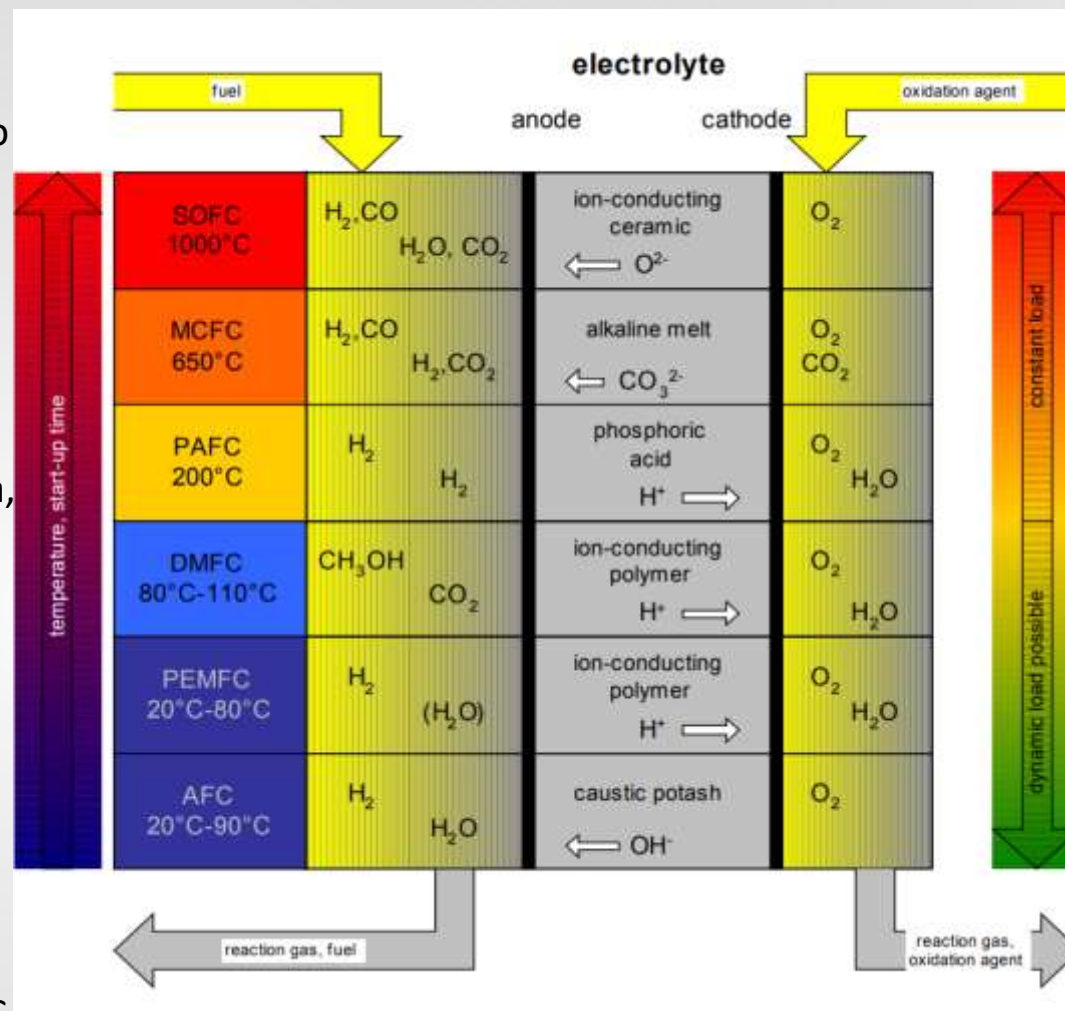
² Clemens Dome (Texas, USA)

Izkoristek skladiščenja ter ponovne uporabe

	Baterije	Alkalni ali PEM elektrolizer in PEM gorivna celica	SOEC in SOFC
Izkoristek “polnjena” skladišča	90 %	70 %	90-100 %
Izkoristek “praznjenja” skladišča	90 %	50 %	70 %
Izkoristek polnjena in praznjena	81 %	35 %	63 % do 70 %

Tipi gorivnih celic

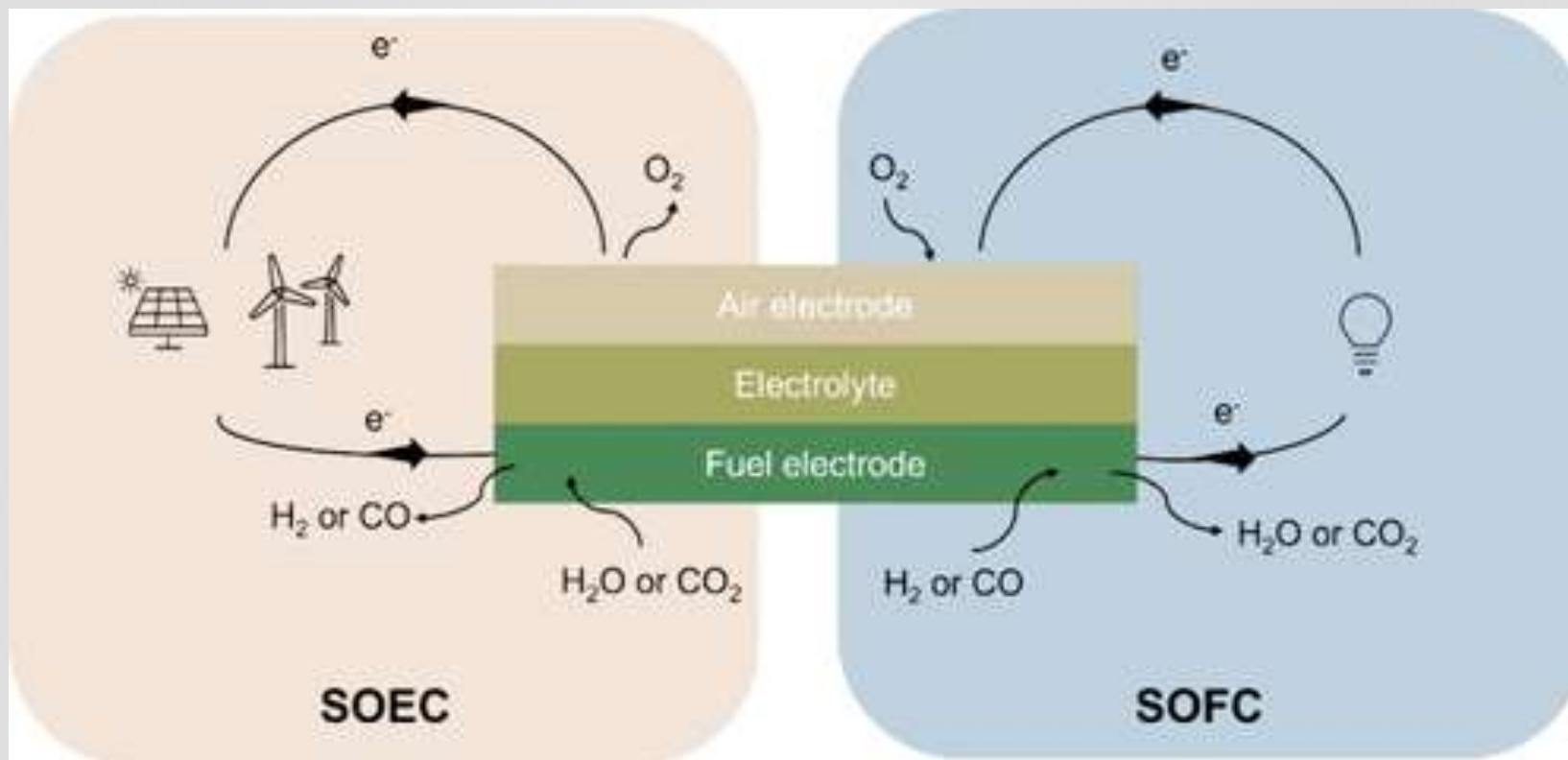
- Gorivne celice so naprave, ki kemijsko energijo pretvorijo direktno v električno energijo.
- Sestavljene so iz treh glavnih elementov:
 - Anoda
 - Elektrolit
 - Katoda
- Gorivne celice ločujemo glede na temperaturo delovanja, kjer poznamo:
 - Visokotemperaturne – HT (high temperature), $>800^{\circ}\text{C}$
 - Gorivna celica s trdnim elektrolitom (SOFC- Solid oxide fuel cell)
 - Gorivna celica iz staljenega karbonata (MCFC- Molten carbonate fuel cell)
 - Neposredna ogljikova gorivna celica (DCFC- Direct carbon fuel cell)
 - Nizkotemperaturne – LT (low temperature), $<800^{\circ}\text{C}$
 - Alkalne gorivna celica (AFC- Alkaline fuel cell)
 - Gorivna celica s trdnim protonskim prevodnikom (SPFC- Solid proton conductor fuel cell)
 - Gorivna celica s fosforno kislino (PAFC- Phosphoric acid fuel cell)



Slika: Vrste gorivnih celic

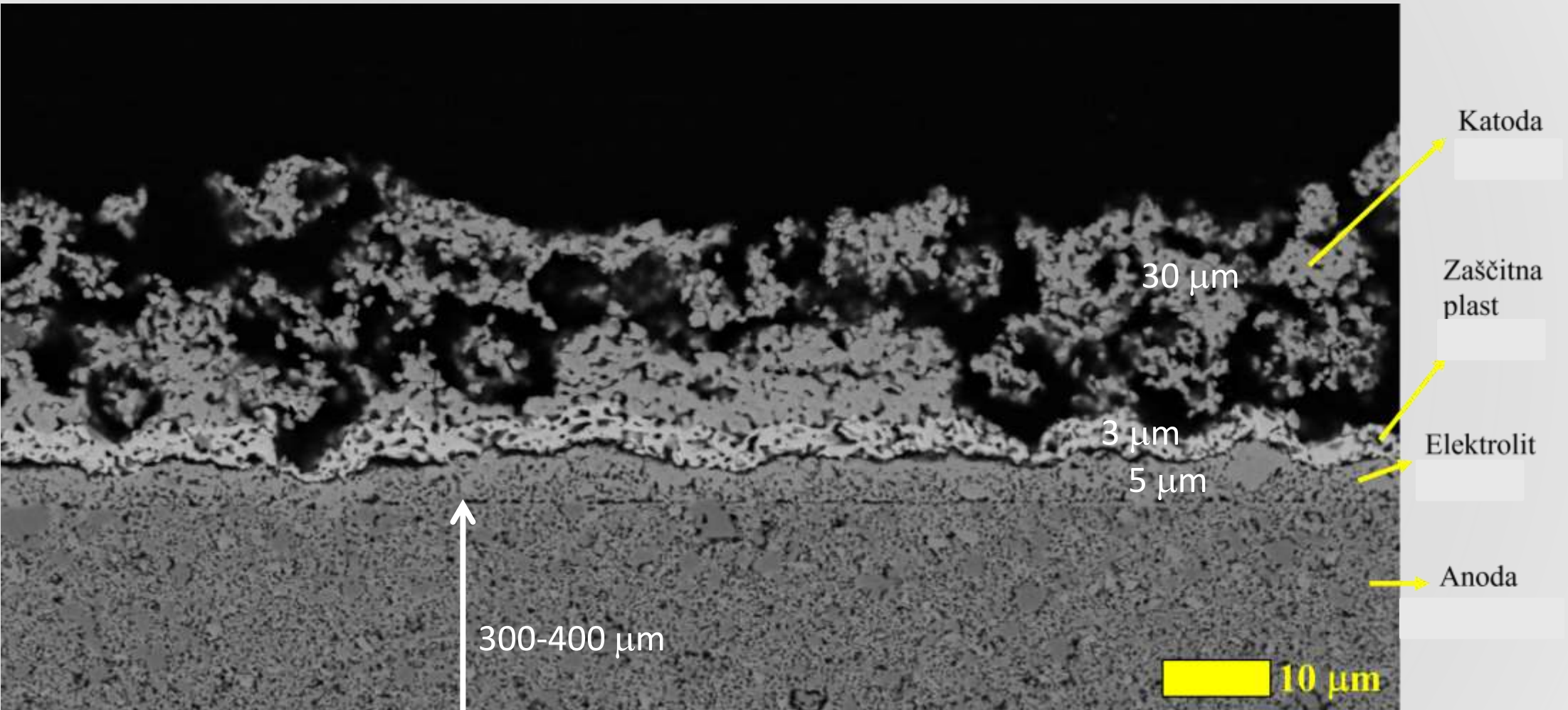
Vir slike: Zhu, B., Raza, R., Fan, L., & Sun, C. (Eds.). (2020). *Solid oxide fuel cells: from electrolyte-based to electrolyte-free devices*. John Wiley & Sons.

Struktura gorivne celice s trdnim elektrolitom omogoča reverzibilni način delovanja

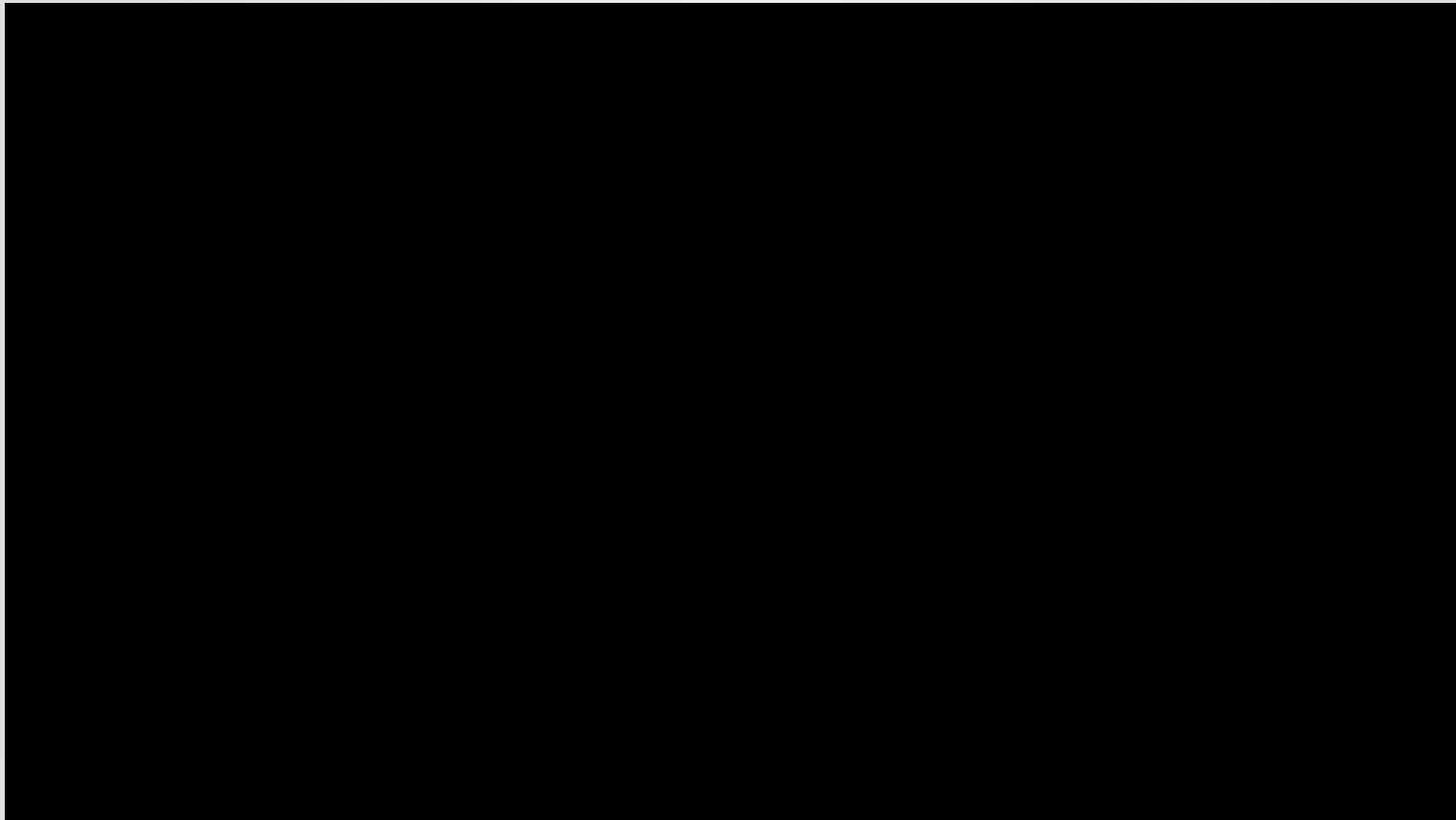


Elektrolitska celica s trdnim elektrolitom Gorivna celica s trdnim elektrolitom

Gorivna celica s trdnim elektrolitom s podporo anode



Kako deluje gorivna celica s trdnim elektrolitom?

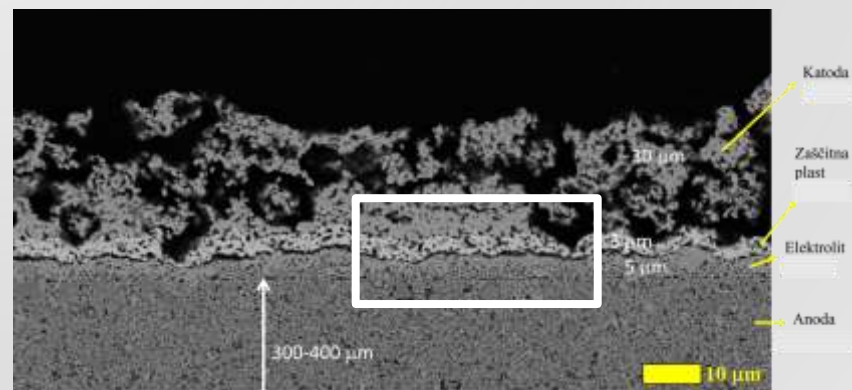
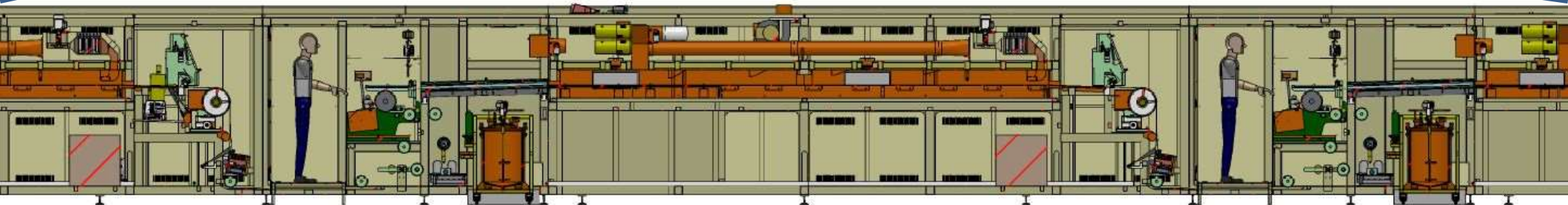


Izdelava 3 plasti z metodo nalivanja preko obstoječe plasti

Teža stroja: 29 ton Priklopna moč: 90 kW Širina plasti: 1100 mm Debelina plasti: 3x 100 μm
Hitrost izdelave plasti: 0,9 m/minuto



38 m



Plast za vodik porozne debele anode

Teža stroja: 37 ton

Priklopna moč: 140 kW

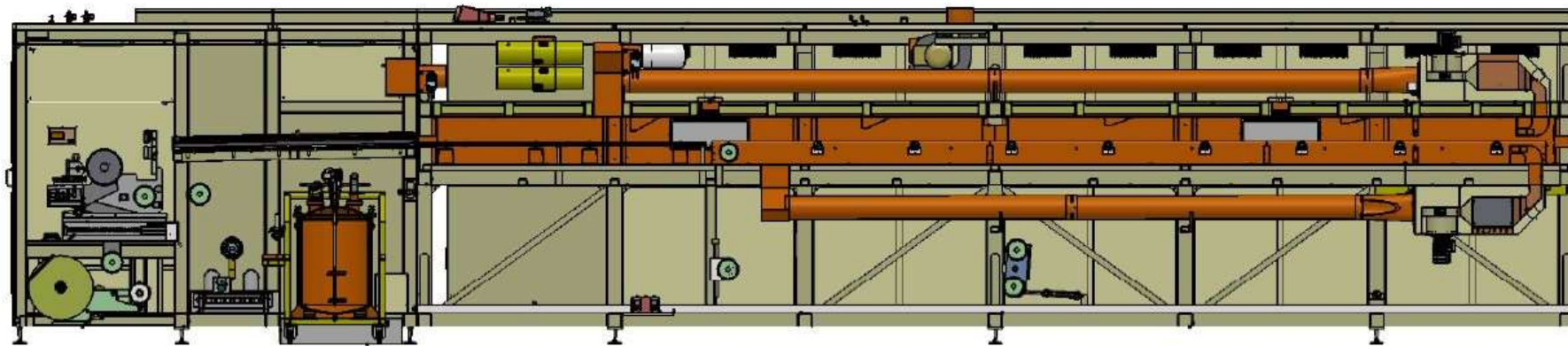
Širina plasti: 1100 mm

Debelina plasti: 460 μm

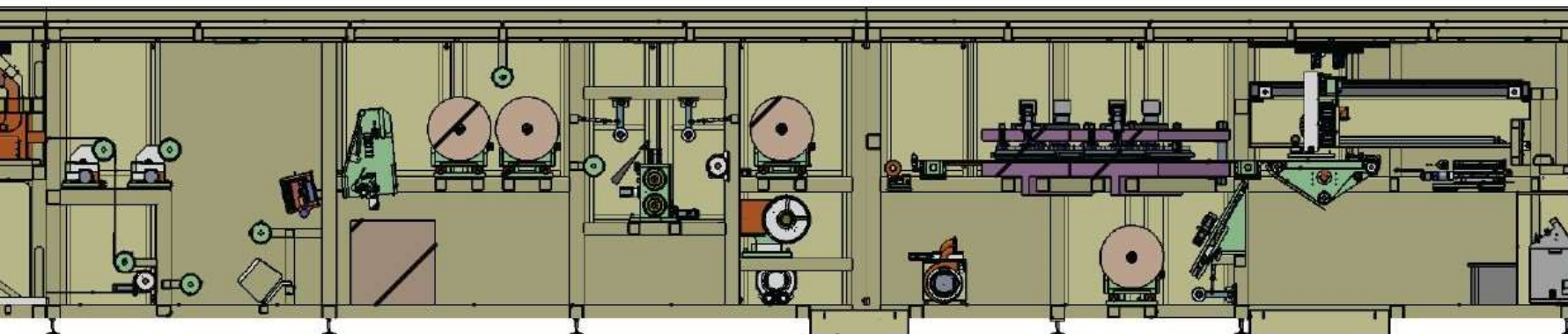
Hitrost izdelave plasti: 0,6 m/minuto



53 m



Nanos suspenzije
na začetku stroja



Združevanje obeh
plasti ter izrez
posameznih celic
med pripravo
plasti

Tiskalniki in sušilniki za tiskanje katode z metodo sitotiska na sintrano celico

