



BOSANSKOHERCEGOVAČKI KOMITET/OGRANAK
MEĐUNARODNOG VIJEĆA ZA VELIKE ELEKTRIČNE SISTEME/SUSTAVE

CHANGE, CHANGE & CHALLENGES ***PROMJENE, PROMJENE I IZAZOVI***

Krešimir Bakič, CIGRE, SLOVENIJA

16. savjetovanje, Neum, 22 - 25.10.2023.

Što su izazovi današnjeg vremena?

A što su problemi?

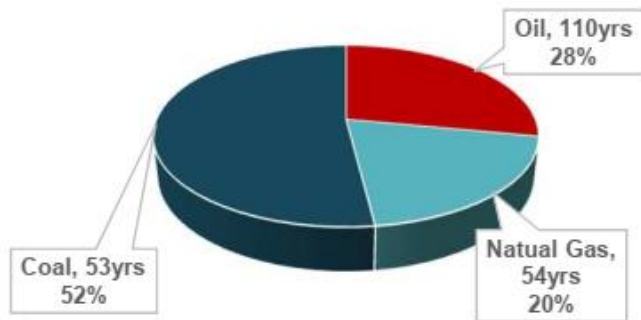
Ograničene rezerve fosilnih goriva. Kako ih iskorištavati bez uticanja na okoliš?

Dekarbonizacija
Digitalizacija
Dinamička regulacija

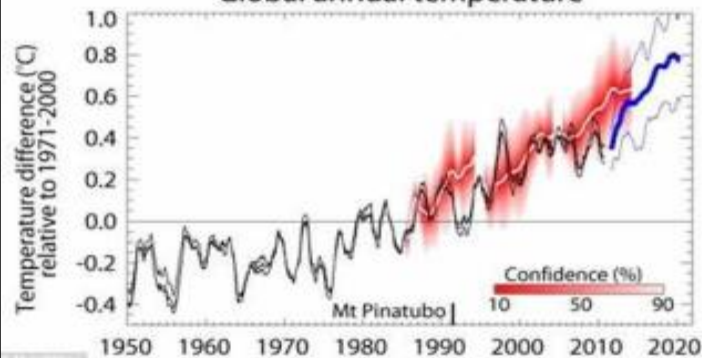
Klimatske promjene

Zagađenja atmosfere

Proven reserve of fossil fuels



Global annual temperature



A što su bili izazovi u prošlosti?

Historia est Magistra Vitae je rekao Marcus Cicero v svojem *De Oratore*. I to se često parafrazira na učenje budočnosti iz lekcija u prošlosti.

„Da bi dobili pravu perspektivu gdje smo i nadu da idemo u pravom smjeru, moramo znati od kuda smo došli“.

Zato je poznavanje historije EES vrlo važno.

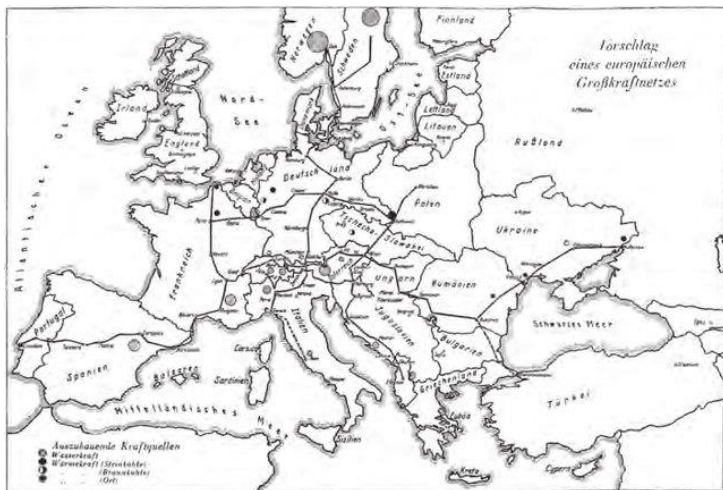
Sve se brzo mijenja! Svaki dan brže. Nove tehnologije i inovacije su ključne karike ubrzanja.

Sve aktivnosti čovječanstva su povezane! Umjetnost-Izobrazba-Zabava-Rekreacija-Hobiji-Reprodukcija-Politika- Sport- Meditacije-Inovacije-Putovanja-Globalizacija-...zato moramo razumjeti da se mijenjaju i kriterijske funkcije ljudske egzistencije.

Iz historije EES

120 godina stalnih promjena i najvećih inženjerskih dostignuća

- 1900.g. je bila svjetska proizvodnja električne energije 12 TWh. Dostupnost elektrike niska a cijena vrlo visoka.
- Prva promjena je bilo prevladavanje izmjeničnog 3f sistema nad istosmjernim sistemom.
- Revolucionarne inovacije izolatora i Al/Če užeta g. **1907**, koja je omogućila gradnju mreže napona preko 100kV te **1911.** inovacija L. Roebelovih namota generatora za limitiranje vrtložnih struja, koji su omogućili gradnju većih jedinica od 20 MVA, te pojeftinjenje proizvodnje el. energije i veću dostupnost.
- Nastanak međunarodne elektrotehničke standardizacije (IEC), njene potpore v CIGRE-u označuje početak interkonekcija među državama, harmonizaciju frekvencije, pojeftinjenje proizvodnje (economy of scale), po 1920. uvođenje riječi **elektro-energetski** (power) te sveobuhvatnog širenja EES.
- Nova promjena je bila odvajanje proizvodnje opreme od proizvodnje el. energije i stvaranje holdinga (**Samuel Insull** – prvi elektro tajkun). Širi se upotreba elektrike: kućanski aparati, industrija...



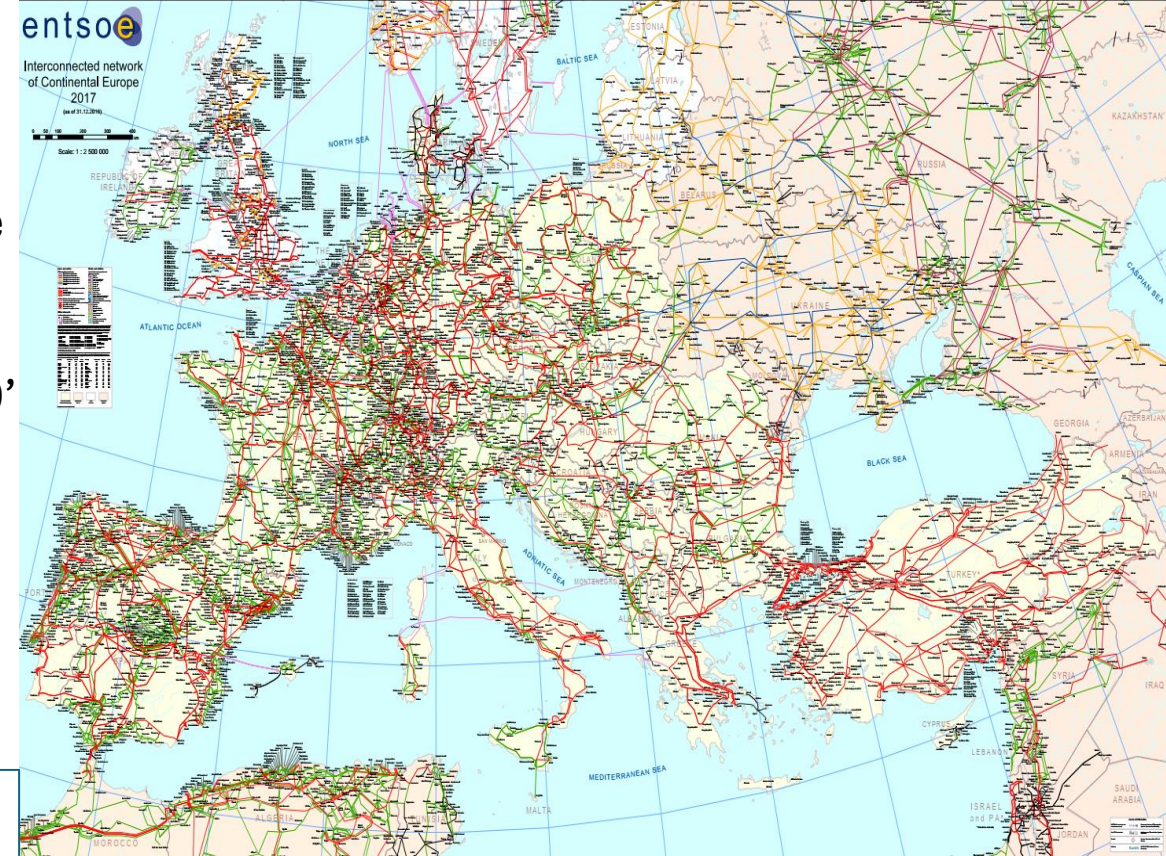
Prvi koncept evropske interkonekcijske mreže

O. Oliven, “Europas Großkraftnetzes”, in Weltkraftkonferenz 1930 Berlin, no. 23, Z. d. Ver. dt. Ingenieure 74, 1930.

Elektroenergetski sistem se razvija uz stalne promjene.

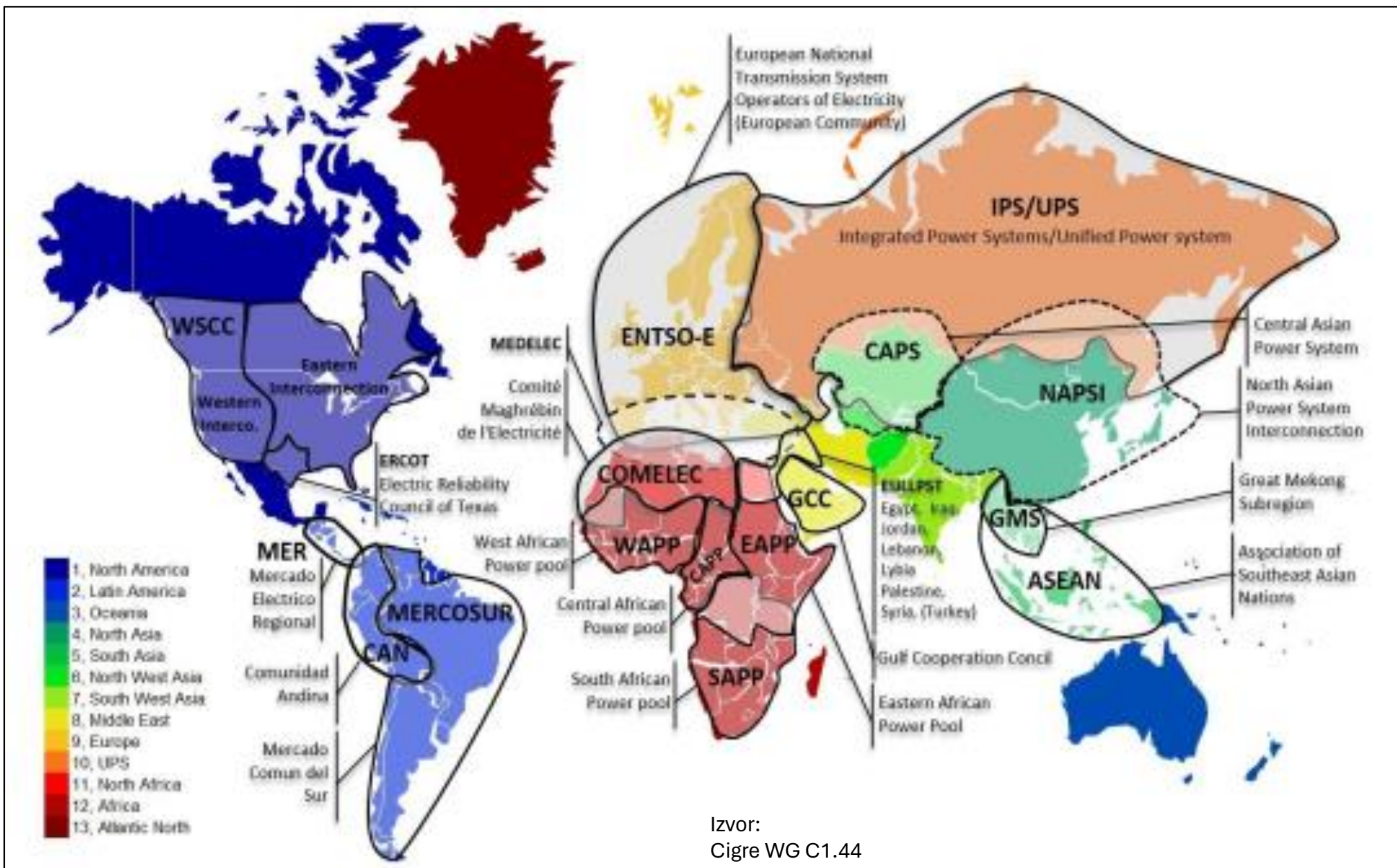
Globalno gledano je prva veća promjena 1935. – donošenje Zakona o javnim gospodarskim društvima (PUHCA) u SAD, koji je dao ovlaštenje za razdruživanje holdinga EES kompanija usluge. Vlasništvo elektroprivreda se stalno mijenja (npr. Engleska 4x nacionalizira te privatizira elektroprivredu). Mi doživljavamo v 80' godinama do kraja stoljeća „**deregulaciju**” **systema koja uvodi tržište i el. energiju razglašava za „robu”**. To dovodi do odvajanja organizacija za proizvodnju i prijenos te uvođenje Regulatora i Trgovaca.

Evropska sinkrona makro interkonekcija **UCPTE** postaje 2000. godine UCTE (bez proizvodnje). Kasnije 2009. pa se organizacijsko poveže sa 5 preostalih manjih interkonekcija u Evropi te se imenuje **ENTSO-E** – jedinstveni evropski operateri prijenosnih mreža.



ENTSO-E /povezani elektroenergetski sistemi

Regijski interkonekcijski sistemi po svijetu danas



The Engineered Century

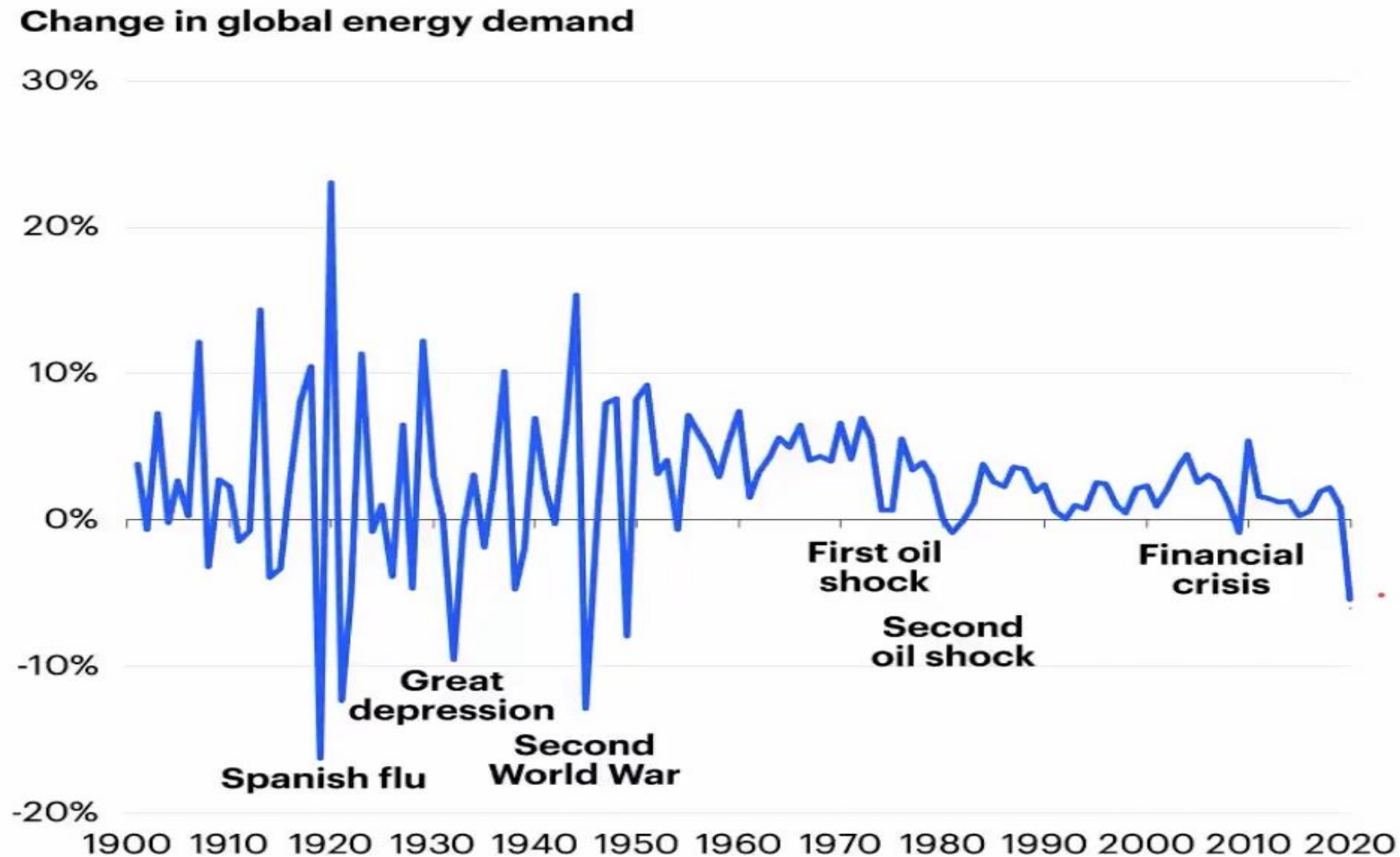
Neil A. Armstrong

National Press Club – **Američka Nacionalna inženjerska akademija**

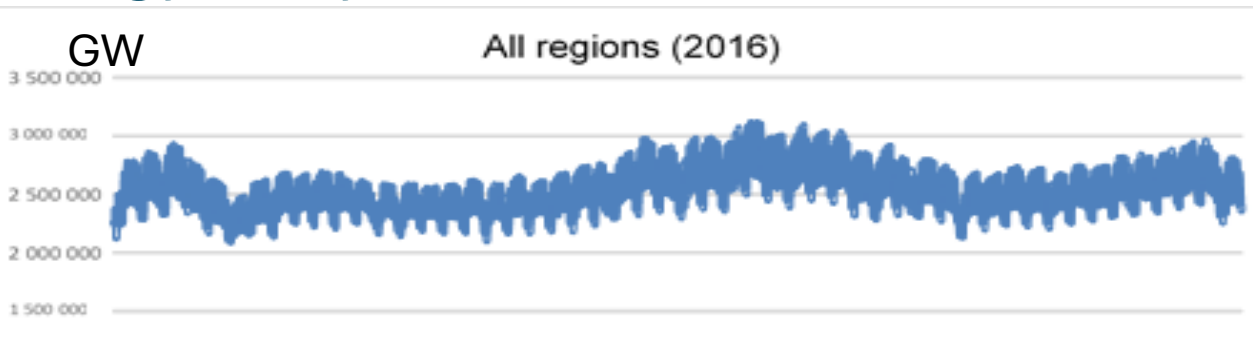
February 22, 2000

1	ELEKTRIFIKACIJA	11	AUTOCESTE
2	AUTOMOBIL	12	SVEMIRSKI LETOVI
3	AVION	13	INTERNET
4	ČIŠČENJE I OSKRBA VODOM	14	SLIKOVNE TEHNOLOGIJE
5	ELEKTRONIKA	15	KUČANSKI APARATI
6	TELEVIZIJA	16	TEHNOLOGIJE U MEDECINI
7	STROJEVI ZA POLJOPRIVREDU	17	NAFTA I PETROKEMIJA
8	KOMPJUTER	18	LESER I OPTIČNA VLAKNA
9	TELEFON	19	NUKLEARNA TEHNOLOGIJA
10	KLIMATIZACIJA I HLAĐENJE	20	NOVI MATERIJALI

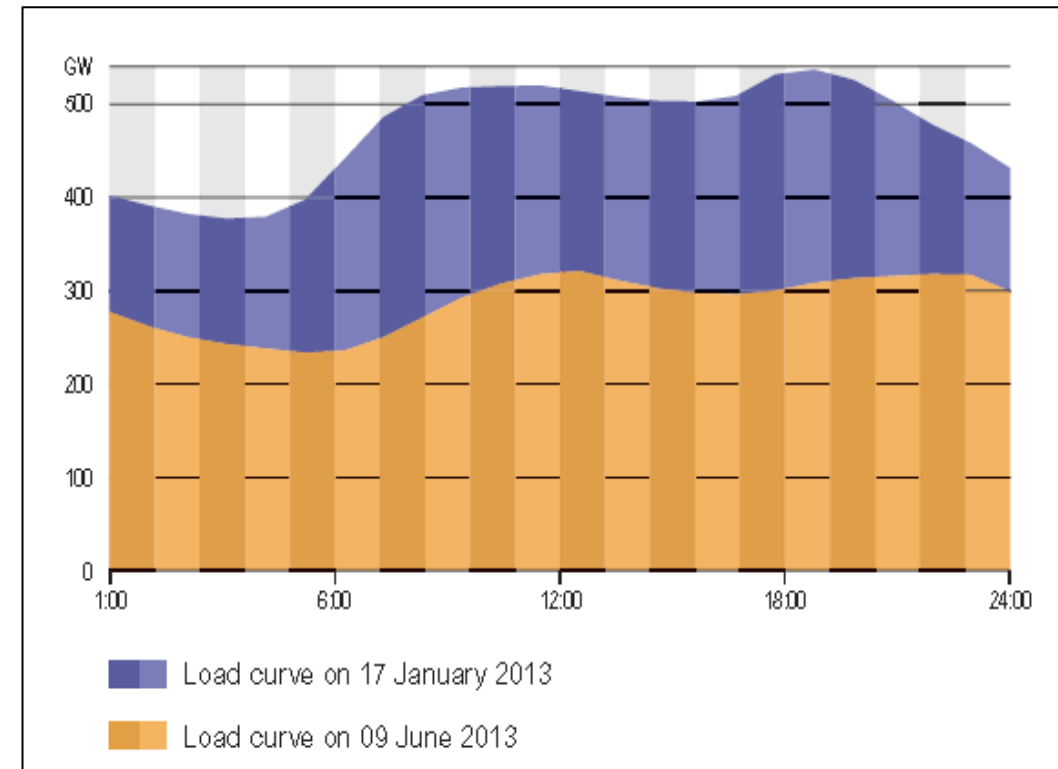
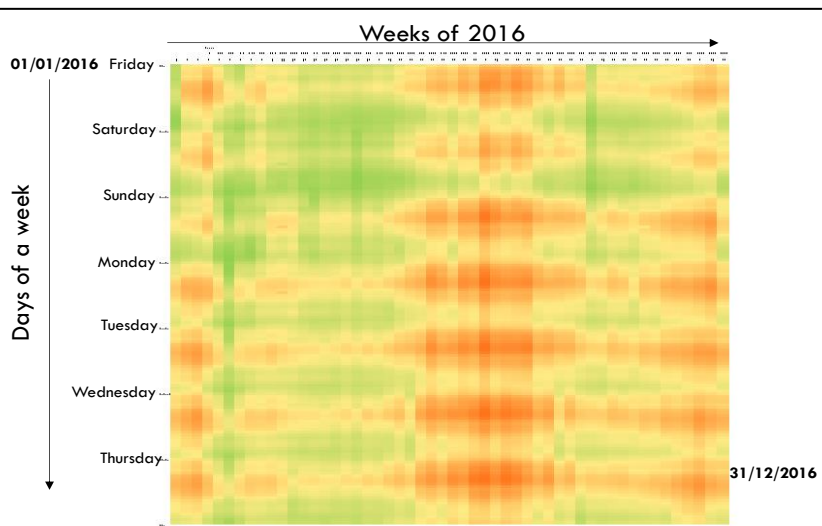
Kako su se mijenjale potrebe po energiji kroz period 120 godina i kroz sve krize u to doba



Analiza dnevnih diagrama potrošnje električne energije Zemlje



Svjetsko vršno opterećenje izmjereno na stvarnim podacima za 2016 godinu je bilo oko **3500 GW** uz instaliranu snagu 6500 GW. Pošto su „load faktori“ obnovljivih izvora mnogo niži od tradicionalnih izvora, bit će ta razlika u budućnosti mnogo veća.

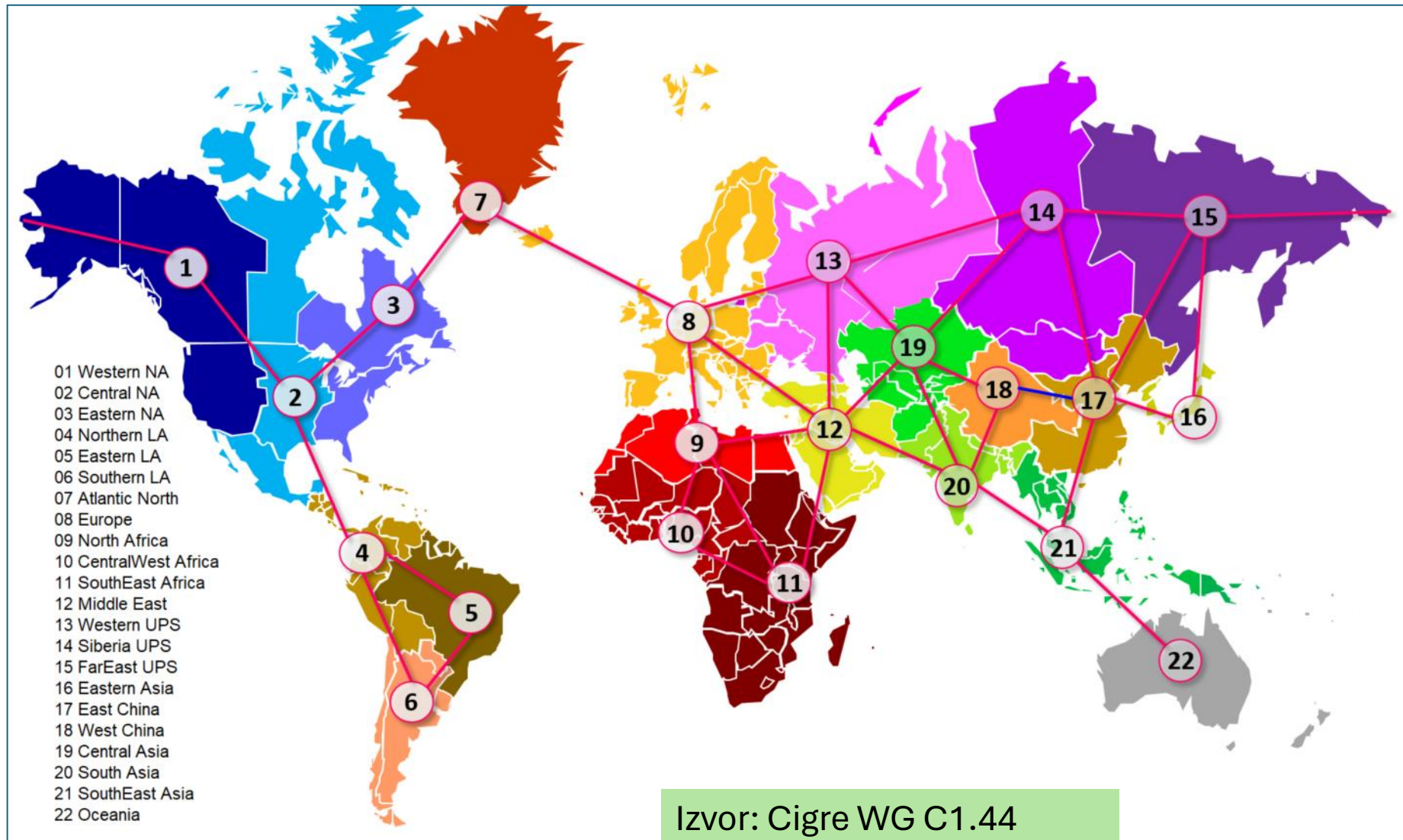


Primjer dnevnog dijagrama Evrope za zimu i ljeto

Simulacija po danima i tjednima opterećenja svijeta po regijama za optimizacijski program Plexos.

CIGRE radna grupa C1.44 je analizirala mogućnosti povezivanja postojećih interkonekcija do 2050 i utjecaj na troškovnu cijenu MWh te utjecaj na emisije CO₂.

Studija CIGRE (WG C1.44) iz 2021. godine



PLEXOS je fleksibilno simulacijsko oruđe koje omogućava široki opseg simulacija višeslojnog trga el. energije. Omogućava multi-kriterijske optimizacije modela mreža i izvora (elektrika, plin, voda, obnovljivi izvori...).

Simulacija globalnog EES te utjecaj na MWh za 2020. godinu

Struktura proizvodnih izvora na svijetu danas		
TE (Ugljen)	46 %	60% fosilna goriva
TE (Tekuća goriva)	6 %	
TE (Plinski CCGT)	7 %	
TE (Plinski OCGT)	1 %	
HE (Protočne)	9%	27% obnovljivi izvori + 13% NE
HE (Akumulacijske)	13%	
VE (Vjetar)	4%	
SE (Sunce)	1%	
NE (Nuklearke)	13%	

- **Bez uzimanja u obzir rezanja špica opterećenja (DR), i troškova za CO₂ emisije.**

- **Skladištenje je uzeto:
Pumpne HE 0,1% i bez baterija**

CCGT... Combined Cycle Gas Turbines
OCGT... Open cycle gas turbine

Cjelokupna proizvodnja električne energije je bila **25 005 TWh**.

Instalirana snaga elektrana: **6 597 GW** i **126 GW PHE**.

Specifična troškovna cijena električne energije je izračunata: **72,6 €/MWh**
&
CO₂ emisije **13 427 Mt/leto**.

Simulacija globalnog EES u godini 2050

Bez novih interkonekcij između kontinenata

Struktura izvora		
TE (ugljen sa CCS)	3%	23% fosilna goriva sa CCS
TE (plinske CCGT sa CCS)	19%	
TE (plinske OCGT)	1%	
NE (nuklearne elektrane)	18%	59% obnovljivi izvori
HE (protočne)	7%	
HE (akumulacijske)	10%	
VE (vjetرو elektrane)	26%	
SE (solarne)	14%	

**Udio nefosilnih goriva bi bio 78%.
Bez uzimanja u obzir Demand Response i bez novih elemenata skladištenja energije.
Ali troškovi za emisije CO₂ se obračunavaju.**

Tako bi bio na svjetskoj razini opseg VE=4301 GW za što bi trebali površinu 430.000 km².

Za solarne je predviđena instalirana snaga 4271 GW što bi obuhvatilo teren od 43.000 km²

Skupa bi to bilo oko 0,3% kopnena dijela našega planeta.

Takva struktura izvora bi dala prosječnu troškovnu cijenu od **50,6 €/MWh** i emisije CO₂ od samo **649 Mt/godinu**.

Idealna pod-varijanta „bakrena ploča“ – neograničene veze među postojećih interkonekcija bi snizile specifične troškove za el. energiju na 39 €/MWh. Pri tom bi bile emisije CO₂ 78 Mt/godinu.

Što se iz tog primjera možemo naučiti?

VIŠE obnovljivih izvora u sistemu – proizvodna cijena električne energije niža.

VIŠE interkonekcija među sistemima – proizvodna cijena električne energije niža.

NAPOMENA: pri tome se nisu računali troškovi potreba po internim mrežama unutar pojedine interkonekcije.

Na realnu cijenu el. energije utječu politike trgovanja i u zadnje vrijeme velike špekulacije trgovaca i drugih igrača jer električna energije nije prava „roba” u smislu burznog trgovanja (manjka Stock pri Stock Exchange).

**UTJECAJ GLOBALNE
MREŽE SVIJETA NA
DEKARBONIZACIJU**



ALTERNATIVE RAZVOJA:

- 1. Samo RES + Smart Grid + Storages ... zahtijeva velike investicije za internu dogradnju električne mreže.**
- 2. RES + NE + Smart Grid + Storages ... zahtijeva mnogo manje investicije za dogradnju interne električne mreže.**
- 3. Samo RES + Smart Grid + Storages + Global network je optimalno rješenje ali ima određene geopolitične i druge rizike. Za planet je to vjerojatno optimalno.**

Novi razvoj ne-fosilnog elektroenergetskog sistema će se zasnivati na prilagođavanju potrošnje proizvodnji, što je obratno od današnjega stanja.



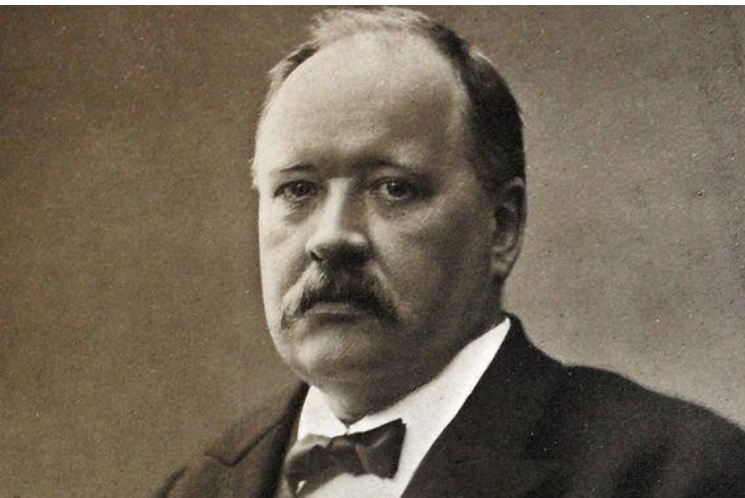
Globalno zagrijavanje

***Eunce Newton Foote** (1818-1888) je prva osoba koja je objavila dokaz apsorpcije toplote ugljičnog dioksida (CO_2) te tako otkrila efekt stakleničkih plinova u zraku, 1856 godine.*



Istraživači globalnog zagrijavanja

1. - Joseph Fourier (1768-1830)
2. - Claude Pouillet (1790-1868)
3. - **Mrs. Eunice Newton Foote (1818-1888)...** 2010. otkrivena
4. - John Tyndall (1820-1893)
5. - Svante Arrhenius (1859-1927)- Nobelova nagrada 1903.

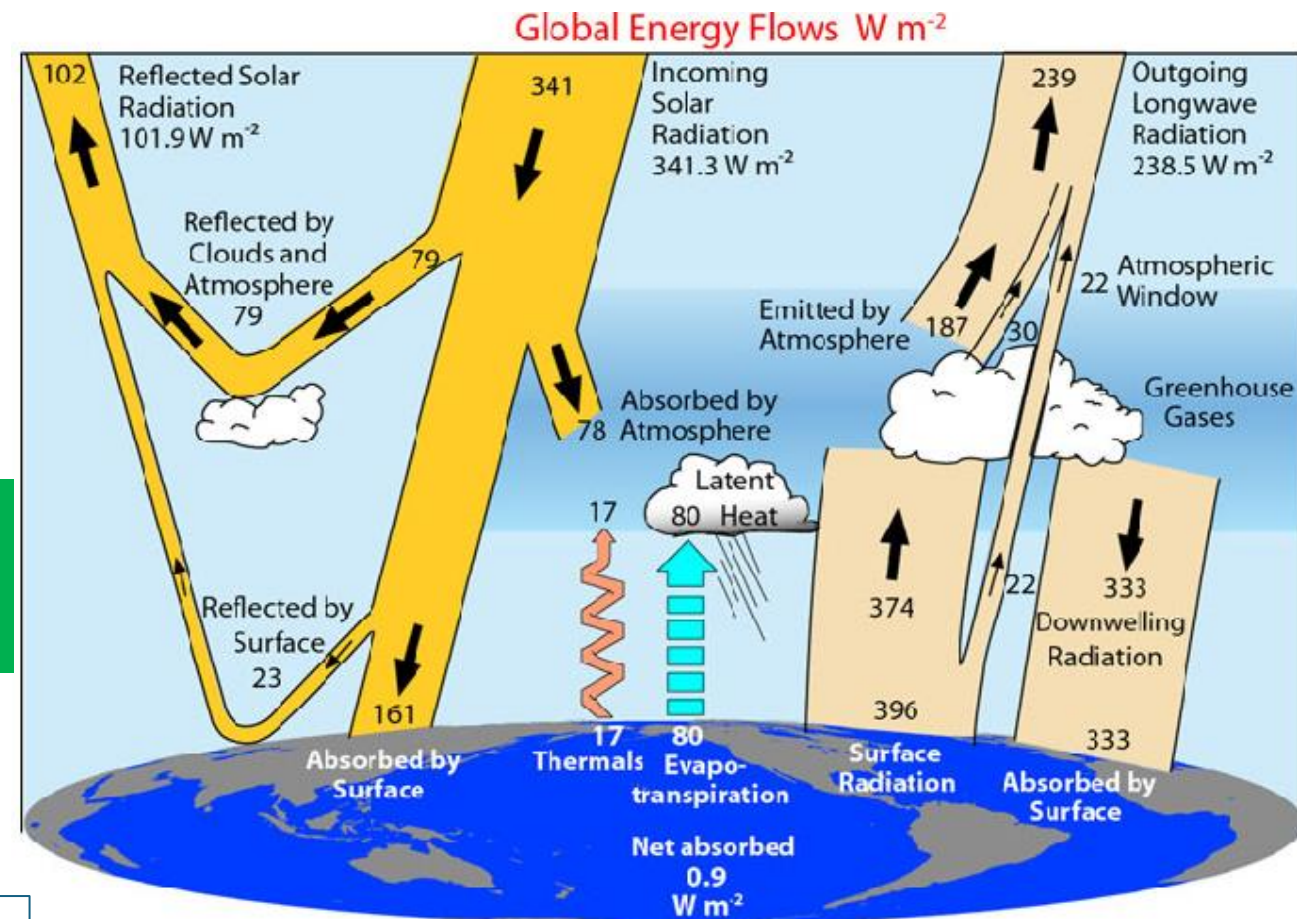


Prof. Svante Arrhenius (Švedska)

Efekt staklenika
Zemlje je imao majku
a ne oca.

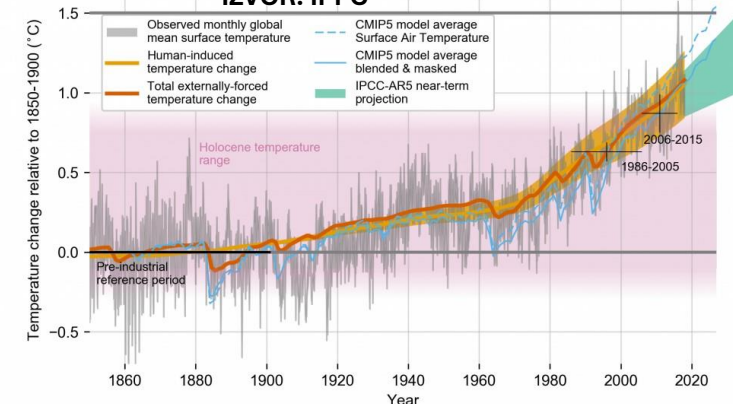
Arrhenius je bio prvi koji je računao utjecaj CO₂ na temperaturu površine Zemlje (1908. godine).

1903. Nobelova nagrada za kemiju – za teoriju elektrolize.



Utjecaj čovjeka na globalno zagrijavanje

IZVOR: IPPC



Atmospheric Carbon Dioxide
Measured at Mauna Loa, Hawaii

Carbon dioxide concentration (ppmv)



Data source: noaa.gov (data snapshot year=2021 month=09)

Utjecaj klimatskih promjena na električnu nadzemnu mrežu (CIGRE-B2)

IMPACT	2030	2070
Jaki vjetar: intenzitet i učestalost	5-10% povećanje	10-20% povećanje
Ledena kiša, ledene oluje	Manja učestalost ali veći intenzitet / debljina leda	
Povećanje prosječne temperature zraka	0.6-1.0 °C	1.0-2.5 °C
Poplave	Sve češće	Znatno češće
Temperature nad 35°C	100% više	200% više
Nečistoče izolacije	Više	Znatno više
Požari u prirodi	10-20% više	20-70% više

VODIK – dali je to dobro rješenje za budućnost?

Vodik nije prisutan na Zemlji iako predstavlja preko 70% njenog sastava. Prisutan je u vodi i organskim sastavinama. Može se proizvesti na razne načine koji zahtijevaju potrošnju energije – zato to nije izvor goriva nego energetski „vektor“.

H₂ je u tekućem stanju kod temp. -253 st.C. Energ. gustoća : 1kg H₂= 33,2 kWh.
Volumen rezervoara H₂ je u plinskom stanju znatno veći od metana (prirodni plin).
Pretvorba u tekuće stanje potroši 1/3 energije i transport ima dodatnu potrošnju za održavanje -253 st.C kao i određenu količinu isparavanja. Proizvodnja zelenog H₂ je trenutno preskupa.

Po IEA je bila g. 1990 potrošnja H₂ oko 50 Mt. Godine 2018 je bila 110 Mt (ili 3656 TWh).
Za 2050 godinu je više scenarija:

- IRENA... 29 ExaJoule (8060 TWh) ili **2x sadašnja proizvodnja**
- Hydrogen Council: 21900 TWh ili **5,5X sadašnja potrošnja.**

Za 2050 se prognozira potrošnja H₂ po državama: Nemačka 110-380TWh/g.; UK 270 TWh/g; FR 41 TWh/g.
Proizvodnja na izlazu iz elektrolizerja za **zeleni H₂** se ocjenjuje na **7-8 €/kg** što je ca. 230 €/MWh.

Budućnost vodika je u njegovoj upotrebi za transport (veliki kamioni) i industriji (proizvodnja čelika, cementa, kemija, i druge.

IZAZOVI MODERNIH EES?

1. Prilagođavanje klimatskim promjenama

- a. Poboljšanje otpornosti (resiliency) el. mreža ...inovacije
- b. Dekarbonizacija svega (elementa sistema, razvoj, gradnja, djelovanje sistema)...inovacije
- c. Vremenski monitoringi sa predikcijama posebno za EES...inovacije

2. Napredak v radu moderniziranih električnih mreža

- a. Automatizacija, digitalizacija, inteligentna zaštita, novosti kod upravljanja sistema (sada sistem radi tako, da se proizvodnja elektrike prilagođava potrošnji dok će u budućnosti to biti obratno)...potrebne su inovacije
- b. Novi modeli energetske spremišta (storages), koji su važni kod postizanja fleksibilnosti rada sistema...inovacije.

3. Nastavak elektrifikacije društva, posebno prometa

- a. Gradnja „smart“ kuća, sela, gradova / Gradnja punionica za promet: ekstremno brzih; bežične punionice
- b. V2G...suradnja e-vozila sa sistemom (lokalno, u regiji)
- c. V2X... suradnja e-vozila sa svima (svima kojima treba struja)
- d. Elektrifikacija industrije i uključenje vodika/amonijaka v procese energetskog snabdijevanja v industriji.

4. U mrežama (T&D)

- a) nove metode modeliranja, senzori svugdje, analize velikog broja podataka,

5. Potrebni su novi modeli regulacije elektro sistema

- a) Naknade za upotrebu mreža moraju biti čim bolje usmjerene na stvarne potrošače infrastrukture (npr. primjena blockchain tehnologije ili umjetne inteligencije)...ne-tehničke i tehničke inovacije

ZAKLJUČCI

1. **Globalno zagrijavanje zahtijeva prilagođavanje i dekarbonizaciju EES. Otpornost (resiliency) je danas glavna tema EES.**
2. **Dekarbonizacija će potpuno promijeniti EES koji će kroz 20-30 godina funkcionirati tako da će se opterećenja prilagođavati proizvodnji. Zato će fleksibilnosti igrati vrlo važnu ulogu. Isto tako će se promijeniti model djelovanja pumpno-reverzibilnih elektrana, koje još uvijek imaju najvažniju ulogu fleksibilnosti u sistemu. Nove vrste skladištenja energije će imati najbržu rast i raznovrsnost inovacija.**
3. **Digitalizacija postaje nužni proces za veću učinkovitost promjene sistema. Elektrifikacija svega će se nastaviti i električna će postati glavni energetska izvor.**
4. **U državama sa većim udjelom Obnovljivih izvora sa dobrom organizacijom sistema bit će jeftinija struja nego u sistemima sa tradicionalnim izvorima. Suradnja među državama sjevera i juga nikad nije bila potrebnija nego danas i u predstojećem razdoblju novog EES.**
5. **Globalno zagrijavanje je rješivo samo globalno i ne lokalno, što je logično ali još uvijek nekim nedovoljno razumljivo.**
6. **Kriterijske funkcije koristi čovječanstva se mijenjaju. Zato je potrebna mudrost.**



HVALA

**Naš uspjeh u radu i društvu je u glavnom ovisan od naše
prilagodljivosti i stvaranju inovacija.**