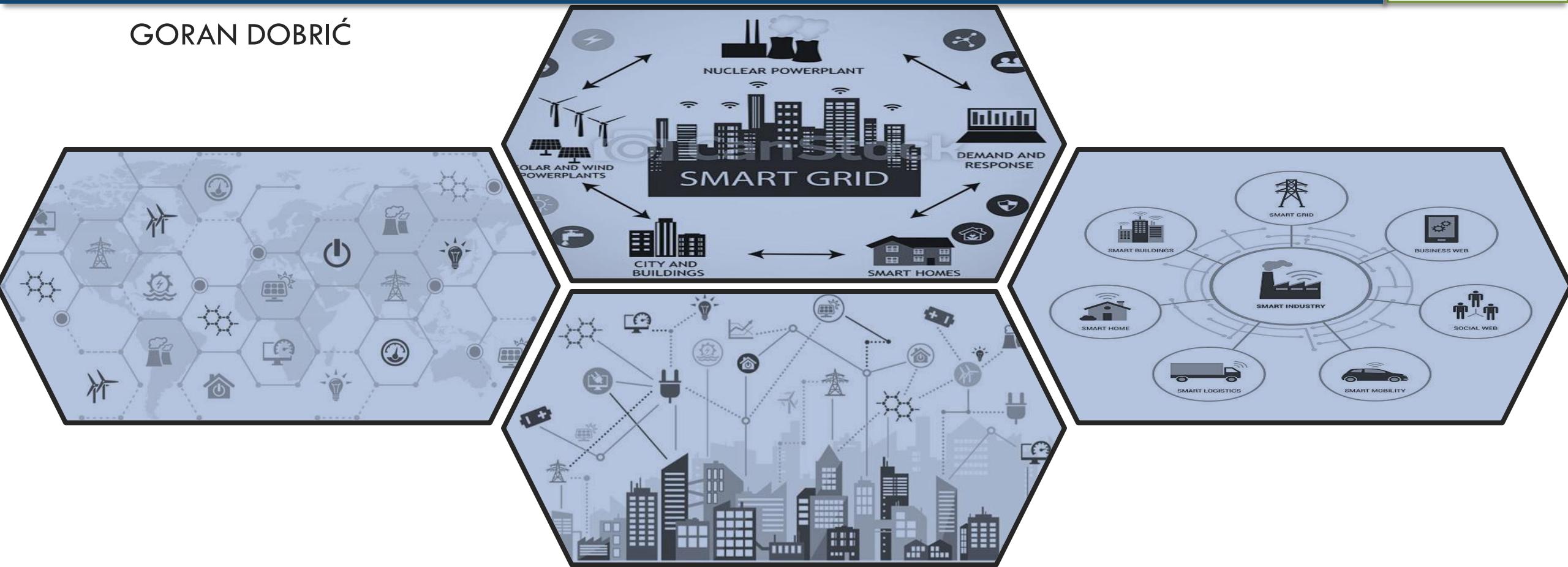


INTELIGENTNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE

GORAN DOBRIĆ

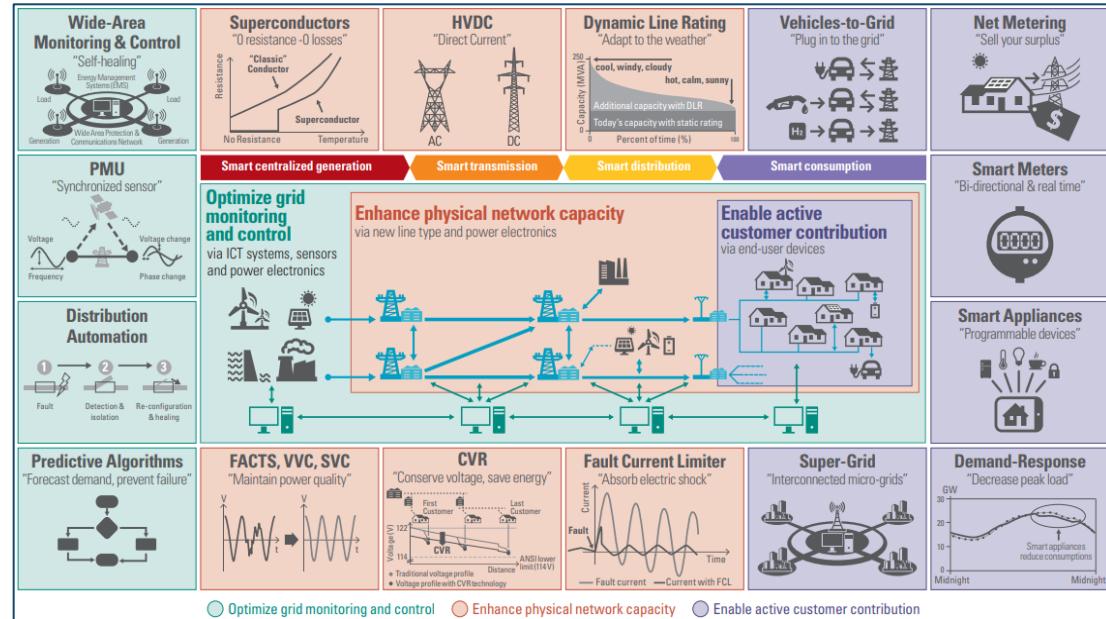


ETF
BEOGRAD

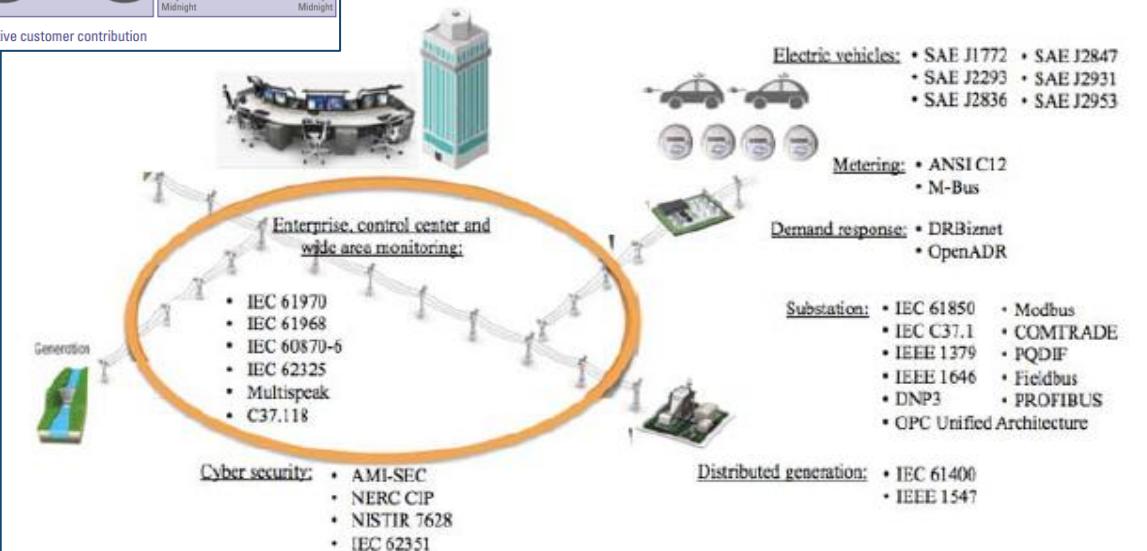


Sadržaj predmeta

- Intelligentne mreže (IEM) – Smart Grid (SG)
- Osnovni alati u IEM
- Distribuirani resursi
- Uloga potrošača u IEM
- Merne strukture u IEM
- Komunikacija u IEM
- Sigurnost i bezbednost IEM
- Ekonomija i tržište u IEM
- Intelligentne mikromreže



• Standardi u IEM



EES će se susretati sa 4 glavna izazova u narednim decenijama

Povećanje potrošnje

- U razvijenim zemljama dolazi do povećanja potrošnje energije što zahteva proširenje kapaciteta mreže
- Povećanje vršne snage dodatno opterećuje elemente mreže



Ostarela infrastruktura

- Gubici električne energije opterećuju ekonomiju zemlje
- Smanjenje pouzdanosti EES-a



Povećanje udela OIE

- Velika varijacija proizvodnje zahteva fleksibilnu rezervu
- Udaljenost velikih elektrana (OIE) od potrošačkih centara

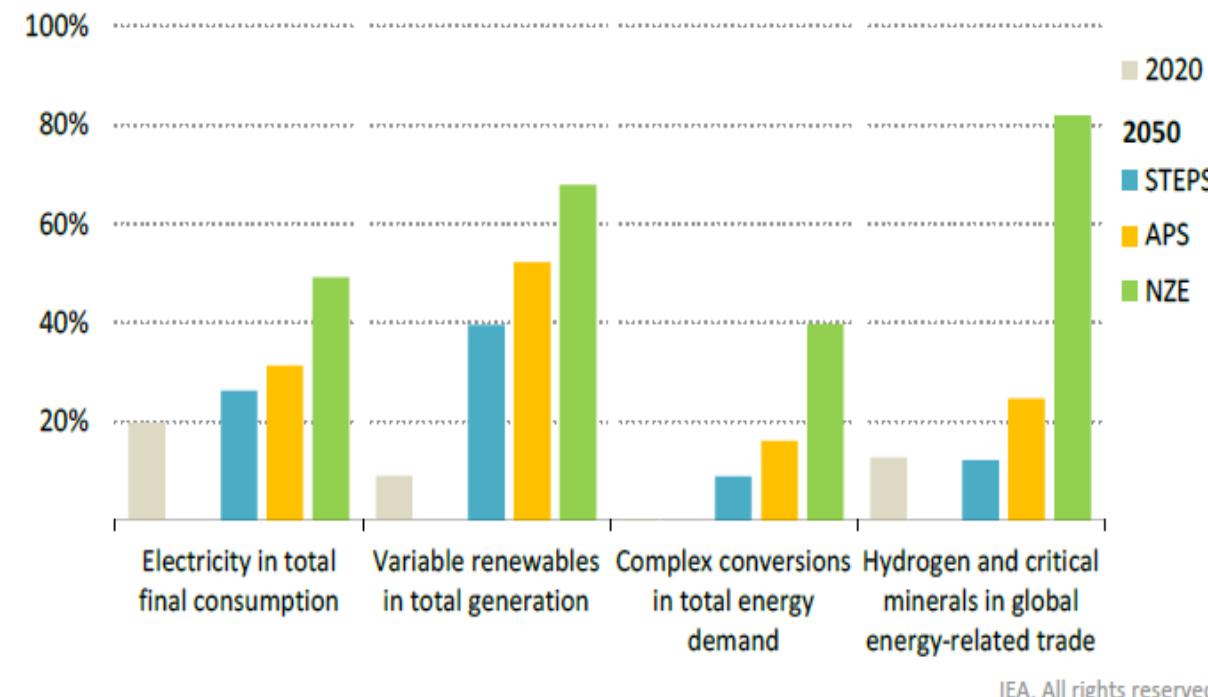


Povećanje udela DG i EV

- Kvalitet električne energije i dvosmerni tok snage
- Nekontrolisano punjenje električnih automobila

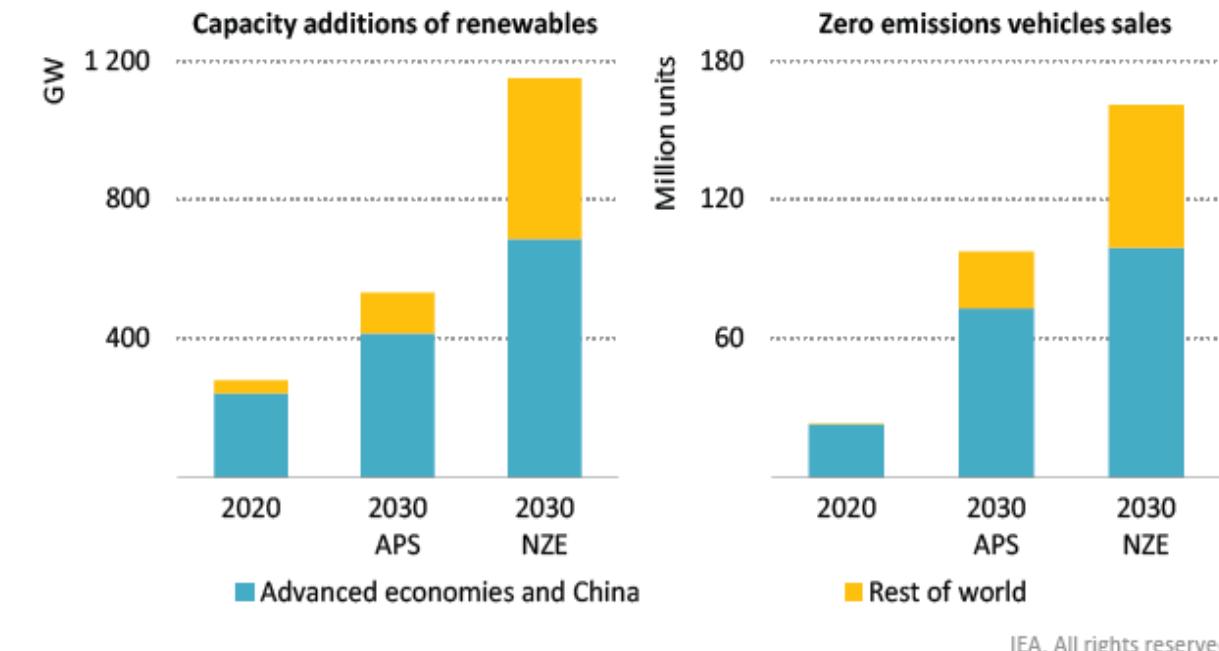


Ključni indikatori promene energetskog sistema



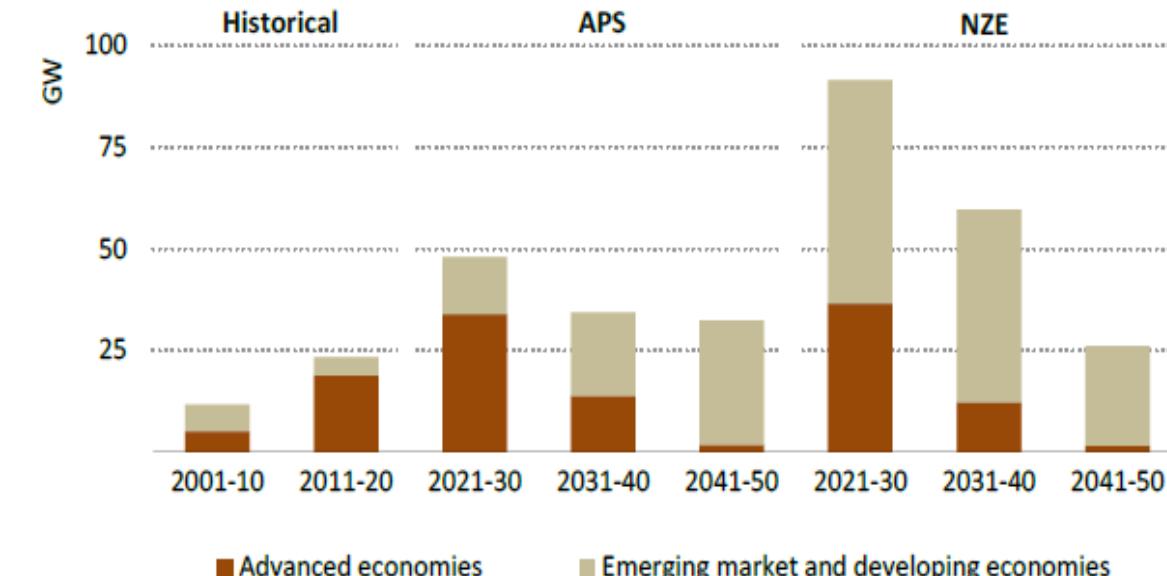
Procenjuje se da će do 2050 udeo električne energije iznositi 30% - 50% ukupne potrošnje energije u svetu.

Izabrani indikatori zelene elektrifikacije



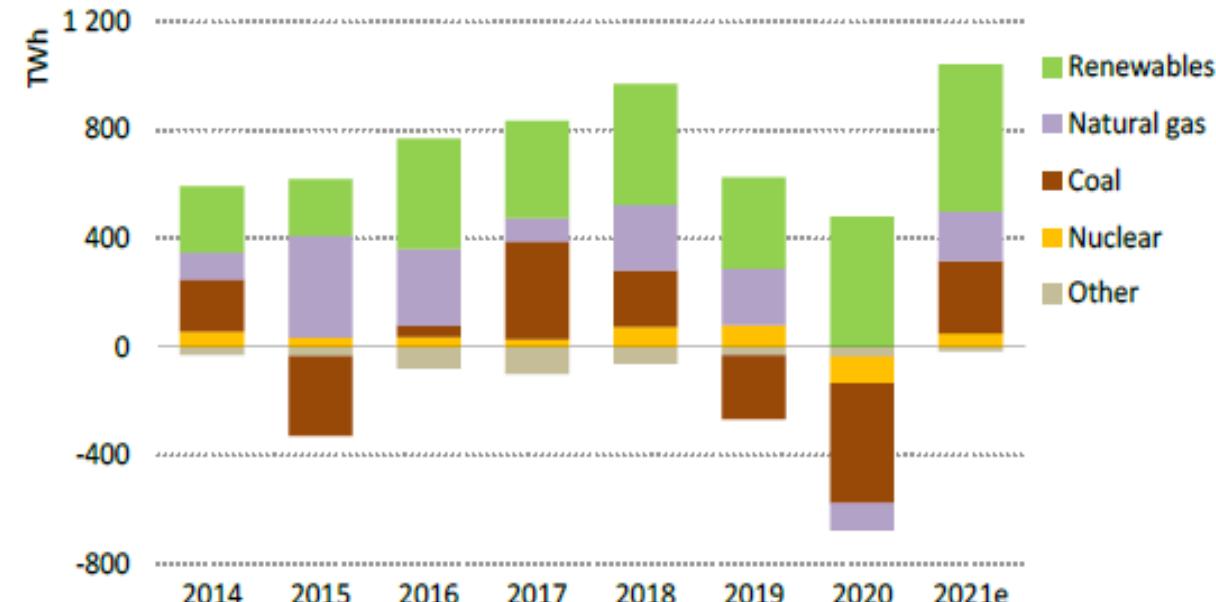
Prema sceniraju nulte emisije će udeo obnovljivih izvora i upotreba električnih automobila porasti nekoliko puta.

Prosečna godišnja snaga ugašenih termo elektrana



IEA. All rights reserved.

Promena globalnog generisanja električne energije

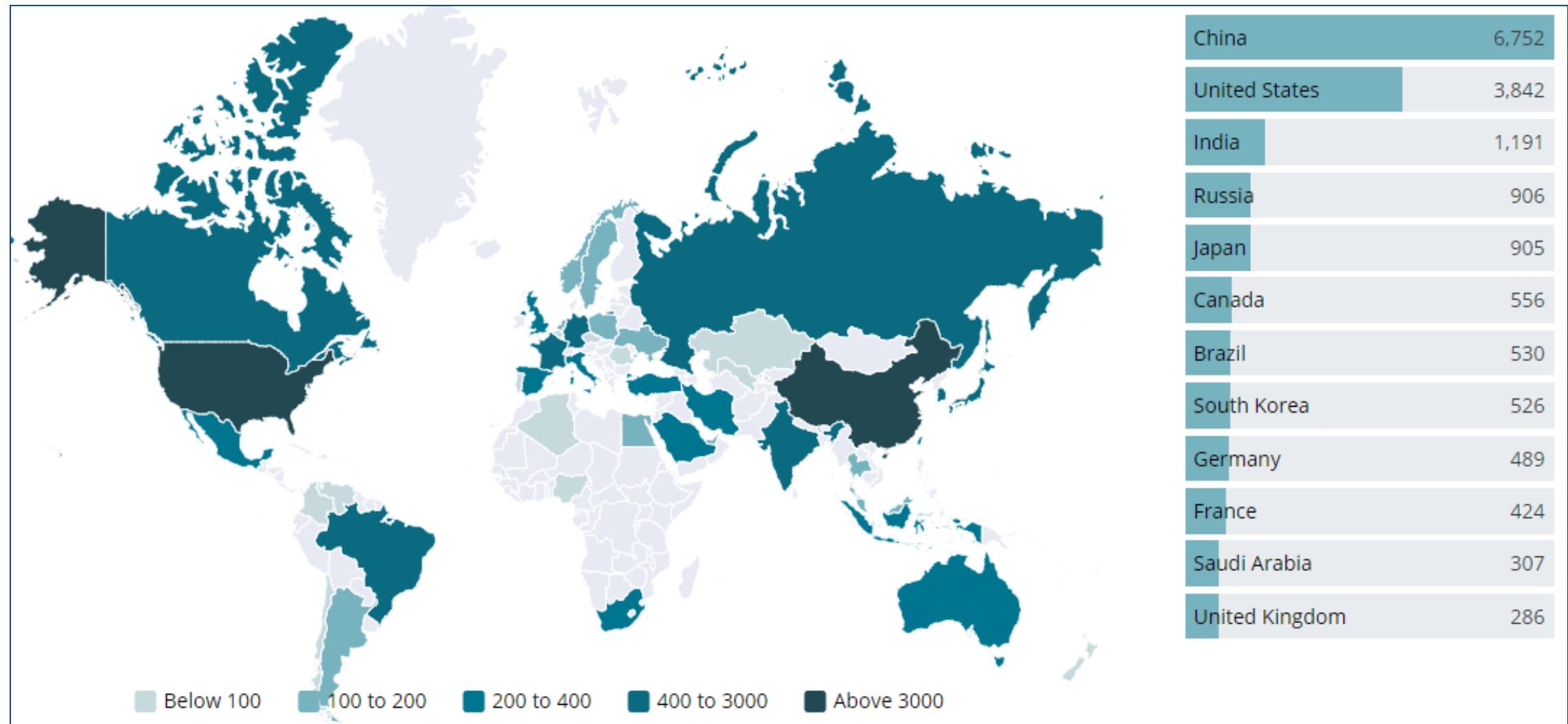


IEA. All rights reserved.

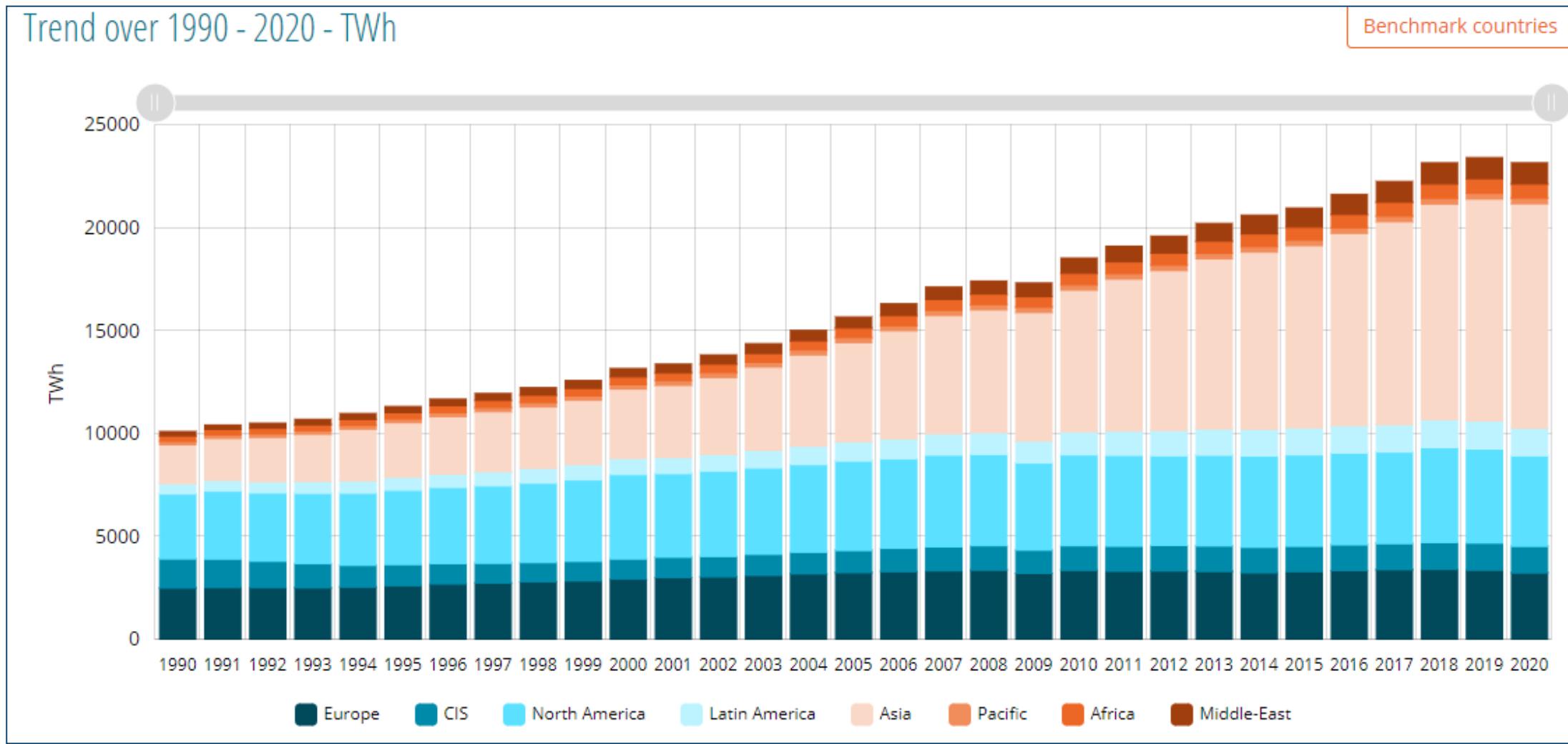
I pored povećanja potrebe za električnom energijom dolazi do gašenja elektrana na ugalj. Očekuje se gašenje 50-80 GW elektrana na ugalj u periodu 2020-2030.

Smanjenje kapaciteta konvencionalnih elektrana stavlja dodatno opterećenje na obnovljive izvore energije i druge energetske resurse.

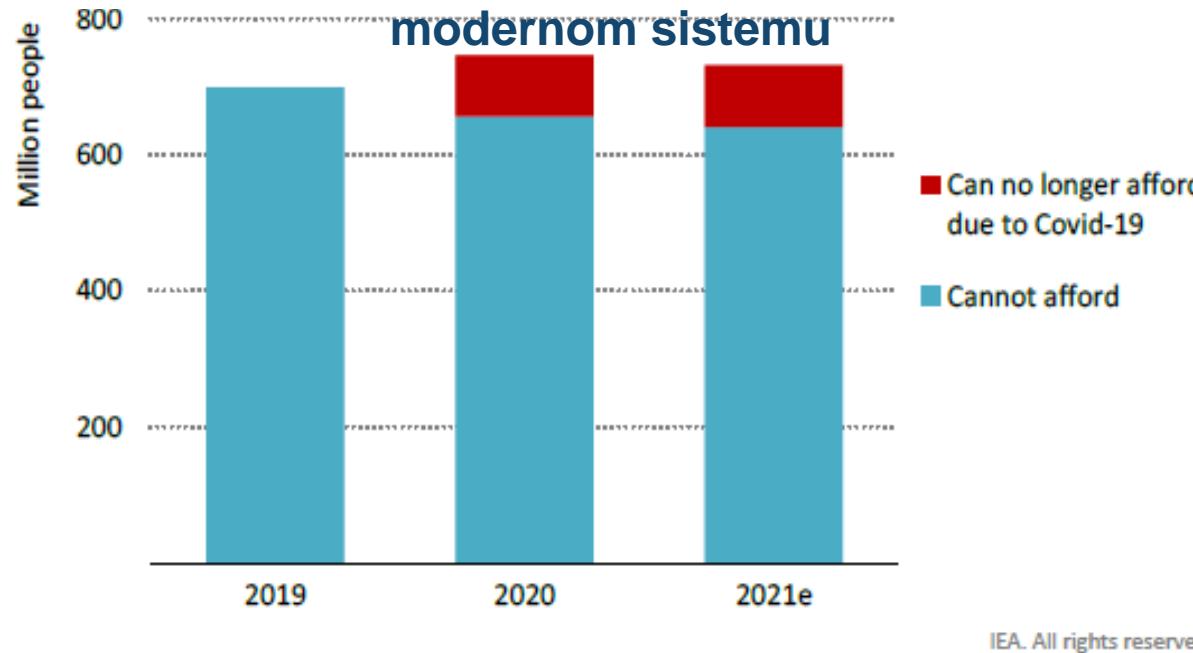
Potrošnja električne energije u svetu [TWh/god]



Potrošnja električne energije u svetu [TWh/god]



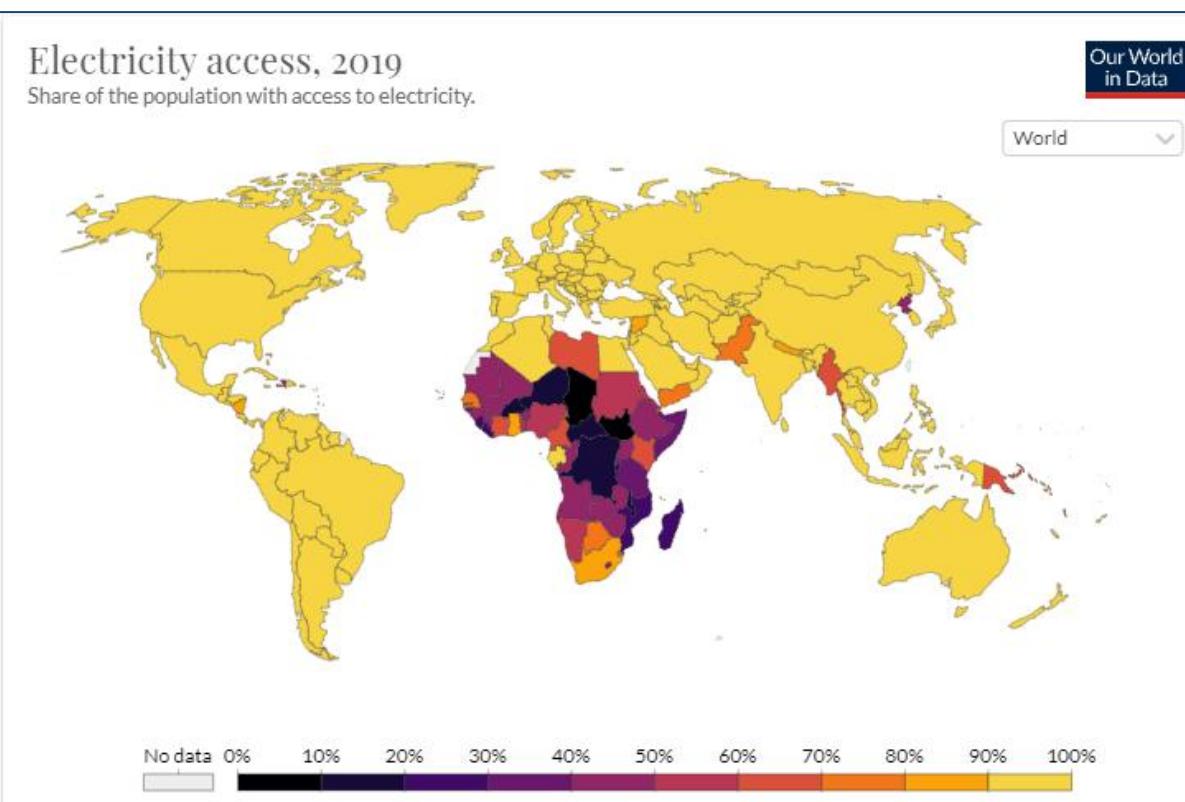
Populacija koja ima priključak za električnu energiju ali nema finansijske mogućnosti da ga zadrži u modernom sistemu

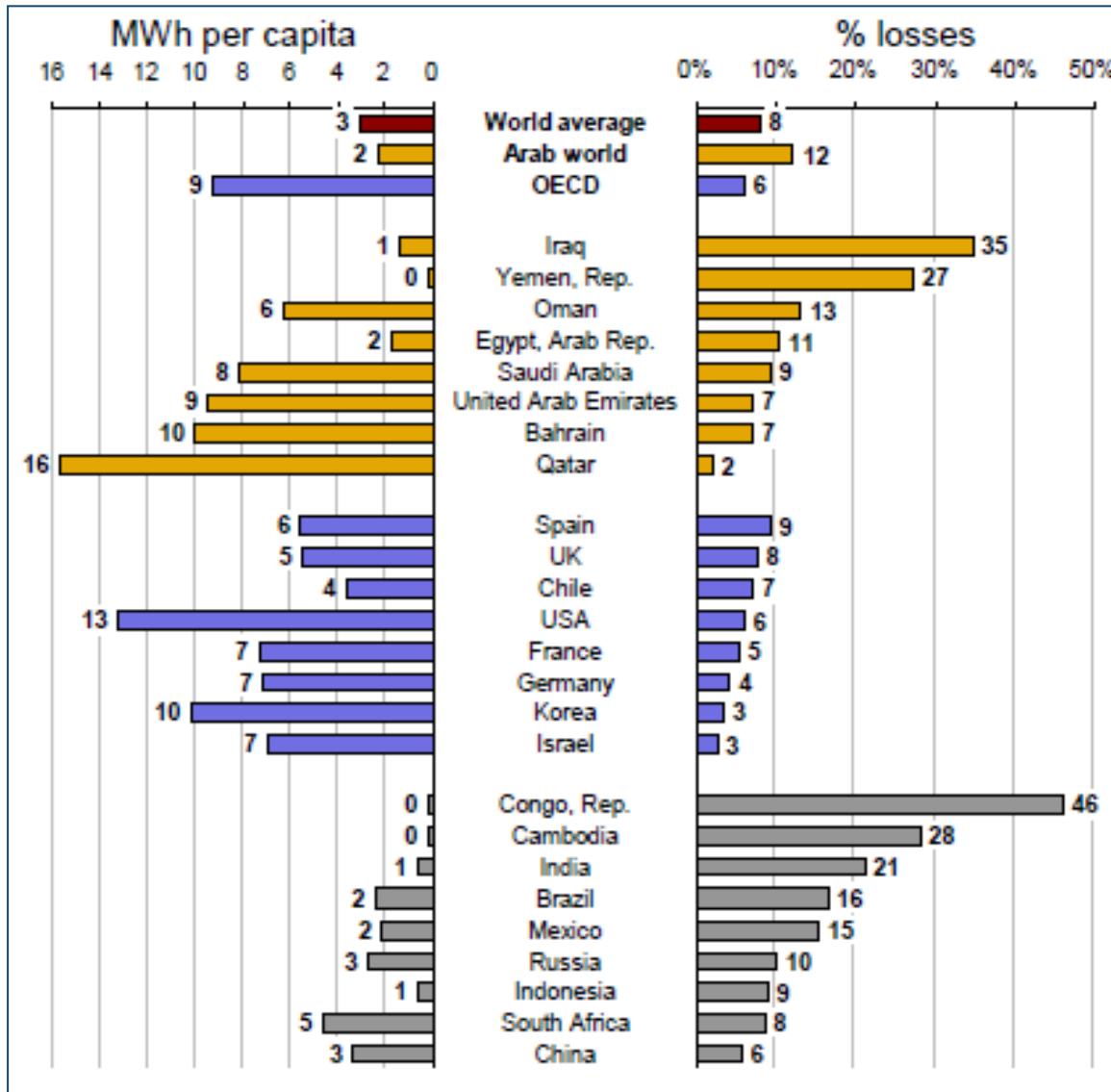


Poseban izazov modernog sistema jeste proizvesti ekonomski prihvatljivu električnu energiju.

Globalni nivo povećanja potražnje za energijom ne oslikava stanje čitavog sveta.

U 21. veku postoji veliki broj populacije (13%) koja nema pristup električnoj energiji.





Gubici u prenosnom i distributivnom sistemu pokazuju efikasnost rada i razvijenost jednog EES-a.

Gubici električne energije predstavljaju značajan finansijski udar na sistem. Primer je Indija u kojoj je oko 20% gubitaka usled krađe električne energije, što novčano iznosi oko 90 milijardi dolara godišnje.

U razvijenim zemljama netehnički gubici iznose oko 1% ukupnih gubitaka.

Pouzdanost rada sistema zavisi od starosti i pouzdanosti rada njegovih delova.



- SAIDI
- SAIFI
- CAIDI
- CAIFI

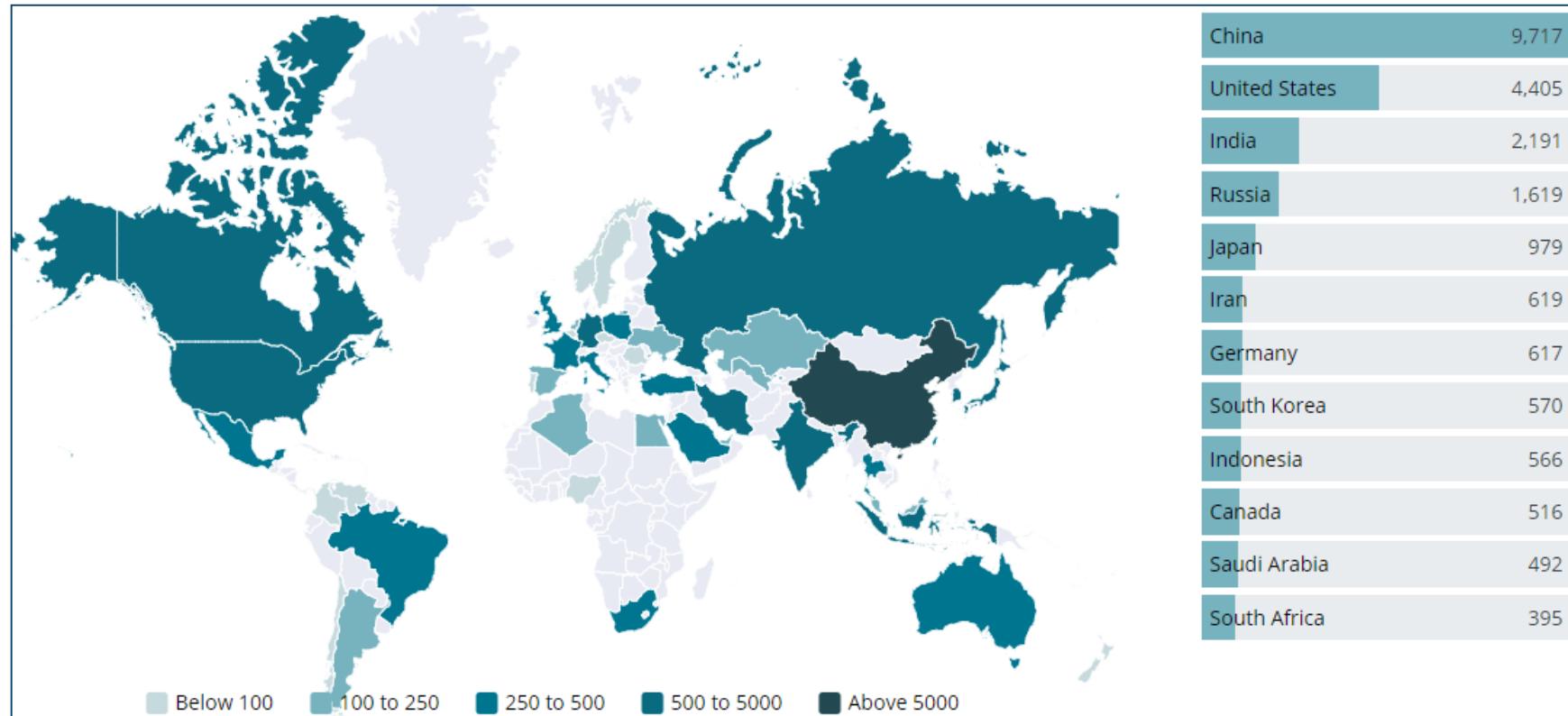
Ostareli elektroenergetski elementi su posebno osetljivi na:

1. loše vremenske uslove
2. preveliko opterećenje tokom vršnih perioda.

USA godišnje pretrpi štetu od oko 150 milijardi dolara usled prekida napajanja.

Učestanost ispada je oko 3 puta veća nego tokom 1980-ih.

Povećani gubici i smanjena efikasnost doprinose povećanju emisije CO₂

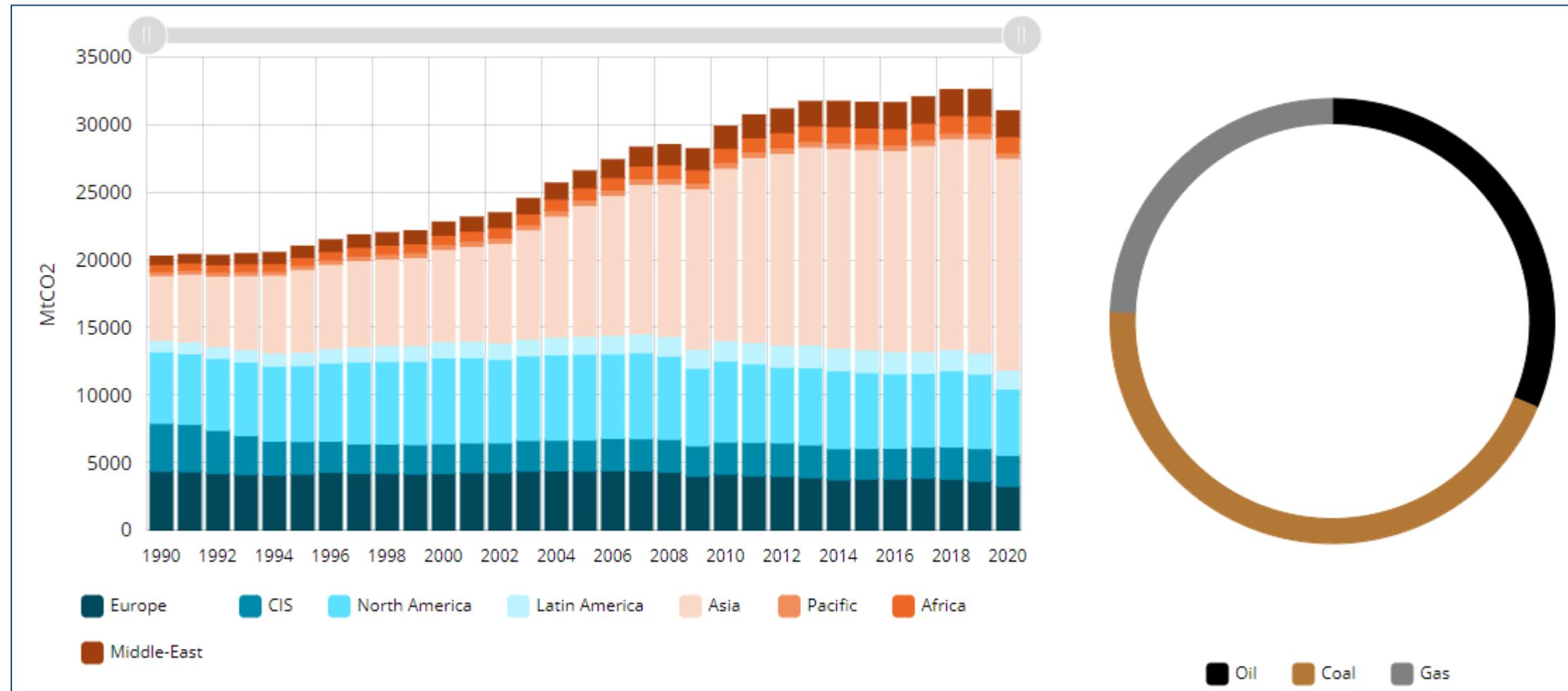


CO₂

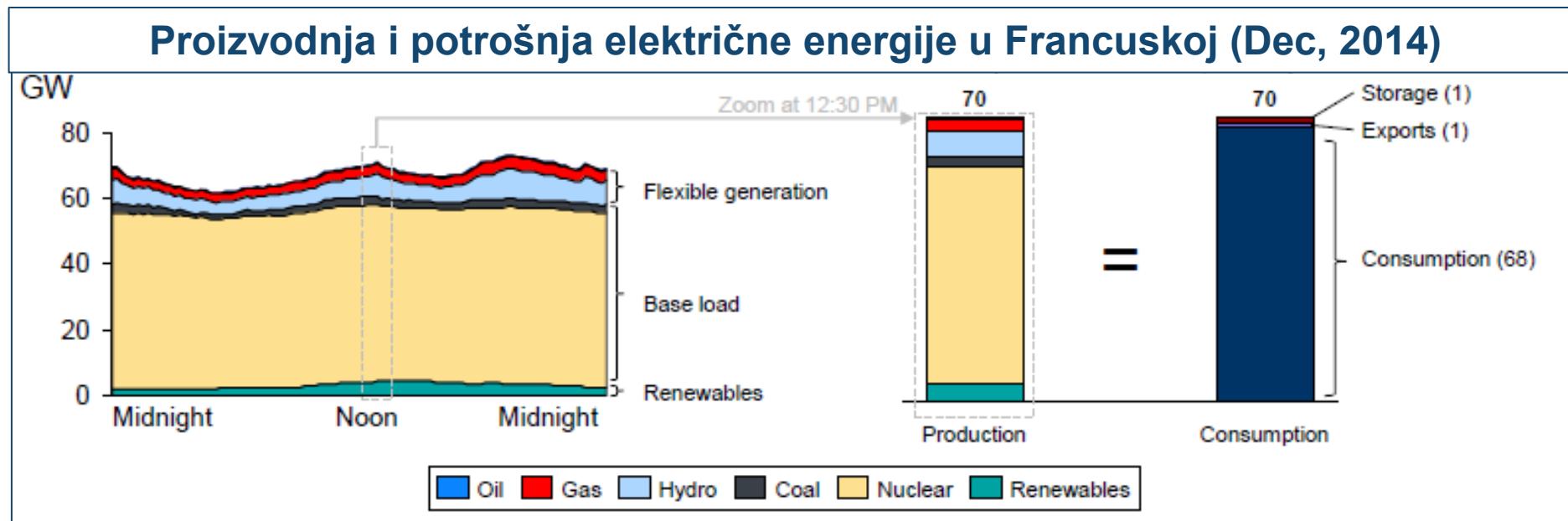
Emsije [tCO₂/MWh]:

- Ugalj – 1
- Nafta – 0.8
- Gas – 0.4
- Biogorivo (otpad) – 0.5

Povećani gubici i smanjena efikasnost doprinose povećanju emisije CO₂



Osnovni zahtev sistema je da se obezbedi balans između proizvodnje i potrošnje u realnom vremenu.

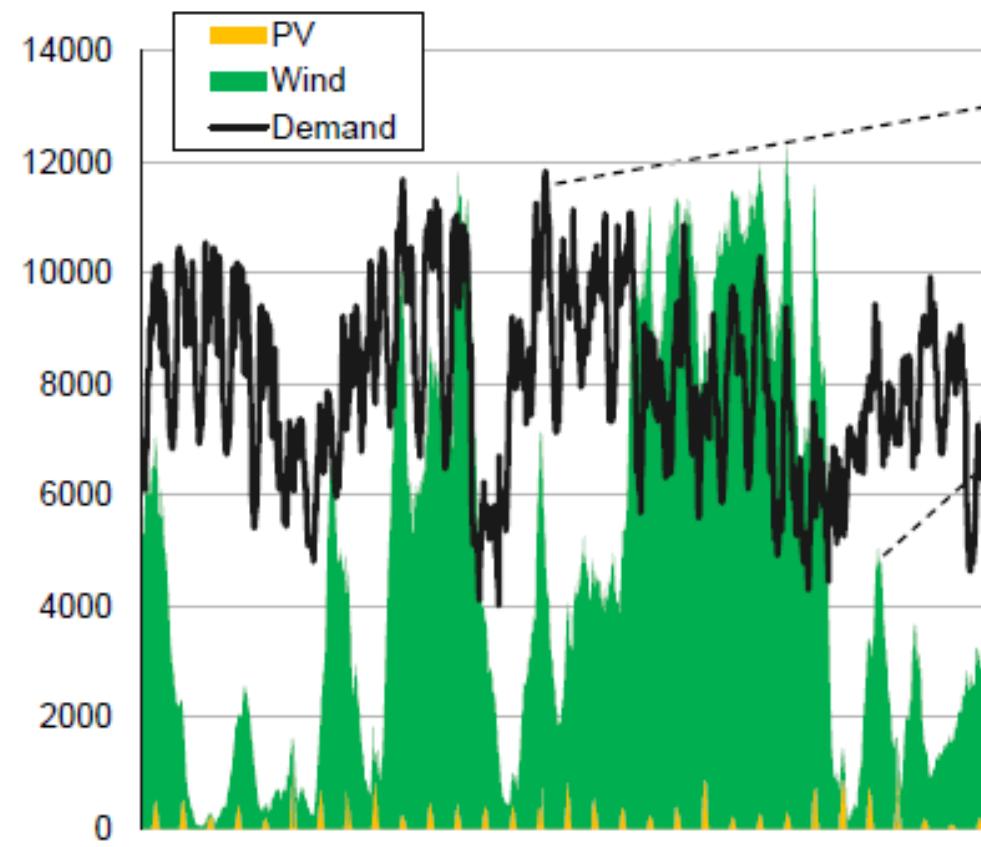


Svaka generatorska jedinica ima razlicit stepen fleksibilnosti.

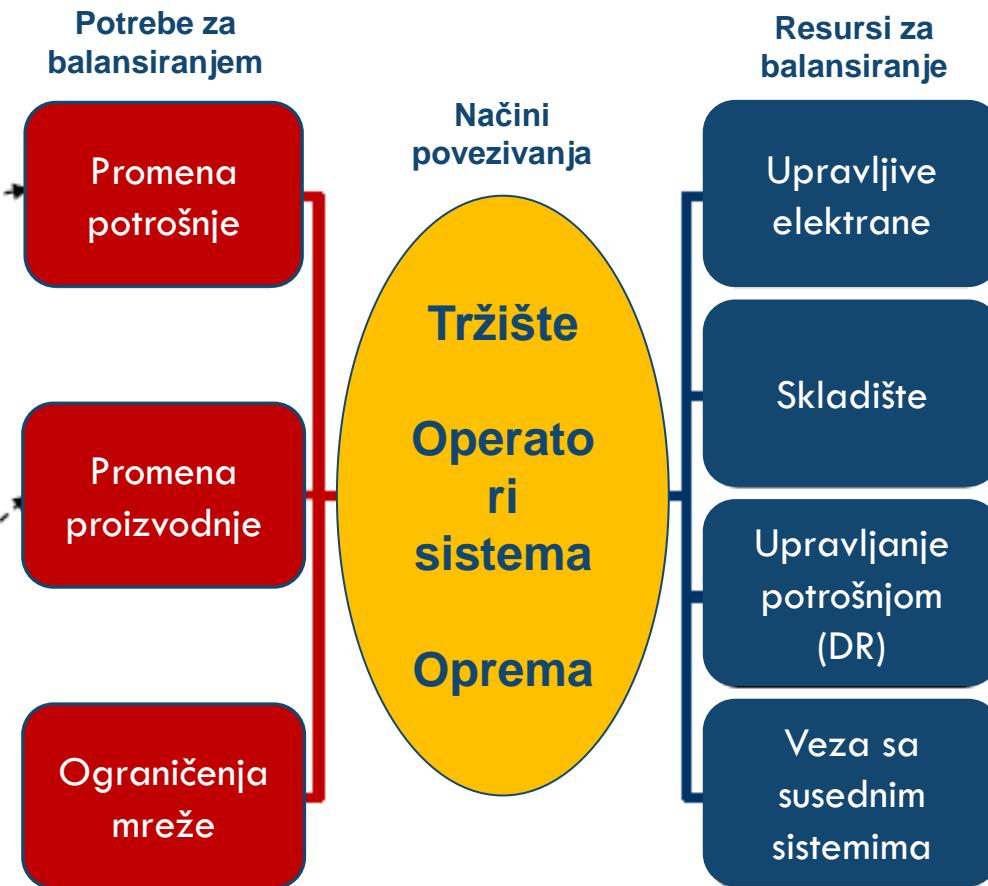
Iz ekonomskih i tehničkih razloga postoje prioriteti po kojima se angažuju proizvodne jedinice:

1. OIE nemaju troškove proizvodnje i predaju gotovo uvek 100% proizvedene energije
2. Bazne elektrane (termo i nuklearne) obično pokrivaju veći deo potrošnje po niskoj ceni, a imaju veoma mali stepen fleksibilnosti
3. Hidro i gasne elektrane se koriste za balansiranje zbog velike fleksibilnosti

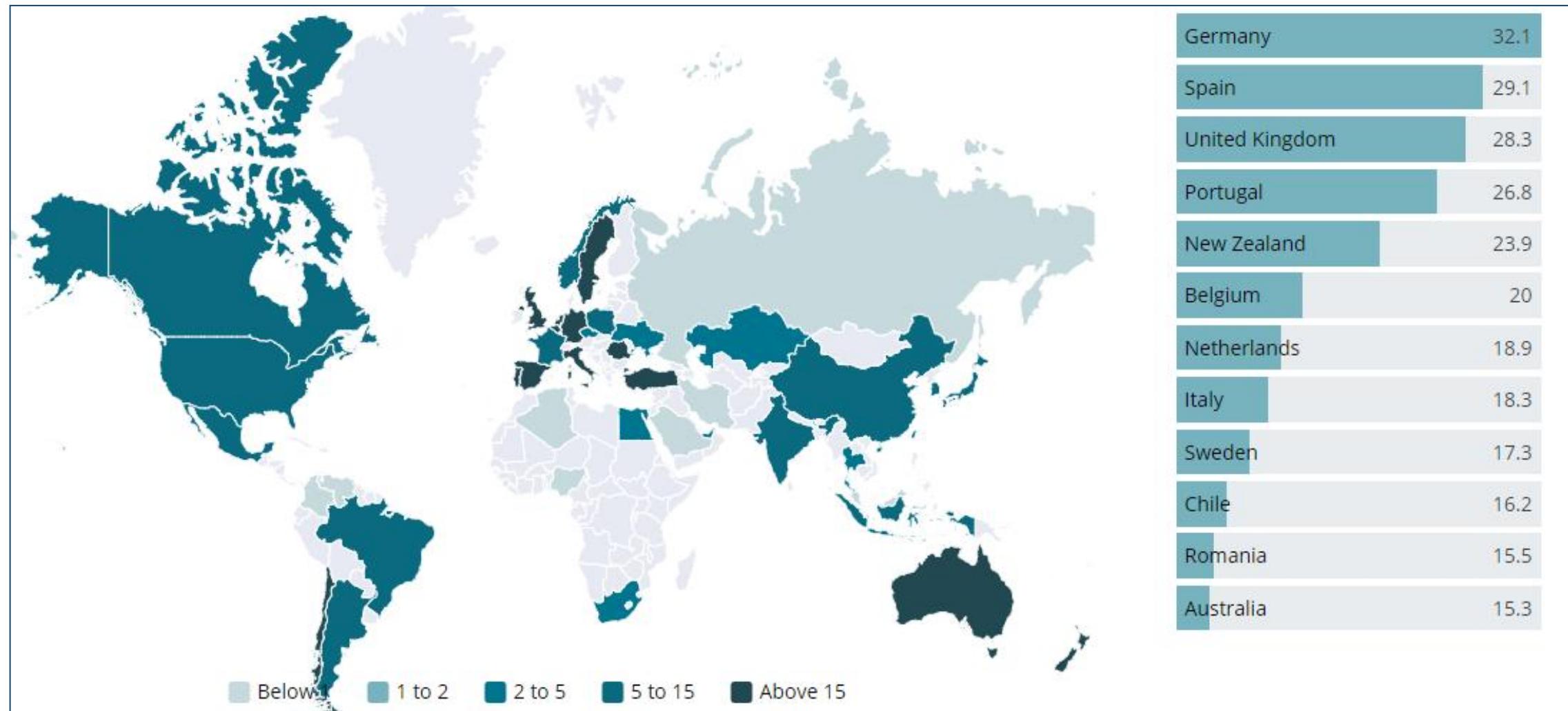
Povećani udeli OIE zahtevaju dodatne fleksibilne resurse za b2c Dijagrami proizvodnje i potrošnje [MW]



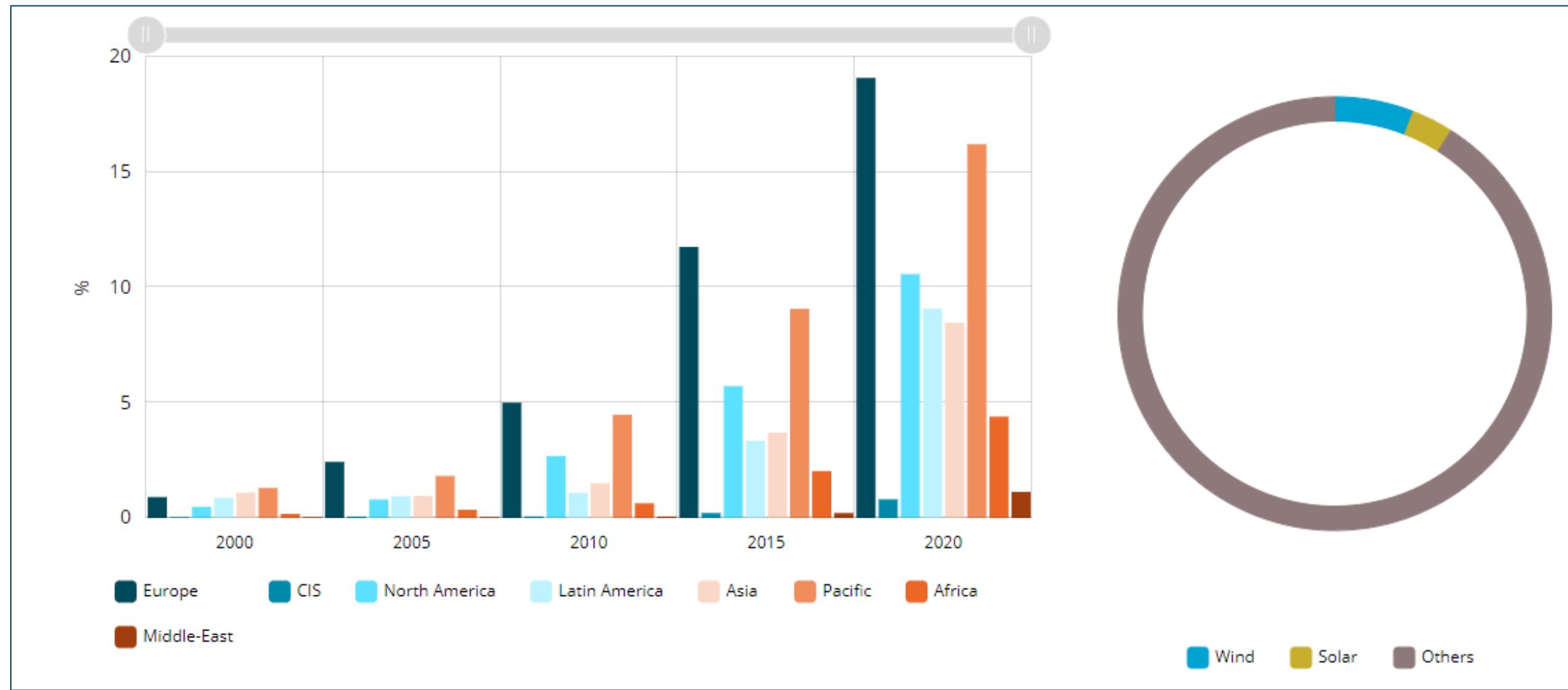
Koncept balansiranja



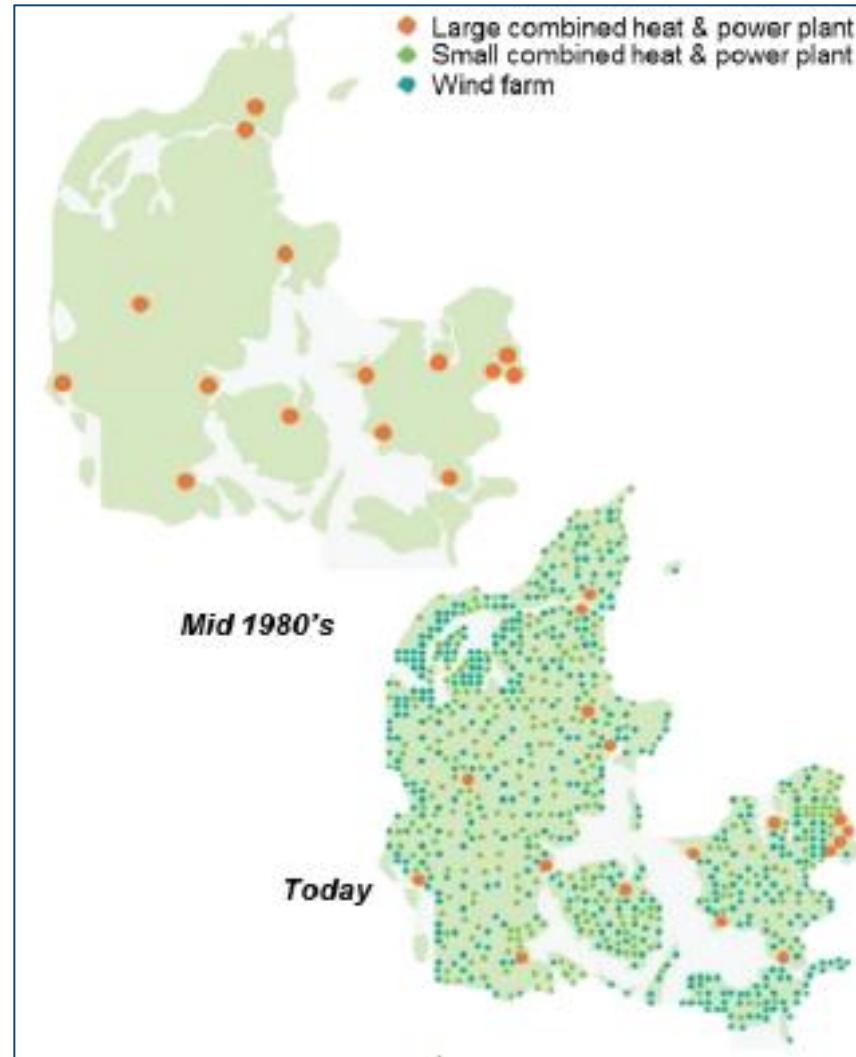
Udeo proizvodnje električne energije iz veta i sunca [%]



Udeo proizvodnje električne energije iz veta i sunca [%]



Veliki udeo distribuirane proizvodnje može imati negativne efekte.



Danska je vodeća u nivou

Distribuirani resursi:

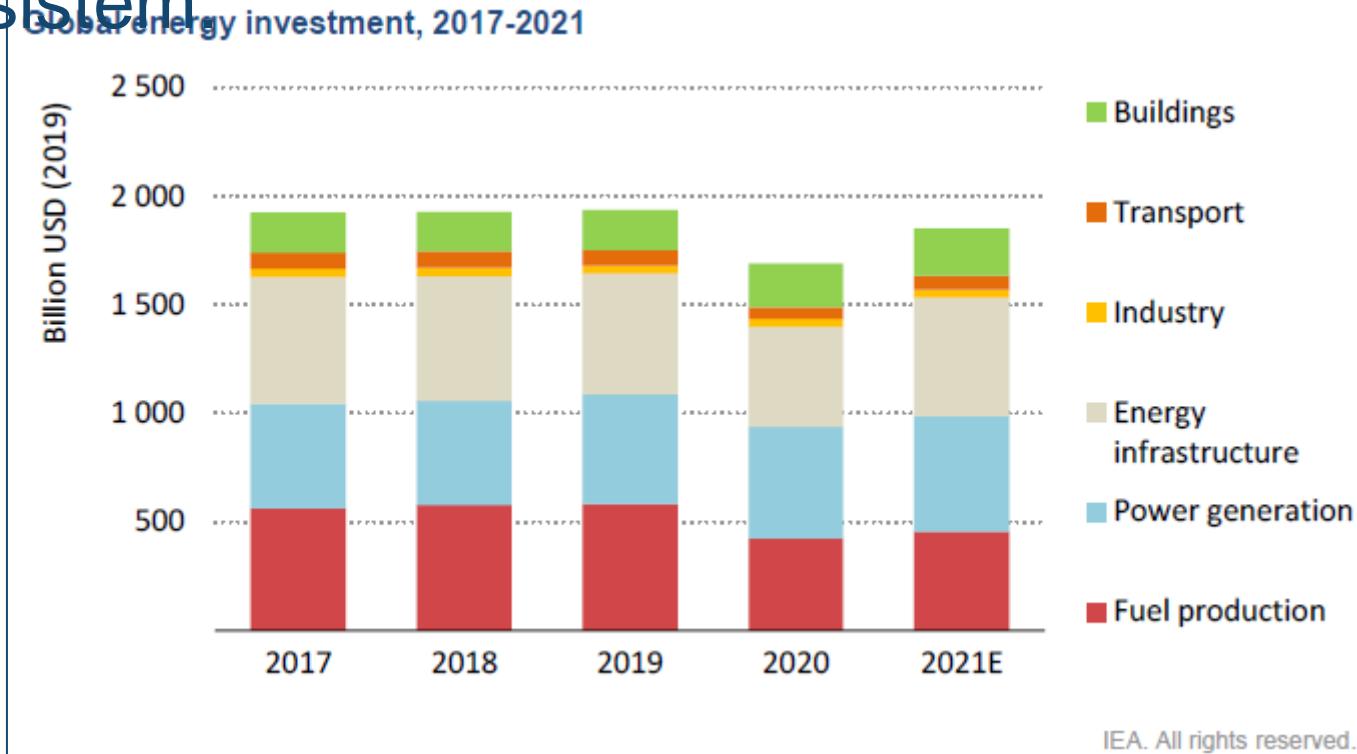
1. Distribuirano generisanje (DG)
 - Upravljivo
 - Neupravljivo (veter i sunce)
2. Skladištenje energije
3. Upravljiva potrošnja

električne

Ograničenja integracije DG:

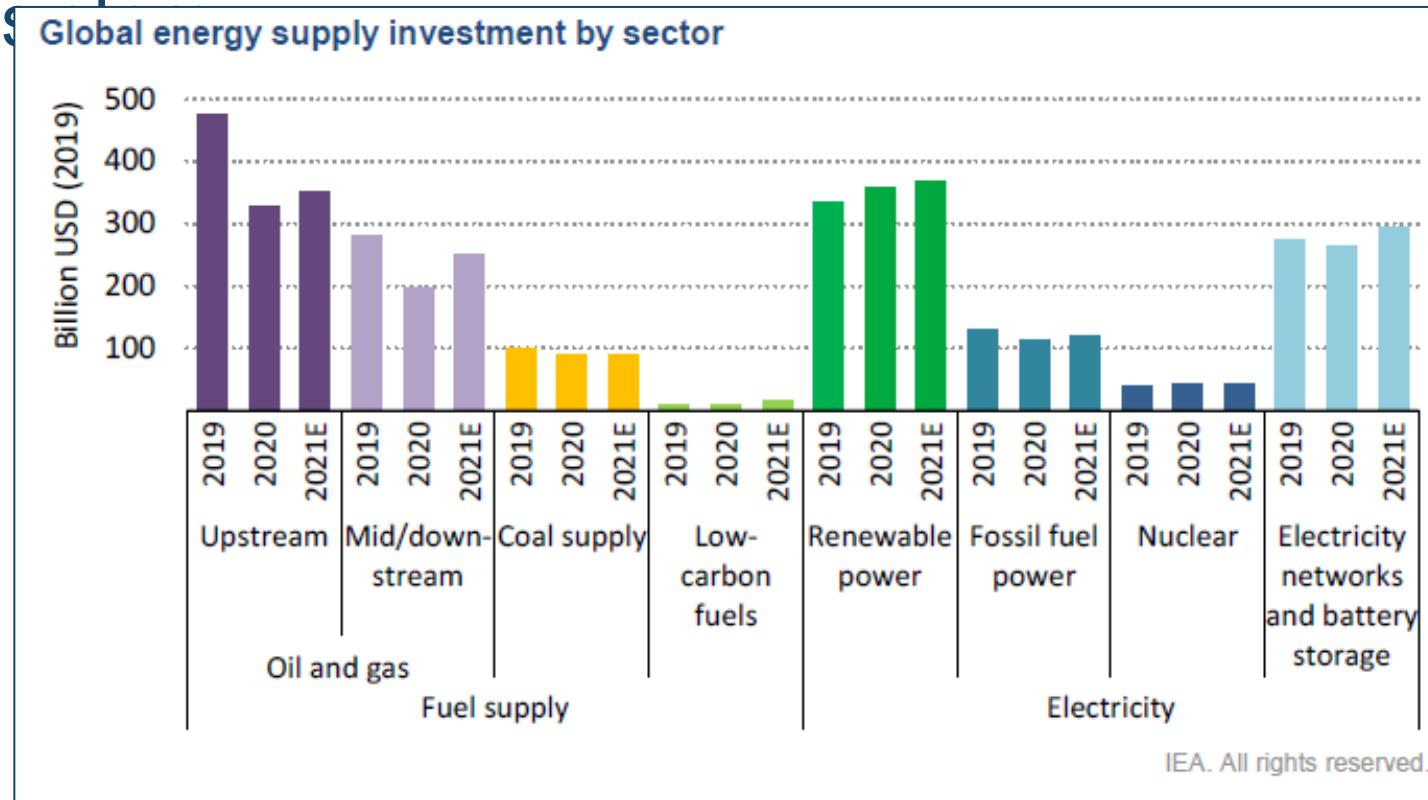
1. Termički kriterijumi
2. Regulacija napona
 - Niski naponi
 - Visoki naponi
 - Regulatori napona
3. Struja kratkog spoja
4. Promena toka snage
5. Fluktuacije napona i kvalitet el. en.
6. Ostrvski rad
7. Relejna zaštita

Rešavanje problema modernih EES-a zahteva velika dodatna ulaganja u sistem



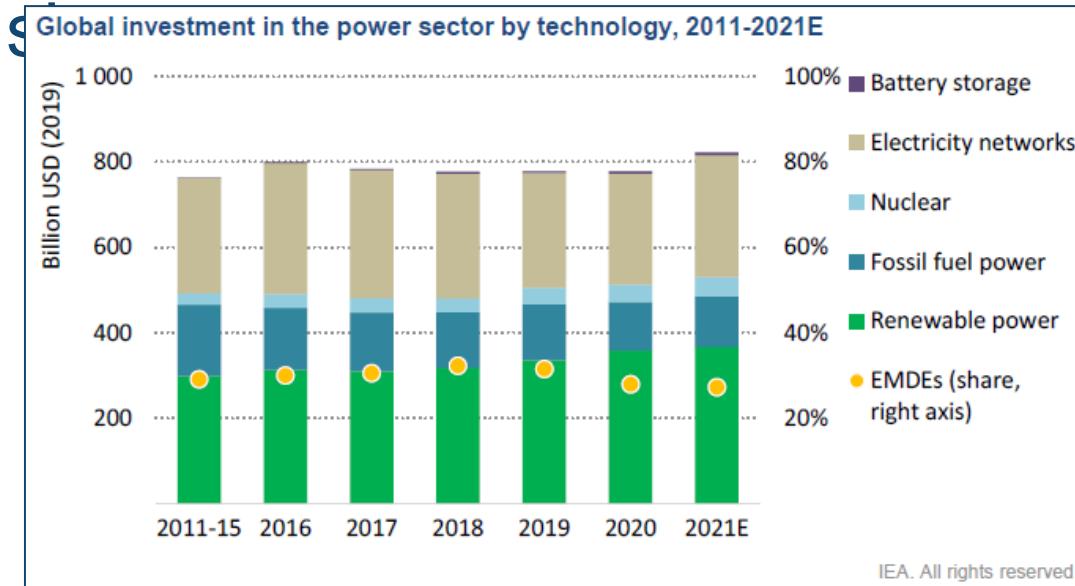
Ulaganja u proizvodnju energije i energetsku infrastrukturu predstavlja više od 50% ukupnih ulaganja u energetski sistem.

Rešavanje problema modernih EES-a zahteva velika dodatna ulaganja u

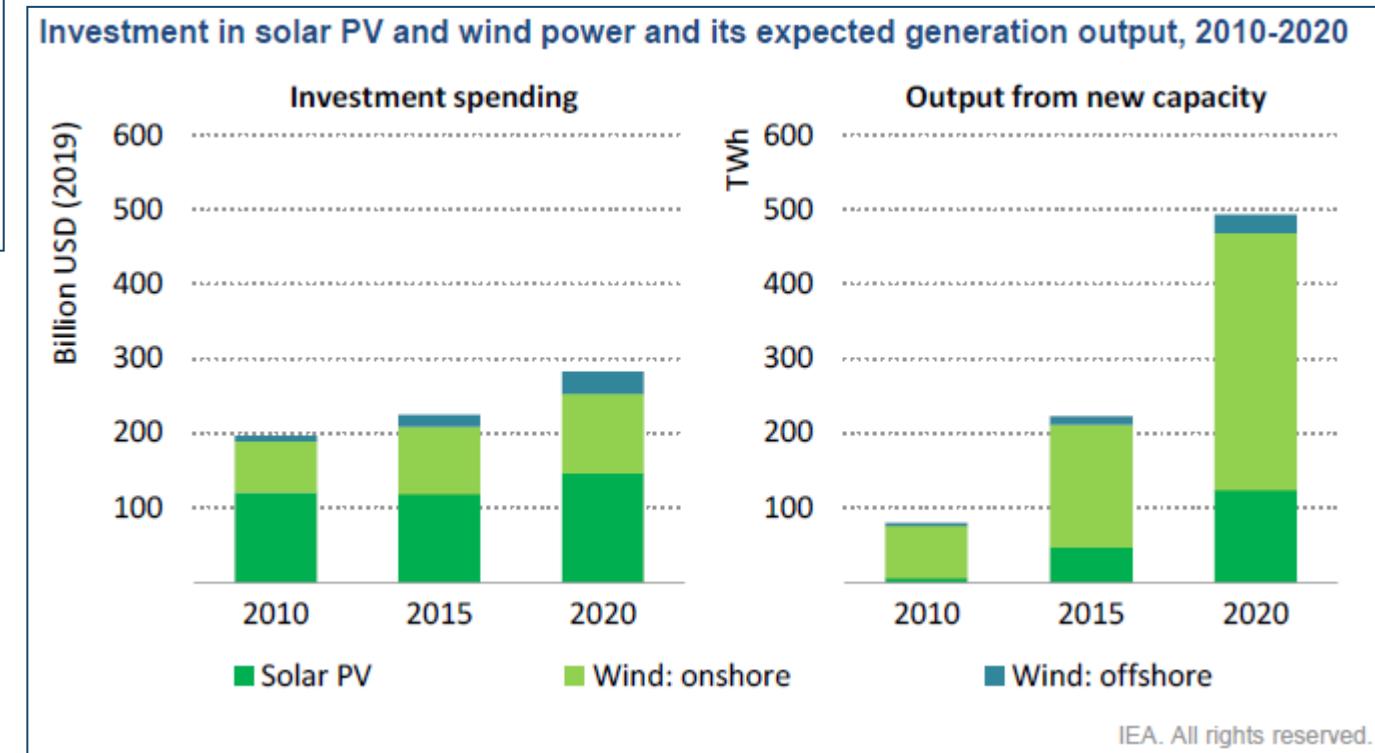


Najveća su ulaganja u obnovljive izvore, skladište električne energije i mrežnu infrastrukturu.

Rešavanje problema modernih EES-a zahteva velika dodatna ulaganja u

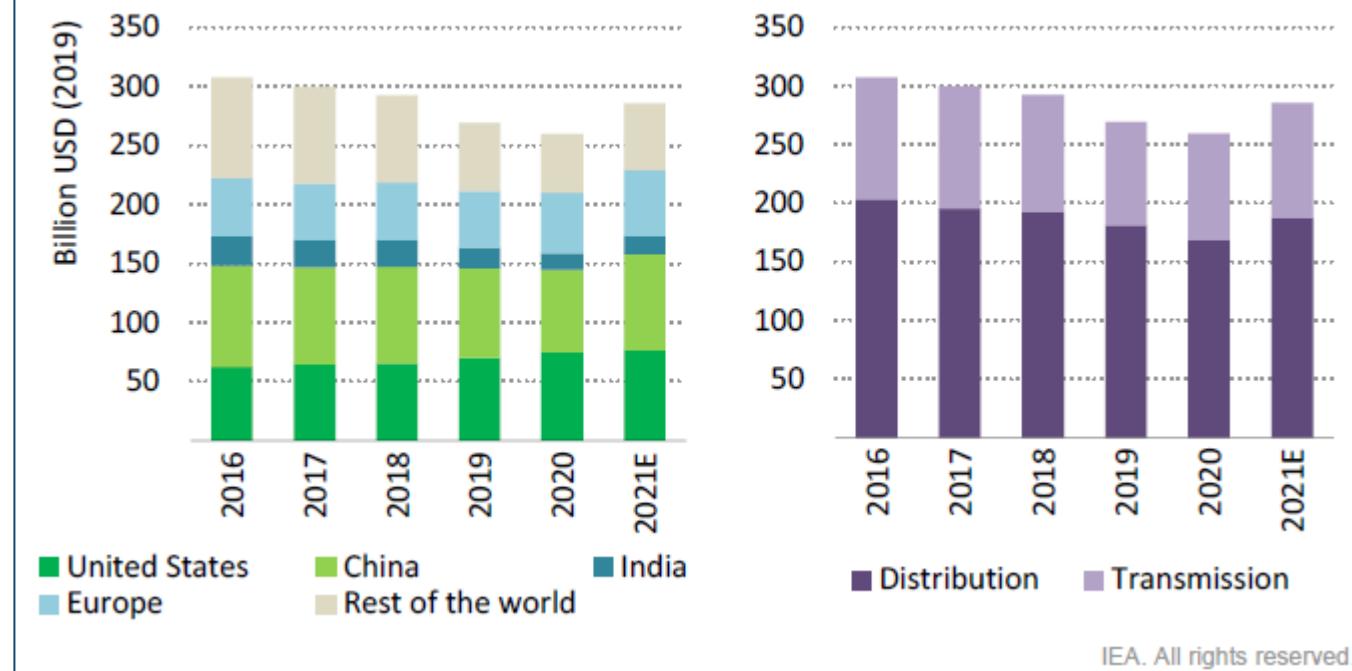


Linearan rast investicija i eksponencijalan rast energije ukazuju na razvoj tehnologije.



Rešavanje problema modernih EES-a zahteva velika dodatna ulaganja u

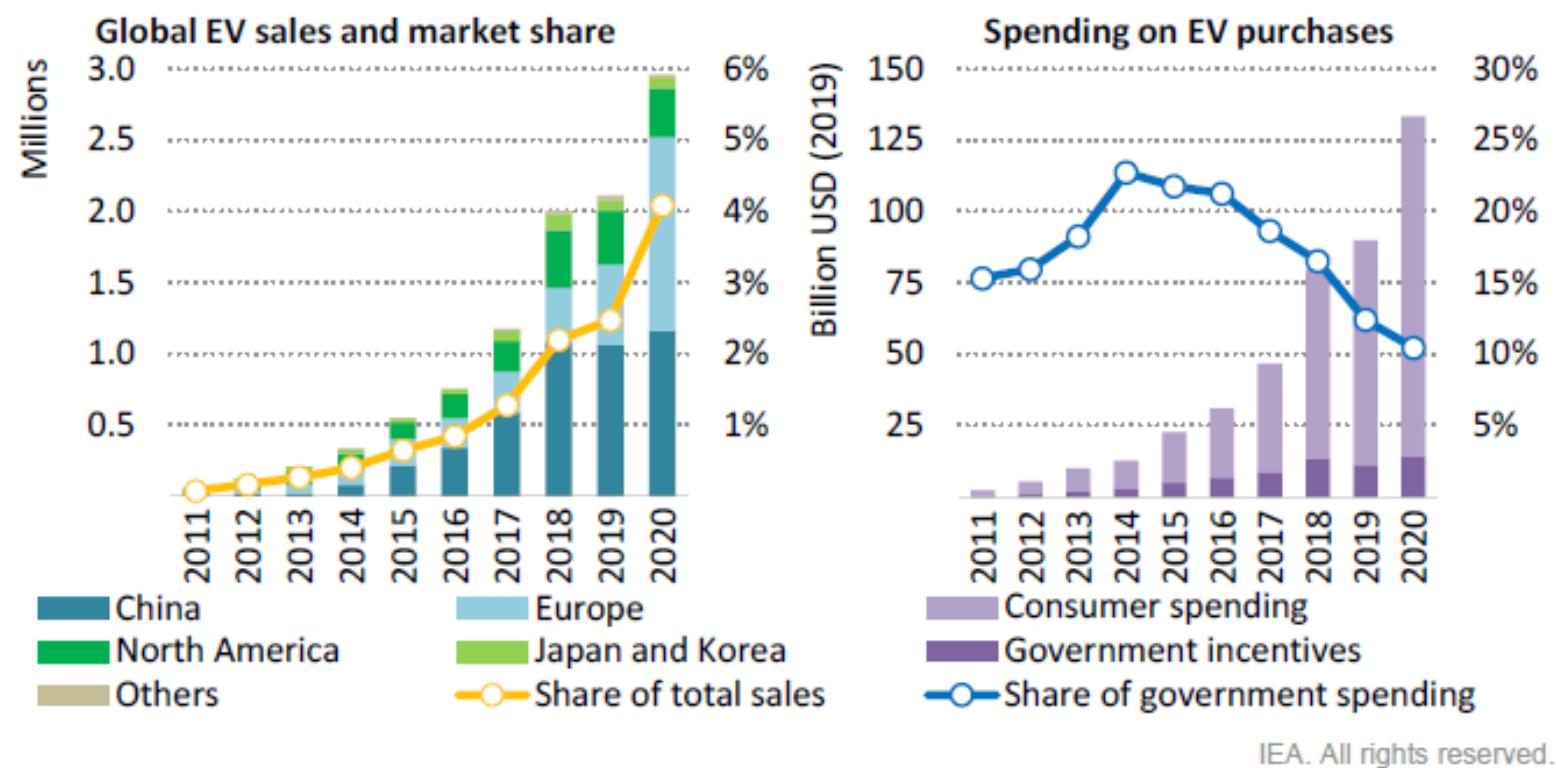
S Investment in grids by geography and segment, 2016-2021E



Dominantan je trend ulaganja u distributivni sistem, što pokazuje važnost automatizacije sistema na distributivnom nivou, učešće distribuirane proizvodnje i drugih distribuiranih resursa (EV, DR, ...).

Rešavanje problema modernih EES-a zahteva velika dodatna ulaganja u sistem.

Trends in global EV sales and purchase spending

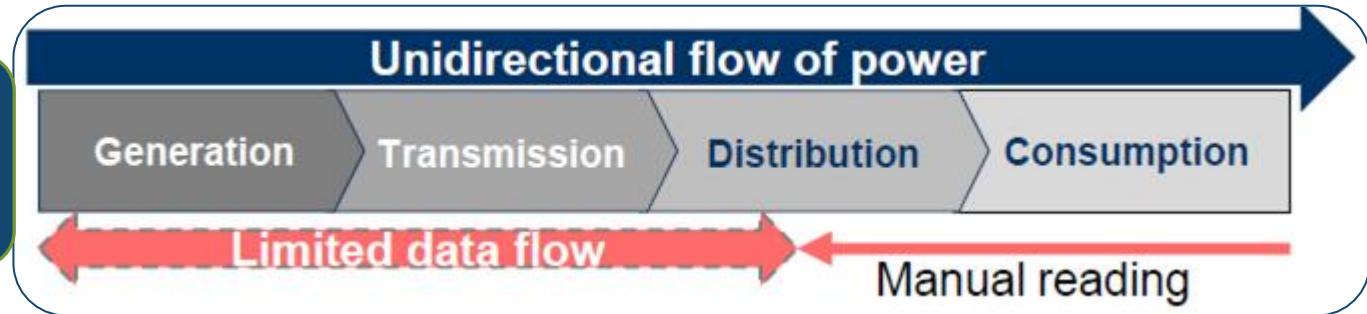


EV rešavaju problem zagadenja životne sredine?

Veliki udeli EV stvaraju probleme opterećenja mreže i zahtevaju dodatna ulaganja u koordinaciju mrežom i koordinaciju punjenja vozila.

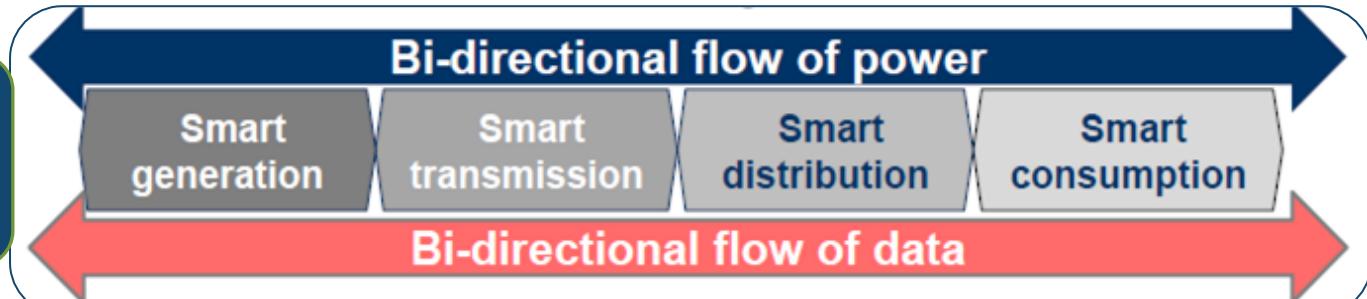
Tradicionalne mreže ne mogu da podrže razvoj tehnologije i rast konzuma

Tradicionalna
mreža



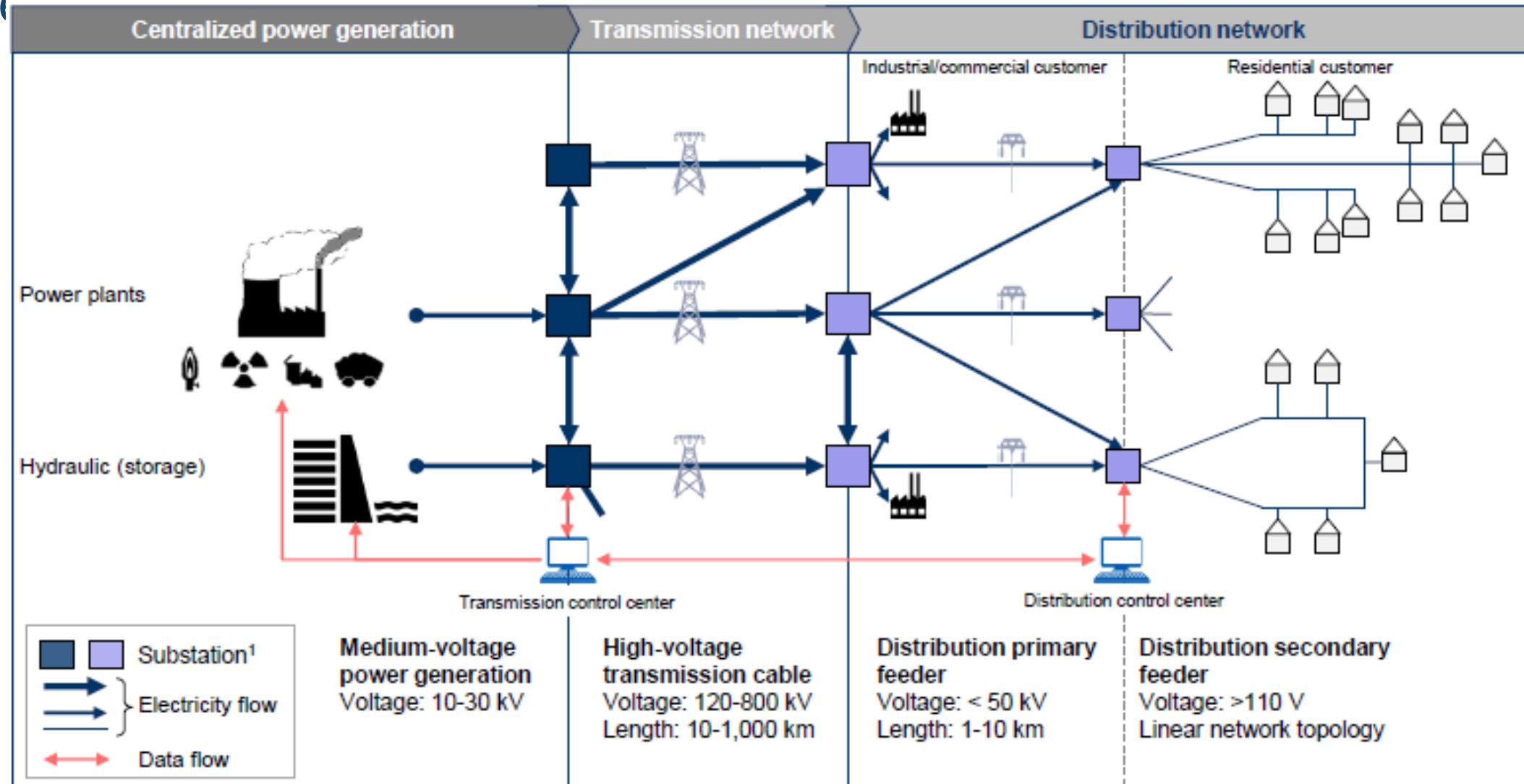
- Jednosmeran tok snage
- Proizvodnja u trenutku potrošnje
- Nedostatak merenja

Inteligentna
mreža

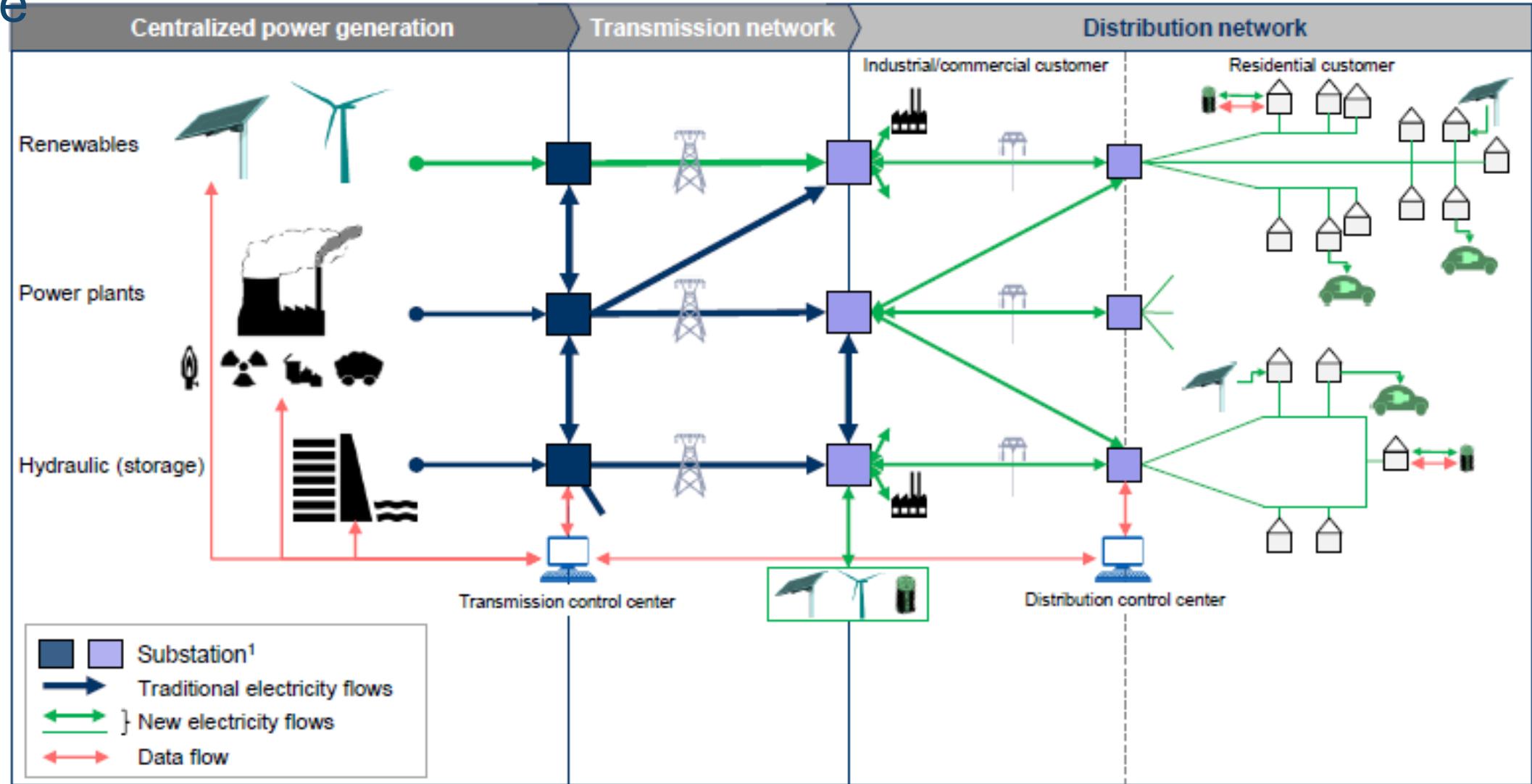


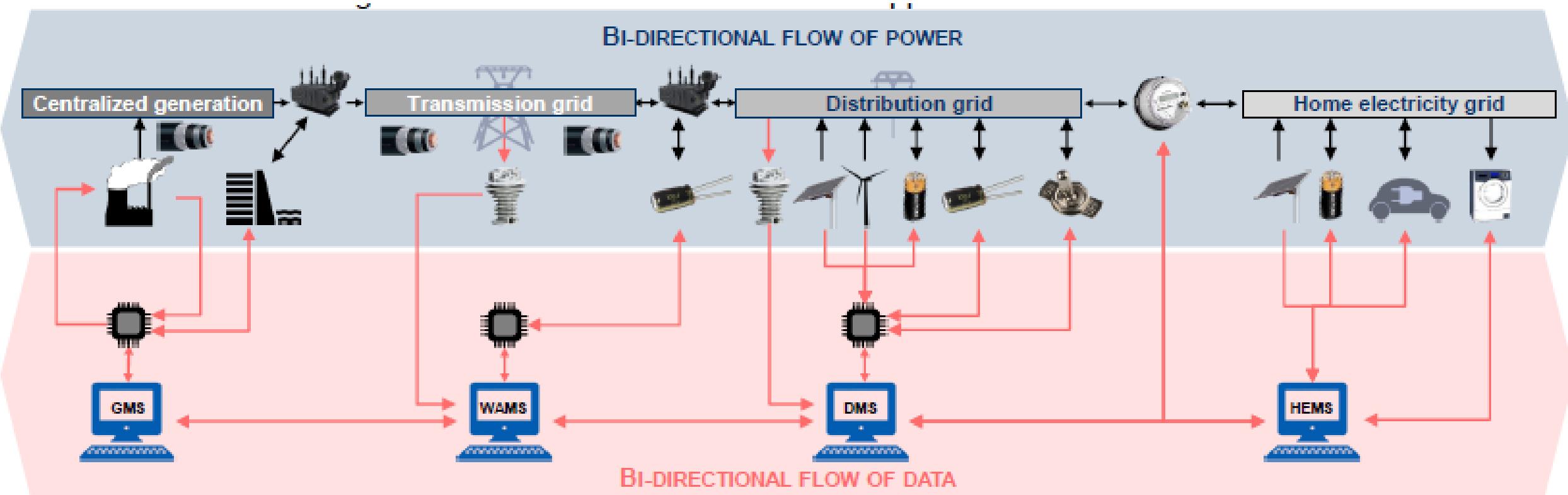
- Sve opcije generisanja i skladištenja
- Aktivno učešće potrošača
- Otvoreno tržište (energije, usluga, CO₂, ...)
- Optimizacija troškova
- Monitoring
- Automatizacija

Centralizovana proizvodnja, minimalna komunikacija, jednosmerni tokovi snage

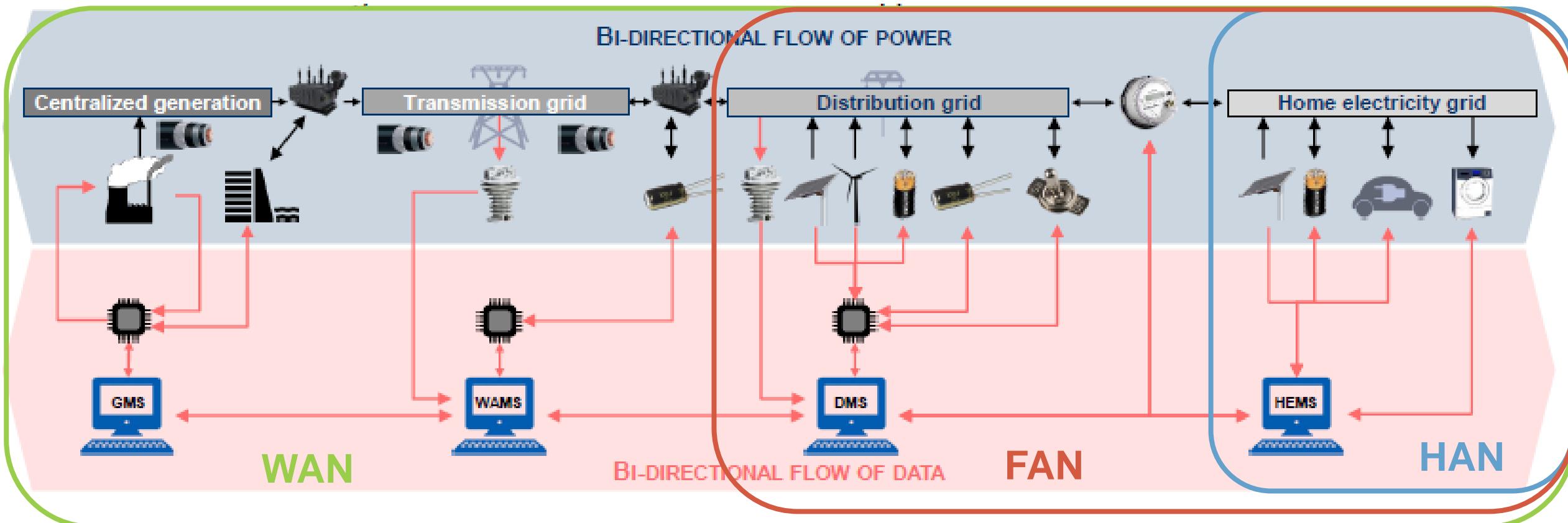


Dodavanje distribuirane i obnovljive proizvodnje zahteva modernizaciju mreže





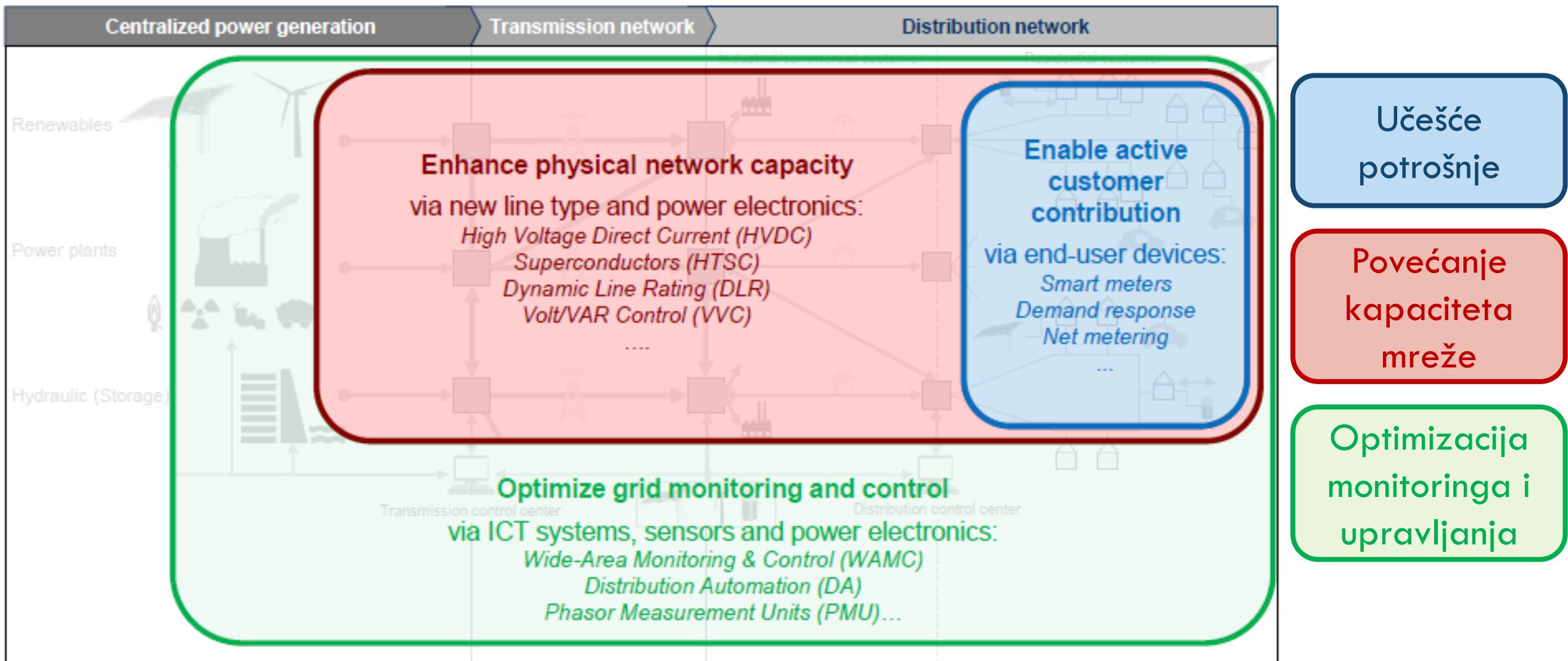
- Napredni uređaji: DG, baterije, EV, pametni potrošački uređaji, pametni prekidači (reklozeri), napredna regulacija sistema, superprovodnici, senzori i SCADA
- Komunikacija: WAN, FAN, HAN, bežična i žičana (PowerLineCommunication)



- Napredni uređaji: DG, baterije, EV, pametni potrošački uređaji, pametni prekidači (reklozeri), napredna regulacija sistema, superprovodnici, senzori i SCADA

- Komunikacija: WAN, FAN, HAN, bežična i žičana (PowerLineCommunication)

Razvoj inteligentnih mreža se može posmatrati kroz tri osnovna aspekta

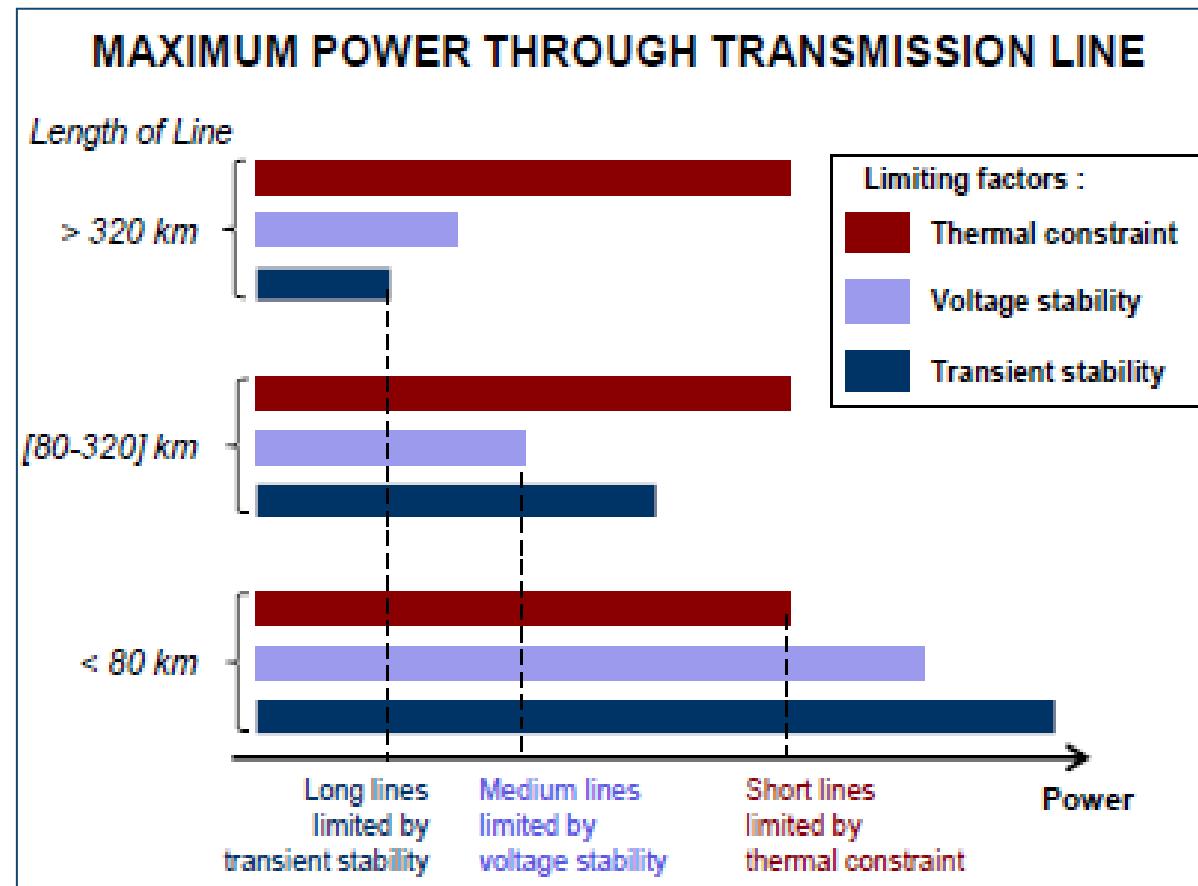


Učešće potrošnje

Optimizacija monitoringa i upravljanja

Povećanje kapaciteta mreže

Main stakeholders	Utilities, cooperatives, end-users..	Transmission System Operator (TSO)	Distribution System Operator (DSO)	End-users (residential, industrial...)
Komunikacione mreže	Generation	Transmission	Distribution	Consumption
Elektroenergetski uređaji	Micro-Grids and Smart Cities Wide Area Network (WAN)	(no transmission)	Micro-Grids and Smart Cities Field Area Network (FAN)	Home Area Network (HAN)
	High Voltage Direct Current (HVDC), Superconductors Flexible AC Transmission Systems (FACTS) Fault Current Limiters (FCL)		Smart Switches Capacitor Banks	Vehicle-to-Grid (V2G) Smart Inverters
Elektronski uređaji i senzori		Dynamic Line Rating (DLR) Phasor Measurement Unit (PMU)	Advanced Metering Infrastructure (AMI, Smart meters, MDMS...)	Smart Appliances and In-Home Display (IHD)
Sistemi i procesi	Wide-Area Measurement System (WAMS) Wide-Area Monitoring & Control (WAMC)	Supervisory Control and Acquisition Data (SCADA) Volt/VAR Control (VVC), Conservation Voltage Reduction (CVR) Smart Protection: Predictive (Failure Prediction Algorithms) or Reactive (Fault Detection, Isolation and Restoration, FDIR)	Distribution Management System (DMS), Distribution Automation (DA)	Building and Home Energy Management Systems (HEMS) Demand Response (DR) Net Metering Virtual Power Plant (VPP) Demand Forecasting

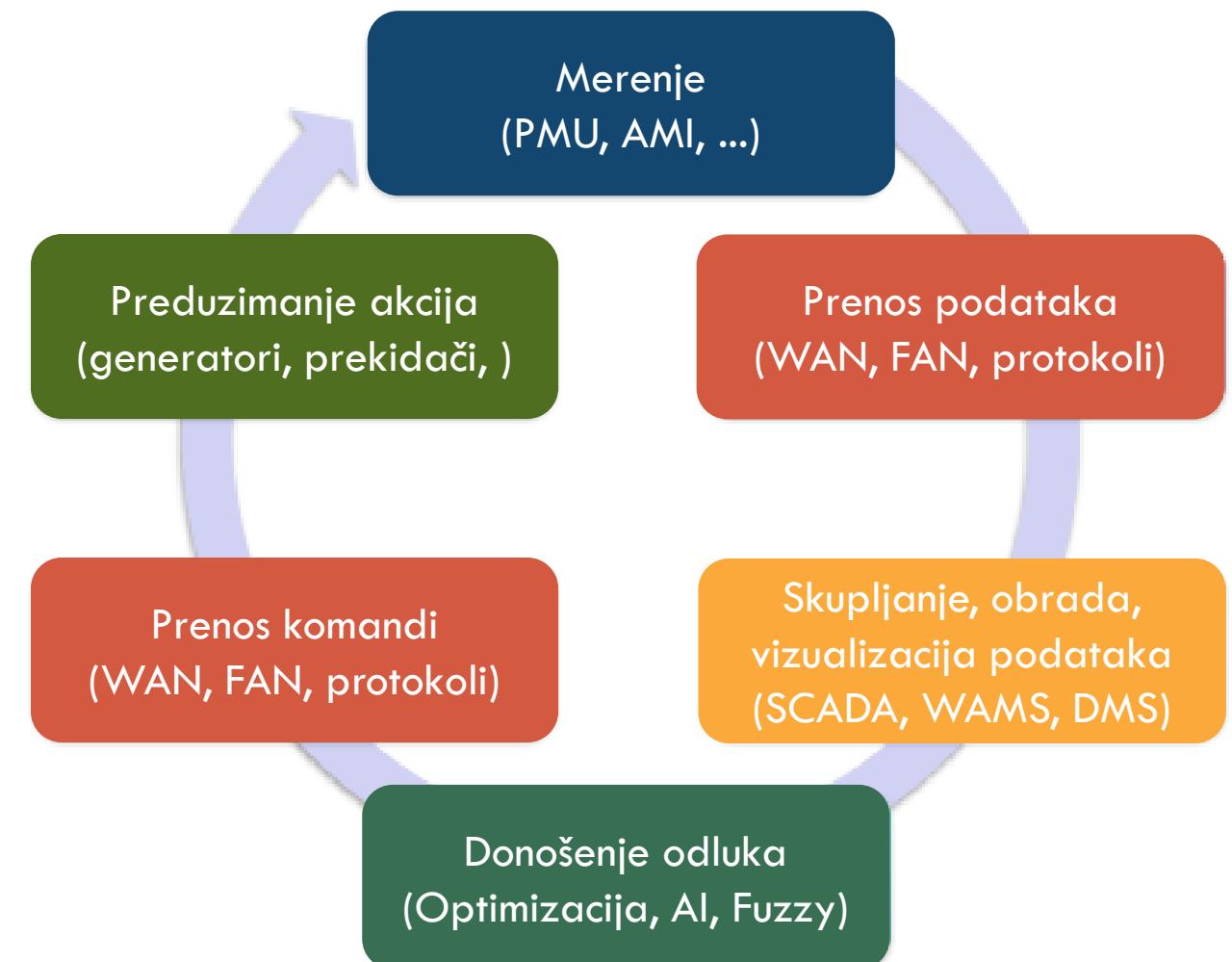


Načini povećanja kapaciteta

1. Primena viših naponskih nivoa
2. Primena DC prenosa (HVDC)
3. Primena dinamičke opteretljivosti vodova (DLR)
4. Ograničenje struje kratkog spoja

Benefiti:

1. Povećanje kapaciteta prenosa i distribucije
2. Smanjenje gubitaka

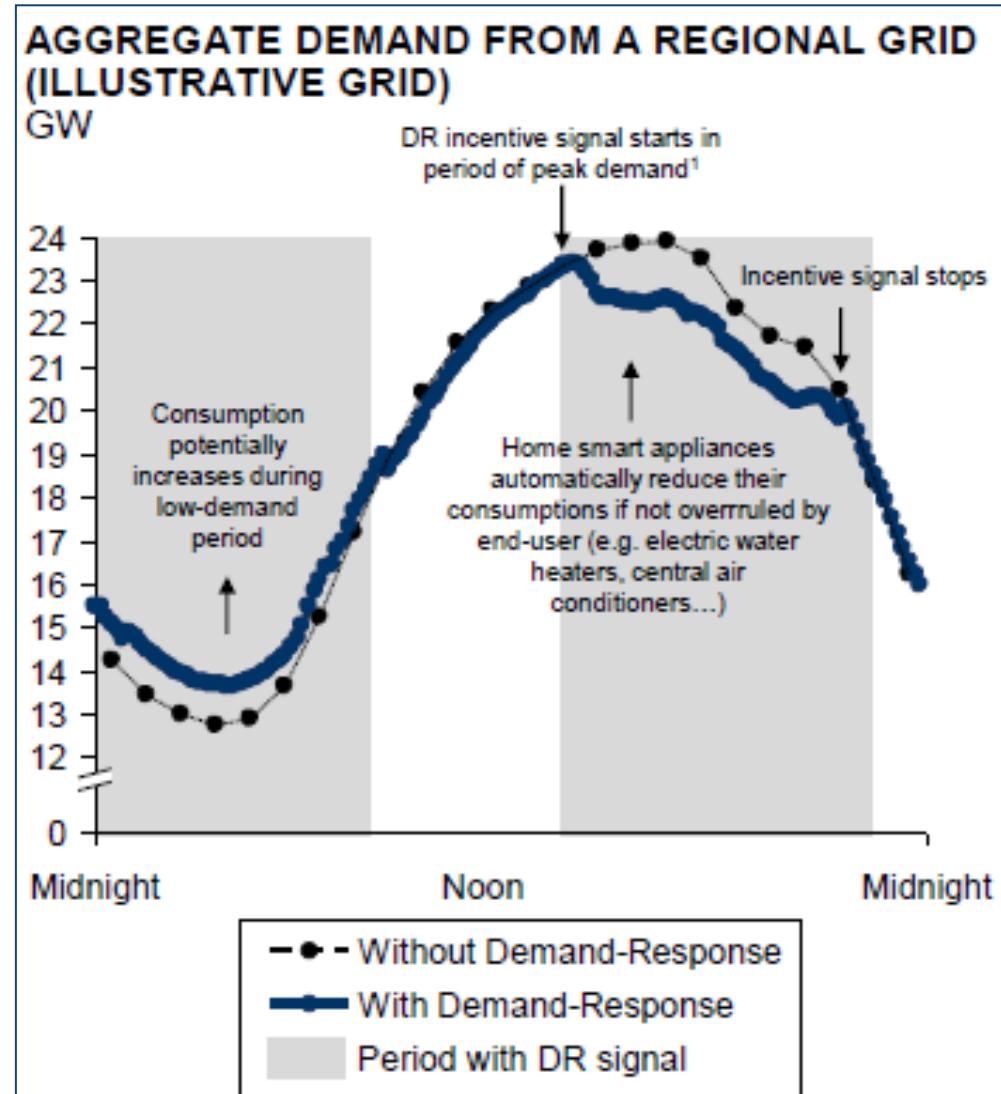


Načini monitoringa i upravljanja

1. WAMC (Wide Area Monitoring and Control)
2. DA (Distribution Automation)

Benefiti:

1. Poznavanje stanja mreže u realnom vremenu
2. Mogućnost automatskog reagovanja mreže na poremećaje u realnom vremenu
3. Povećanje pouzdanosti
4. Smanjenje i alokacija gubitaka



Upravljanje potrošnjom

1. DSM (Demand Side Management)
2. DR (Demand Response)

Benefiti za potrošača:

1. Smanjenje računa za el. energiju
2. Naknada za sistemske usluge

Benefiti za operatora sistema (ODS, DSO)

1. Povećani upravljački resursi
2. Smanjenje vršnih opterećenja
3. Veća pouzdanost prognoze potrošnje



Mikromreže su autonomni delovi mreže koji sadrže mali broj proizvodnih i potrošačkih jedinica, u idealnom slučaju i skladišta električne energije. Ovakve mreže po definiciji mogu da rade u izolovanom radu uz visok stepen automatizacije da bi se održala stabilnost rada.

Pametni gradovi su autonomni delovi mreže koji sadrže veći broj proizvodnih i potrošačkih jedinica, kao i skladišta električne energije. Ovakve mreže po definiciji predstavljaju interkonekciju većeg broja mikromreža.

Super mreže su autonomni delovi EES-a koji sadrže veliki broj proizvodnih i potrošačkih jedinica, kao i skladišta električne energije. Ovakve mreže po definiciji predstavljaju interkonekciju većeg broja pametnih gradova.

Smart grid architecture:

Smart centralized generation → Smart transmission → Smart distribution → Smart consumption

Key technologies and concepts:

- Wide-Area Monitoring & Control**: "Self-healing" Energy Management Systems (EMS). Diagram shows a network of generation, load, and communication nodes.
- Superconductors**: "0 resistance -0 losses". Graph shows resistance vs. temperature for "Classic" Conductor and Superconductor.
- HVDC**: "Direct Current". Diagram compares AC and DC transmission towers.
- Dynamic Line Rating**: "Adapt to the weather". Graph shows capacity vs. percent of time for cool/windy/cloudy vs. hot/calm/sunny conditions.
- Vehicles-to-Grid**: "Plug in to the grid". Diagram shows cars connected to the grid for energy exchange.
- Net Metering**: "Sell your surplus". Diagram shows a house with solar panels connected to the grid.
- PMU**: "Synchronized sensor". Diagram shows a synchronized sensor measuring voltage, frequency, phase change, and voltage change.
- Distribution Automation**: Fault detection and isolation, re-configuration and healing process.
- Predictive Algorithms**: Forecast demand, prevent failure. Diagram shows a flowchart of decision-making logic.
- FACTS, VVC, SVC**: "Maintain power quality". Diagram shows voltage profiles before and after power quality improvement.
- CVR**: "Conserve voltage, save energy". Graph shows traditional vs. improved voltage profiles with CVR technology.
- Fault Current Limiter**: "Absorb electric shock". Graph shows current profiles with and without FCL during a fault.
- Super-Grid**: "Interconnected micro-grids". Diagram shows interconnected grids.
- Demand-Response**: "Decrease peak load". Graph shows load profile with smart appliances reducing consumption.
- Optimize grid monitoring and control**: via ICT systems, sensors and power electronics.
- Enhance physical network capacity**: via new line type and power electronics.
- Enable active customer contribution**: via end-user devices.

Optimizacija monitoringa i upravljanja

Povećanje kapaciteta mreže

Učešće potrošnje

Uticaj na mrežu

- Kapitalni troškovi
- Eksploracija i održavanje

Uticaj na potrošača

- Kvalitet usluge
- Troškovi opreme
- Računi za el. en.

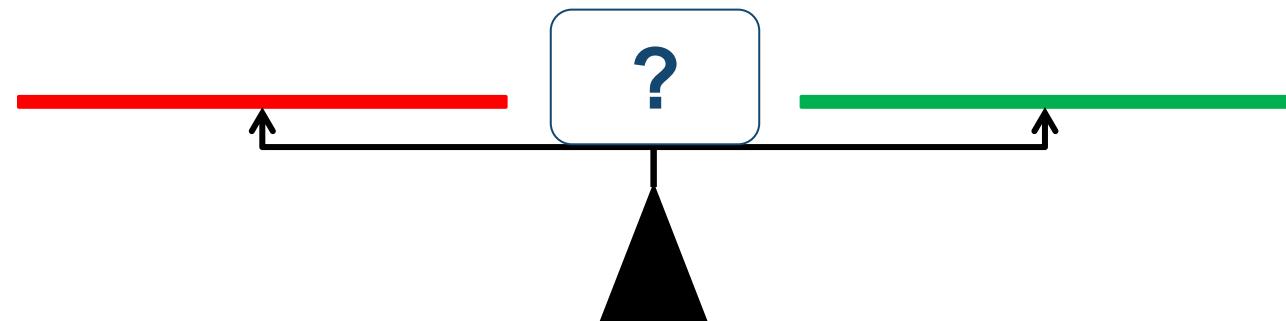
Socijalni uticaji

- Uticaj na životnu sredinu
- Indirektni ekonomski uticaj

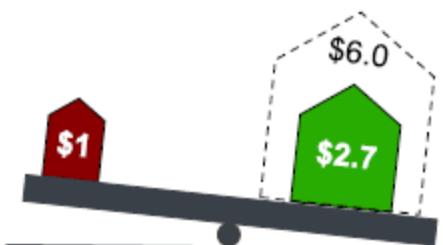
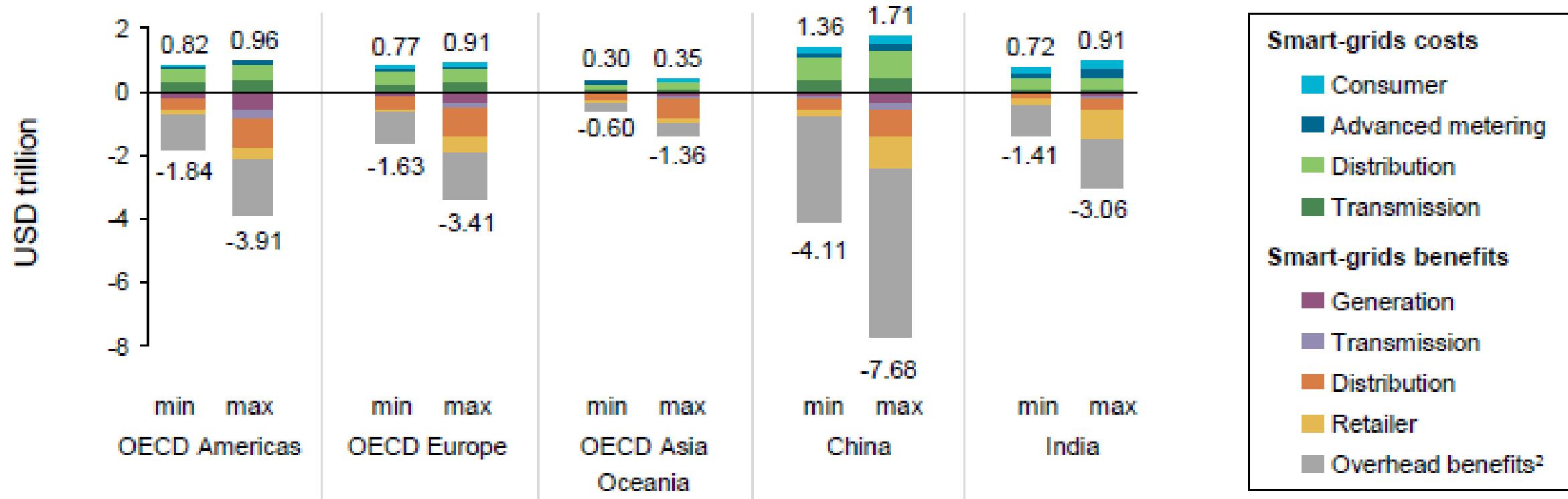
EU AND U.S. CLIMATE POLICIES

EU policy	2030 target	2050 target
GHG emissions-reduction target ²	40%	80-95%
Renewable energy (% of total energy production)	30%	-
Energy savings (% of primary energy)	20%	-

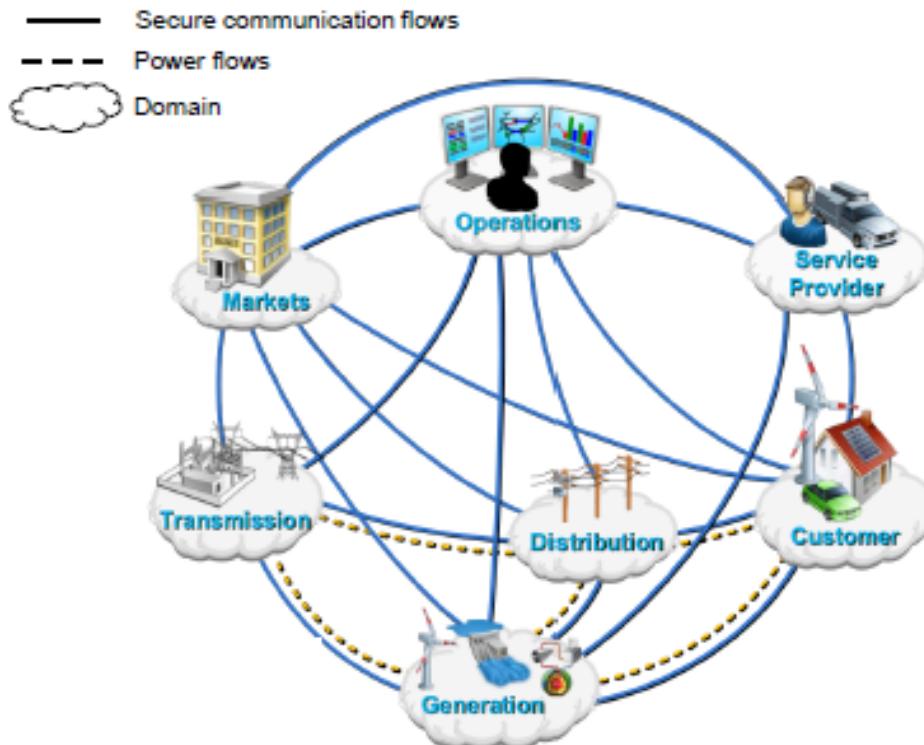
U.S. Policy	2020 target	2050 target
GHG emissions-reduction target ³	17%	83%
Renewable energy (% of total energy production)	20%	-
Energy savings (% of primary energy)	5%	-



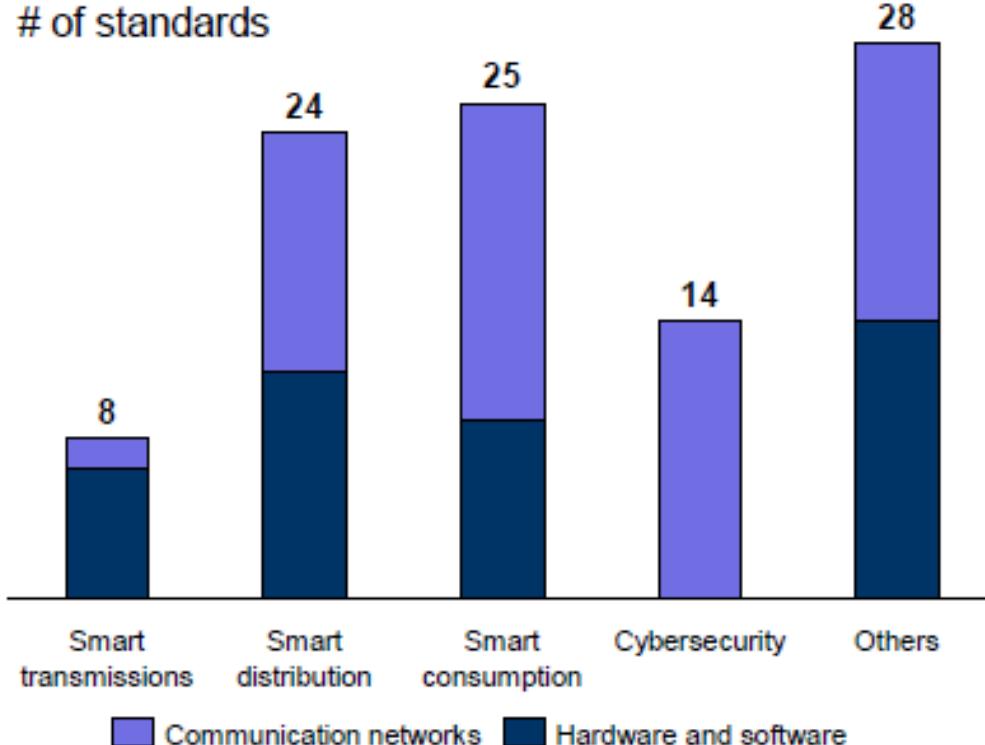
Cost-Benefit analiza intelligentnih mreža do 2050 [IEA]



INTERFACES IN THE ELECTRICITY GRID OF THE FUTURE



LIST OF STANDARDS IDENTIFIED # of standards



- Kompatibilnost
- Interoperabilnost
- Usvajanje novih tehnologija
- Brza implementacija

Najčešće korišćeni standardi i protokoli:

- Kontrola i WAMS:

IEC 61970, IEC 61968, IEC 60870-6, IEC 62325, Multispeak, OPC UA, C37.118

- Automatizacija distributivnih mreža:

IEC 61850, IEEE C37.1, IEEE 1379, IEEE 1646, DNP3, Modbus, COMTRADE, PQDIF, Fieldbus, PROFIBUS

- Distribuirani resursi i DR:

IEC 61400, DRBiznet, OpenADR, IEEE 1547

- Merenja

ANSI C12, M-Bus

- Električna vozila

SAE J1772, SAE J 2293, SAE J2836, SAE J2847, SAE J2931, SAE J2953

- Cyber security

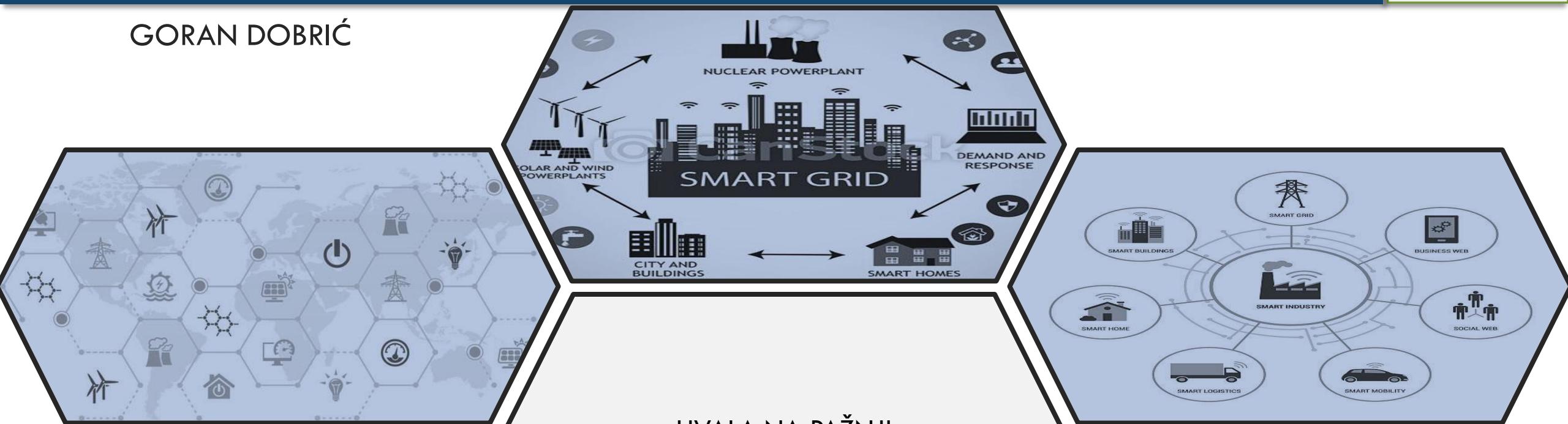
AMI-SEC, NERC CIP, 3, NISTIR 7628, IEC 62351

INTELIGENTNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE



ETF
BEOGRAD

GORAN DOBRić



HVALA NA PAŽNJI