Mreža ultravisokog napona i pametna mreža, čimbenici globalne energetske međupovezanosti

Vučina, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:155:602083

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Dubrovnik

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL

IVAN VUČINA

MREŽA ULTRAVISOKOG NAPONA I PAMETNA MREŽA, ČIMBENICI GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI

ZAVRŠNI RAD

DUBROVNIK, 2020.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
BRODOSTROJARSKI STUDIJ

MREŽA ULTRAVISOKOG NAPONA I PAMETNA MREŽA, ČIMBENICI GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Žarko Koboević

Pristupnik:
IVAN VUČINA

Komentor:
Anamarija Falkoni, mag. ing. mech.

Dubrovnik, 2020.

Republika Hrvatska

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

Preddiplomski sveučilišni studij brodostrojarstva

Ur. broj: Dubrovnik, 08. srpanj 2020.

Kolegij: Brodski električni uređaji

Mentor: izv. prof. dr. sc. Žarko Koboević

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: IVAN VUČINA

Zadatak: MREŽA ULTRAVISOKOG NAPONA I PAMETNA MREŽA, ČIMBENICI GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI

Zadatak treba sadržavati:

1. Uvod
2. Električna energija u svijetu
3. Uvjeti globalne međupovezanosti
4. Razvoj globalne energetske međupovezanosti
5. Rezultati planiranja globalne energetske međupovezanosti
6. Zaključak

Osnovna literatura:

1. »Global Energy Interconnection Development and Outlook,« Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization, 2017.

Mentor: Pročelnik Pomorskog odjela:

izv. prof. dr. sc. Žarko Koboević izv. prof. dr. sc. Žarko Koboević

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. ELEKTRIČNA ENERGIJA U SVIJETU 2
3. UVJETI GLOBALNE MEĐUPOVEZANOSTI 4
    3.1. Ultravisoki napon 5
        3.1.1. Ultravisoki napon u Kini 8
        3.1.2. Ultravisoki napon u Brazilu 9
        3.1.3. Ultravisoki napon u Indiji 10
    3.2. Čista energija 11
        3.2.1. Tehničke inovacije u području čiste energije 14
    3.3. Pametna mreža 15
4. RAZVOJ GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI 17
5. REZULTATI PLANIRANJA GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI . 22
6. ZAKLJUČAK 24

1. UVOD

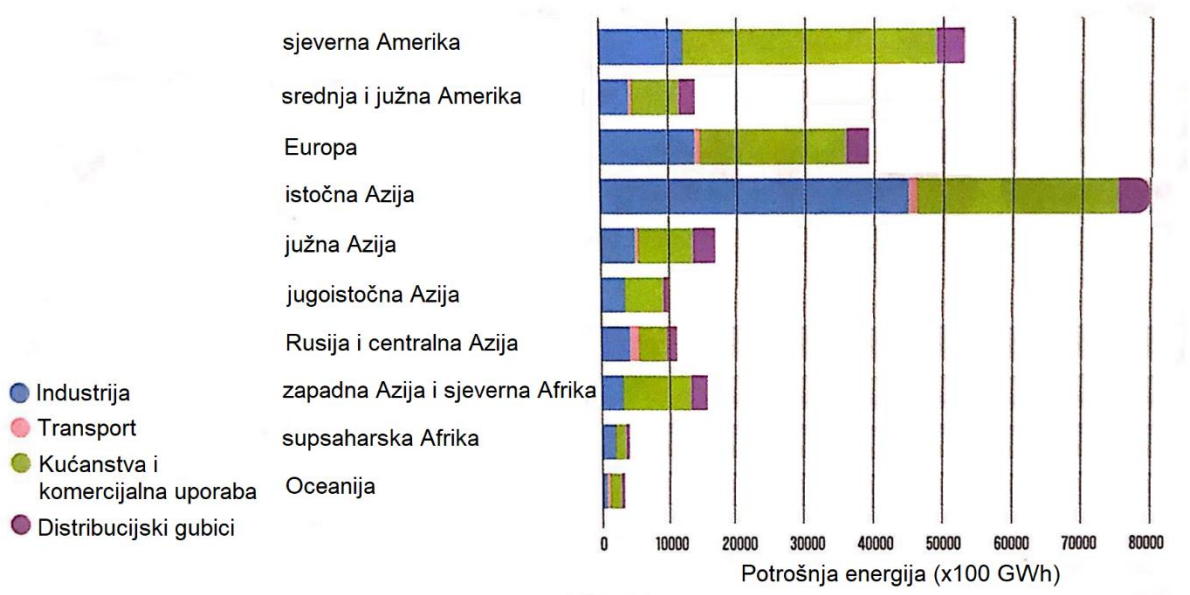
Pariški sporazum o klimatskim promjenama prvi je opći pravno obvezujući globalni klimatski sporazum. Njegov glavni cilj je smanjenje emisije ugljičnog dioksida u atmosferi i zadržavanja povećanja globalne prosječne temperature na razini nižoj od 2°C iznad razine u predindustrijskom razdoblju. Potpisalo ga je 195 zemalja, među njima i Europska Unija. Ovaj sporazum označava početak tranzicije iz doba koje je uvelike ovisno o fosilnim izvorima energije u moderno niskougljično društvo koje većinu svojih energetskih potreba dobiva iz čistih i obnovljivih izvora energije.

Za daljnji održivi razvoj industrije potrebno je zamijeniti fosilna goriva drugim izvorima energije. To je iznimno kompliciran i dugotrajan proces zato što se trenutno u svijetu suočavamo s dvostrukim izazovom; potrebno je sve više energije zbog globalnog rasta gospodarstva i broja ljudi, ali ta energija istodobno mora biti niskog ugljičnog intenziteta kako bi se ostvarili ciljevi zadani Pariškim sporazumom. Jedno od mogućih globalnih rješenja za taj problem je globalna energetska međupovezanost. To je koncept koji je nastao u Kini, prvoj državi koja ga aktivno promovira u svijetu. Nastao je kako bi se udovoljila potreba za rastom globalne potražnje za električnom energijom. Vizija globalne energetske međupovezanosti je stvaranje globalno povezane pametne mreže s ultravisokim naponom kao okosnicom transportnog sustava. Ovakav sustav može poslužiti kao platforma za opsežan razvoj, raspoređivanje i korištenje čiste energije. Temelji se na principu ubrzanja energetske tranzicije s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije. Izgradnjom mreže ultravisokog napona moguće je stvarati čistu energiju iz obnovljivih izvora energije u mjestima gdje je ima u izobilju te je koristiti na mjestima gdje je ona u tom trenutku potrebna.

U ovom radu će se dati pregled o potrošnji električne energije u svijetu po regijama i po industrijama. Bit će pojašnjen pojam globalne energetske međupovezanosti i njen potencijalni utjecaj na smanjivanje ovisnosti o fosilnim gorivima i na povećanje udjela proizvedene energije iz obnovljivih izvora energije. Prikazat će se dovršeni projekti i rezultati koje su oni ostvarili, kao i projekti koji su planirani u neposrednoj budućnosti.

2. ELEKTRIČNA ENERGIJA U SVIJETU

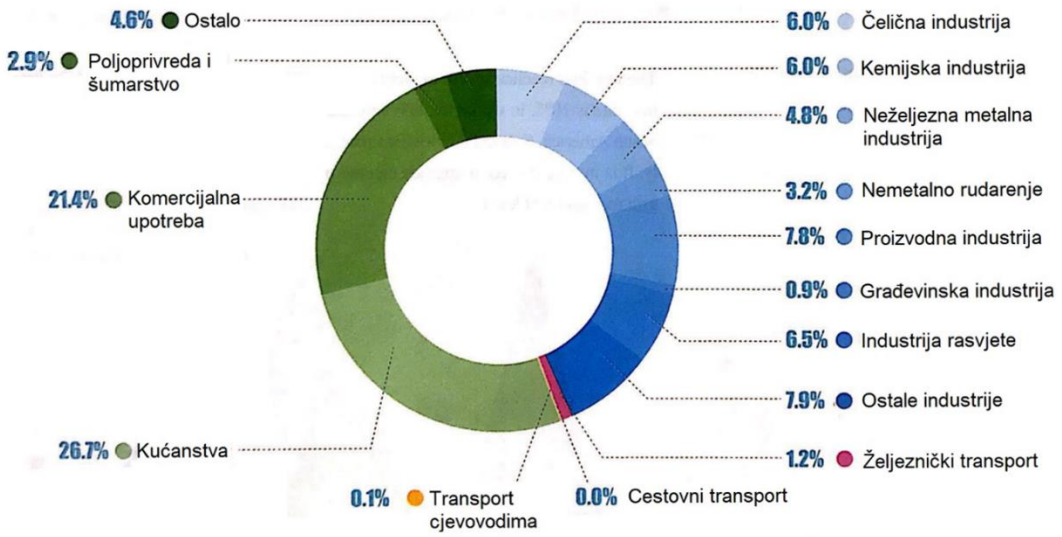
Za bolje razumijevanje osnovnih ideja globalne energetske međupovezanosti, potrebno je proučiti trenutnu potrošnju i potražnju za električnom energijom. Ukupna potrošnja električne energije u svijetu iznosila je 20,9 bilijuna kWh. Od toga, u industrijskom sektoru udio potrošnje je 43%, a u komercijalnom sektoru i kućanstvima 48,1% ukupne potrošnje električne energije u svijetu. Iako je cestovni transport zaslužan gotovo za četvrtinu globalne potrošnje energije, on zauima samo 0,02 % potrošnje električne energije. Ta činjenica ostavlja velik prostor za zamjenu klasičnih motora s unutarnjim sagorijevanjem s novim električnim tehnologijama. Detaljniji raspored potrošnje električne energije po sektoru i regijama može se vidjeti na slikama 1. i 2 [1].



Slika 1. Potrošnja energija po regijama za 2016. godinu [1]

Iz podataka za potrošnju električne energije u svijetu za 2016. godinu, vidljivo je da je potrošnja energije po glavi stanovnika nejednako raspoređena po svijetu. U razvijenim regijama poput sjeverne Amerike i sjeverne Europe potrošnja energije po glavi stanovnika može iznositi više od 10 000 kWh. U manje razvijenim regijama, poput centralne Afrike i južne Azije, potrošnja energije po glavi stanovnika je ispod 500 kWh, a neke još manje razvijene države unutar regije imaju ispod 100 kWh. Globalni distribucijski gubitci u svijetu dosežu vrijednosti od 2.1 bilijuna kWh te u prosjeku iznose 10% od ukupne potrošnje električne energije. Ipak, manje razvijene regije u svijetu, poput centralne i južne Azije, srednje i južne Amerike i supsaharske Afrike imaju linijske gubitke čak do 25%. Za njihovo

smanjivanje potrebno je unaprijediti infrastrukturu električne energije i promovirati bolju uporabu električne mreže [1].



Slika 2. Struktura potrošnje energije za 2016. godinu [1]

Uvoz i izvoz energije mnogih država ovisi o potrebi za uvozom i izvozom fosilnih goriva i električne energije. Volumen trgovanja električnom energijom uvelike ovisi o stupnju razvoja tržišta električne energije i infrastrukture energetske mreže. Trenutno se uvoz i izvoz električne energije između različitih država odvija uglavnom u Europi i sjevernoj Americi te je relativno slab u ostalim regijama. Kakav je taj odnos po regijama može se vidjeti u tablici 1.

Tablica 1. Ukupan uvoz i izvoz energije po regijama u 2016 (jedinica x 100 GWh) [1]

Uvoz/ izvoz energije	sj. Amerika	sred. i j. Amerika	Europa	ist. Azija	j. Azija	jugoist. Azija	Rusija i cent. Azija	zap. Azija i sj. Afrika	supsah. Afrika	Oceanija
Uvoz nafte	5,55	1,53	10,77	8,13	2,67	3,4	0,11	1,74	0,85	0,56
Izvoz nafte	5,27	2,39	5,75	1,34	0,71	1,61	4,13	11,87	2,46	0,16
Uvoz plina	1,08	0,3	4,16	1,96	0,16	0,3	0,12	0,37	0,04	0,06
Izvoz plina	1,07	0,38	2	0,02	0	0,78	02,33	1,75	0,25	0,31
Uvoz ugljena	0,16	0,26	1,94	3,19	1,4	0,51	0,17	0,15	0,02	0
Izvoz ugljena	0,58	0,57	0,48	0,33	0	2,29	1,15	0	0,57	2,72
Uvoz el. energije	930	470	5074	67	124	205	245	290	288	0
Izvoz el. energije	929	461	5110	33	119	174	343	186	291	0

Uvoz i izvoz energije uz ekonomsku strukturu utječe na energetsku ovisnost različitih država. Regije s visokom energetskom ovisnošću podijeljene su u dvije osnovne kategorije:

- Razvijene regije s nebalansiranom unutarnjom ponudom i potražnjom
  - regije ovisne o uvozu: Europa, sjeveroistočna Azija
  - regije ovisne o izvozu: zapadna Azija i sjeverna Afrika
- Nerazvijene regije s nebalansiranom ekonomskom strukturom
  - regije ovisne o uvozu: južna Azija, istočna Afrika, srednja Amerika
  - regije ovisne o izvozu: zapadna Afrika

3. UVJETI GLOBALNE MEĐUPOVEZANOSTI

Pružanje pristupačne i stabilne cijene opskrbe energijom te potreba da sama energija bude održiva i da smanji negativan utjecaj na klimatske promjene osnovni je cilj gospodarskog napretka. Za njegovo ispunjenje potrebna su velika ulaganja u novu energetsku infrastrukturu i tehnologiju te nadogradnja postojećih sustava isporuke energije. Energetski sustavi budućnosti koji bi ispunili navedene ciljeve najprije moraju uvelike smanjiti ovisnost o fosilnim gorivima, povećati efikasnost dobave i udio obnovljivih izvora energije. Drugi korak prema cilju napretka je progresivno povezivanje takvih energetskih sustava na globalnoj razini.

Obnovljivi izvori energije u velikoj su mjeri ograničeni vremenom i prostorom. Najveći izvori vjetra i sunčeve energije često se nalaze daleko od centara njihove potražnje (npr. energija vjetra na sjeveru Kine ili sunčeva energija na jugozapadu SAD-a). Tehnološki napredak iskorištavanja energije vjetra i sunčeve energije omogućuje da se njihove elektrane grade u teško dostupnim područjima (primjerice, u dubokim morima, pustinjama, visokim nadmorskim visinama) pa je potrebno omogućiti uspješan prijenos te energije do mjesta uporabe. Gradnja hidroelektrana, kao danas najvećih izvora čiste energije, ograničena je zemljopisnim položajem pogodnih prirodnih resursa, a isto vrijedi i za manje korištene obnovljive izvore tehnologije poput geotermalne, valne ili energije plimnih valova.

Kako bi se zadovoljio zahtjev za električnom energijom na većim područjima, potrebno je međusobno povezati energetske sustave. Za povećanje ukupne efikasnosti energetskog sustava poželjno je održavati potrošnju energije konstantnom. Primjerice,

povezivanje zimske potrošnje energije jedne regije s ljetnom potrošnjom druge regije može dovesti do smanjenja vršnog opterećenja mreže. Do istog učinka došlo bi i kod umreženih regija u različitim vremenskim zonama.

Takvu ideju o globalnoj energetskoj međupovezanosti prvi put je predstavila kineska korporacija *State Grid Corporation of China* (državna korporacija za električne mreže). [2] Globalna energetska međupovezanost predstavlja krajnji stupanj prirodne progresije energetskih mreža prema sve većem stupnju međusobne povezanosti. Ona obuhvaća globalno povezan sustav energije infrastrukturom pametne mreže i optimalno korištenje tehnologije ultravisokog napona za prijenos energije na velike udaljenosti. Takve velike energetske mreže tvorile bi okosnicu opsežne primjene čiste energije. One omogućuju da se elektrane raspodjele po mjestima gdje ima najviše resursa.

Stvaranje sustava globalne energetske međupovezanosti zahtijevalo bi mnogo veću potražnju za električnom energijom od današnje te povećanu razinu elektrifikacije. To se najviše odnosi na industrijske procese koji su se tradicionalno oslanjali na fosilna goriva (korištenje motornih vozila) te na povećanu potražnju za električnom energijom (grijanja, hlađenja i potrošnja energije uređaja za stambeni i komercijalni sektor).

Koncept globalne energetske međupovezanosti sagrađen je na tri principa [3]:

1) prijenos energije na velikim udaljenostima, što zahtijeva tehnologiju ultravisokog napona,
2) razmještaj velikih razmjera čiste energije, posebno obnovljivih izvora energije, zajedno s visokom razinom elektrifikacije,
3) rješenja pametne mreže koja omogućuje inteligentno korištenje nadzora i kontrole na svim razinama napona.

3.1. Ultravisoki napon

Prve studije o izvedivosti ultravisokog napona izmjenične struje pokrenute su već 1986. godine [4]. U razdoblju od 1990. do 1995. godine provedene su prve demonstracije načina prijenosa energije na velike udaljenosti i naponske klase. Kina je postigla nekoliko rezultata u istraživanju prijenosa ultravisokog napona izmjenične struje do 2006. godine. Pritom su riješeni ključni problemi vezani za izgradnju demonstracijskog projekta ultravisokog napon te su bolje shvaćene osnovne karakteristike prijenosa ultravisokog napona

izmjenične struje i mreže. Dobiveni su preliminarni rezultati za ključne tehnologije kao što su granična vrijednost elektromagnetskog okruženja ultravisokog napona, razina prenapona, reaktivna konfiguracija, koordinacija izolacije i zaštita od groma. Ti parametri bili su temelj studije izvodljivosti o prijenosu energije ultravisokim naponom i osigurali su veliku količinu pouzdanih i točnih podataka za izradu prvih dizajna.

U svijetu se pojavljuje sve više projekata prijenosa energije ultravisokim naponom za izmjeničnu i istosmjernu struju. Kina je trenutno prva zemlja u svijetu po broju takvih projekata. Projekt izrade sustava za prijenos istosmjerne struje ultravisokog napona (± 1100 kV) na relaciji Zhungdong – Wannan dovršen je 2019. godine. Ova mreža u 2020. godini ima najveću voltažu u svijetu, najveći transportni kapacitet i najveću udaljenost prijenosa energije (3324 km) [4].

Kina je postala pionir u razvoju prijenosa snage ultravisokim naponom za istosmjernu i izmjeničnu struju zbog velikih investicija u razvoj tehnologije i gradnju mreže ultravisokog napona. Do 2016. godine doprinijela je uvođenju 33 nacionalna standarda i čak 41 industrijski standard. Neki od važnih dostignuća kojima su doprinijeli projekti u Kini su [1]:

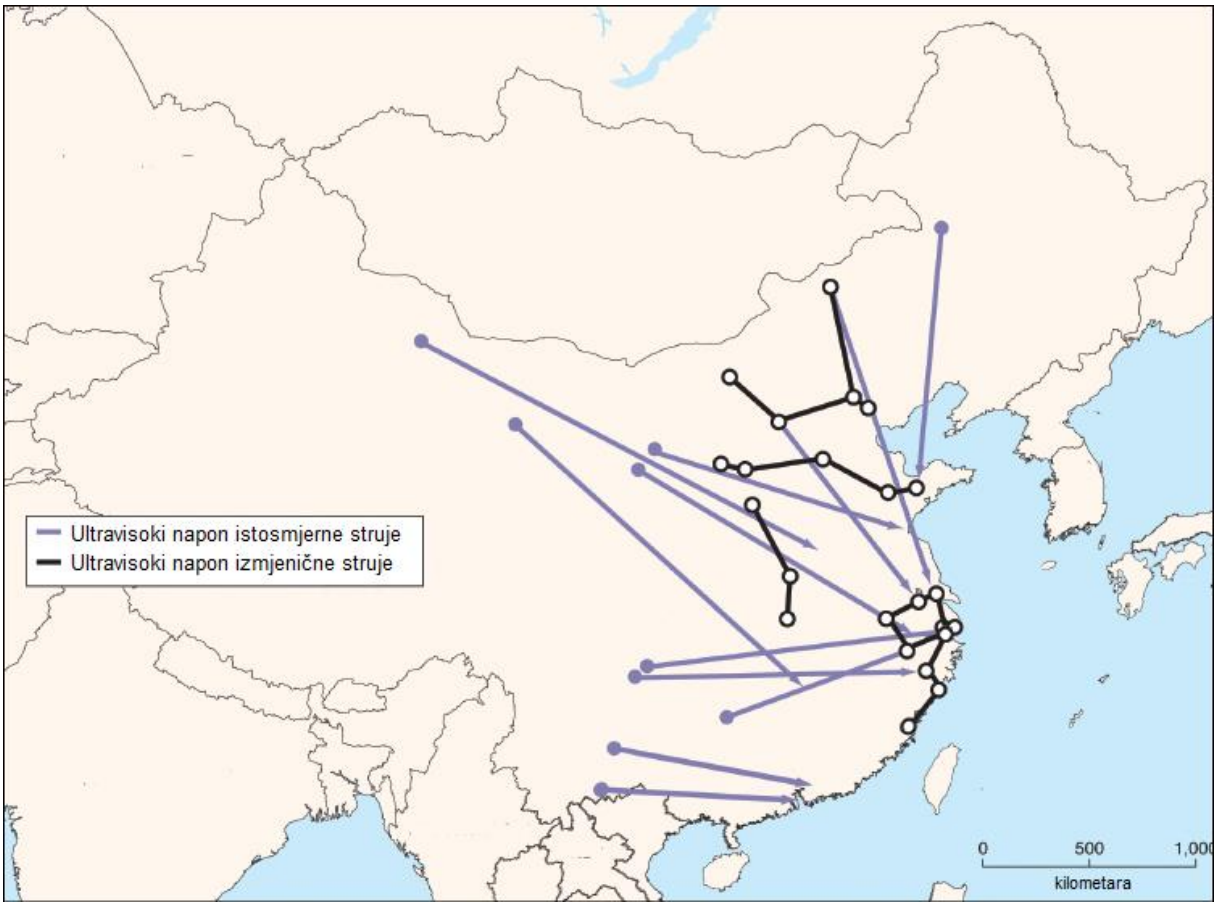
1) Provođenje studija potrebnih za razvoj tehnologije ultravisokog napona:
    - ✓ studija optimizacije dizajna ultravisokog napona za izmjeničnu struju,
    - ✓ studija o ključnim tehnologijama za hvatače groma koji se aktiviraju na sklopku (smanjena izolacija za 15%),
    - ✓ formulirana konfiguracija vanjske izolacije i planova zaštite okoliša od elektromagnetskih valova za projekte napona ± 1100 kV,
    - ✓ studija o utjecaju stvaranja leda i ostalih ekstremnih klimatskih uvjeta na 1100 kV mreži za ultravisoki napon istosmjerne struje.
2) Područje električne izolacije i kontrola onečišćenja okoliša elektromagnetnim valovima:
    - ✓ proučavanje karakteristika ± 1100 kV mreže na vanjsku izolaciju i udaljenost pri kojoj se pojavljuje električni proboj zraka,
    - ✓ istražene operativne sposobnosti izolatora pri uvjetima magle, kiše, snijega i prljavštine,
    - ✓ provedena ispitivanja za utjecaj elektromagnetnih valova 1100 kV mreže istosmjerne struje i njihov utjecaj na okruženje zakopanih naftnih i plinskih cjevovoda.
3) Razvoj opreme za prijenos istosmjerne struje ultravisokim naponom:

- ✓ prvi put primijenjen silicijev kontrolirani ispravljač pri 5000 A,
- ✓ projektiran transformator za napon 1100 kV.

4) Razvoj opreme za prijenos izmjenične struje ultravisokim naponom:
   - ✓ razvijen plinski izolirani prijenosni vod i njihova primjeni kao sabirnice u elektranama,
   - ✓ razvoj transformatora za ultravisoki napon izmjenične struje snage 1500 MVA koji se mogu spojiti na terenu.

3.1.1. Ultravisoki napon u Kini

U Kini je sagrađeno preko 20 mreža ultravisokog napona do kraja 2019. godine. Njihov razmještaj se može vidjeti na slici 3., kao i njihov detaljan opis u tablici 2. Trenutno je u izgradnji još pet mreža, tri za izmjeničnu struju i dvije za istosmjernu struju. Ovaj razvoj izgradnje električne mreže uvelike omogućuje uporabu velikih količina obnovljivih izvora hidroenergije iz rijeka Yalong, Yangtze i Mekong, energije vjetra iz gradova Zhundong i Jiuquan i solarne energije iz grada Hami. Kineska korporacija *State Grid Corporation of China* očekuje daljnji razvoj čiste energije temeljene na velikoj električnoj mreži, čiji se kapacitet planira proširiti do 220 GW [1].



Slika 3. Prikaz mreža ultravisokog napona u Kini 2018. godine [5]

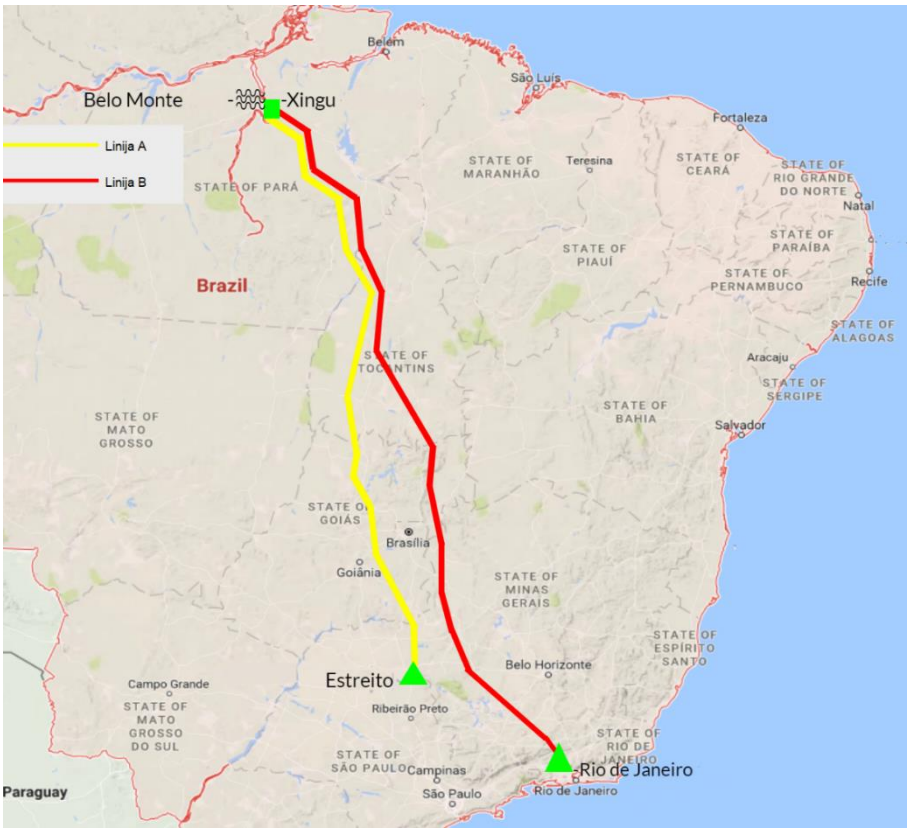
Tablica 2. Pregled dovršenih transportnih mreža električne energije ultravisokog napona [6]

Ime	Vrsta struje	Voltaža (kV)	Dužina (km)	Snaga (GW)	Godina završetka
Jindongnan - Nanyang - Jingmen	AC	1000	640	5	2009-01
Yunnan - Guangdong	DC	±800	1373	5	2009-12
Xiangjiaba - Šangaj	DC	±800	1907	6	2010-07
Jinping - Southern Jiangsu	DC	±800	2059	7	2012-12
Huainan - Zhejiang North - Šangaj	AC	1000	2×649	8	2013-09
Nuozadu - Guangdong	DC	±800	1413	5	2013-11
Hami - Zhengzhou	DC	±800	2192	8	2014-01
Xiluodu - Zhejiang West	DC	±800	1653	8	2014-07
Zhejiang North - Fuzhou	AC	1000	2×603	7	2014-12
Huainan - Nanjing - Šangaj	AC	1000	2×780		2016-04
Xilingol League - Shandong	AC	1000	2×730	9	2016-08
Lingzhou - Shaoxing	DC	±800	1720	8	2016-11
Inner Mongolia West - Tianjin	AC	1000	2×608	5	2016-11
Jiuquan - Hunan	DC	±800	2383	8	2017-06
Shanxi North - Jiangsu	DC	±800	1119	8	2017-07
Xilingol League - Shengli	AC	1000	2×236,8		2017-08
Yuheng - Weifang	AC	1000	2×1050		2017-08
Xilingol League - Jiangsu	DC	±800	1620	10	2017-10
Shanghaimiao - Shandong	DC	±800	1238	10	2017-12
Dianxi - Guangdong	DC	±800	1953	5	2018-05
Zhundong - Wannan	DC	±1100	3400	12	2018-10
Shijiazhuang - Xiong'an	AC	1000	2×222,6		2019-06

3.1.2. Ultravisoki napon u Brazilu

Prva faza izgradnje projekta nazvanog Belo Monte potpisana je u siječnju 2016. godine u Brazilu. Time je započeta izgradnja dalekovoda za transport energije ultravisokim naponom istosmjerne struje ± 800 kV. U prvoj fazi projekta sagrađeno je 2084 kilometra dalekovoda, jedna pretvaračka stanica Xingu (kapacitet 4 GVA) i jedna pretvaračka stanica Instanredu (kapacitet 3.85 GVA). Druga faza projekta je izgradnja dalekovoda na relaciji Xingu – Rio čija bi udaljenost trebala iznositi 2518 km. Obje faze projekta su prikazane na slici 4 [1].

Pomoću ove dvije linije ultravisokog napona trebala bi se transportirati energija dobivena hidroelektranom Belo Monte. Ova hidroelektrana četvrta je po veličini u svijetu s instaliranim kapitetom od 11.3 GW i trebala bi opskrbljivati energijom jug Brazila [1].

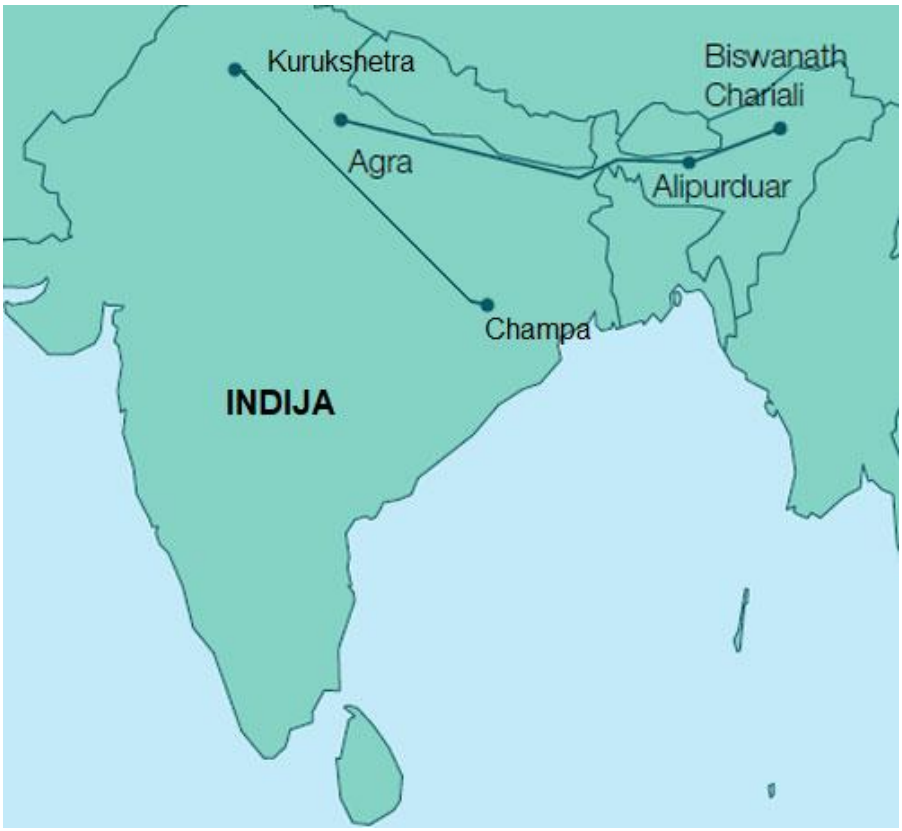


Slika 4. Prikaz transportne linije ultravisokog napona u Brazilu [7]

3.1.3. Ultravisoki napon u Indiji

Indijska korporacija *Power Grid Corporation of India* (državna korporacija za električne mreže) je u fazi izvedbe projekta izgradnje dalekovoda za transport istosmjerne struje ultravisokog napona ± 800 kV. Cilj je spojiti gradove Assam na sjeveroistoku Indije i Agru na sjeveru Indije. Dalekovod je dug 1728 km i posjeduje transportni kapacitet od 6 GW. Prva faza projekta dovršena je u kolovozu 2015. godine čime je spojena pretvaračka stanica u Agri i stanica u Biswanath Charialiju. Drugi dio projekta izrada je druge pretvaračke stanice u Alipurduaru u kojoj će raditi tri terminala izmjenične struje. Ovim projektom planiran je dovod električne energije dobivene hidroelektranama na istoku zemlje u industrijske centre sjeverne Indije.

Drugi projekt izgradnje dalekovoda za prijenos energije ultravisokim naponom istosmjerne struje pušten je u uporabu 2015. godine. On spaja gradove Champa i Kurukshetra i ima transportni kapacitet od 3 GW. Izgradnja ovog sustava omogućuje transport viška termalne energije u potrebne industrijske centre na sjeveru. Obje linije ultravisokog napona prikazane su na slici 5.



Slika 5. Prikaz transportne linije ultravisokog napona u Indiji [8]

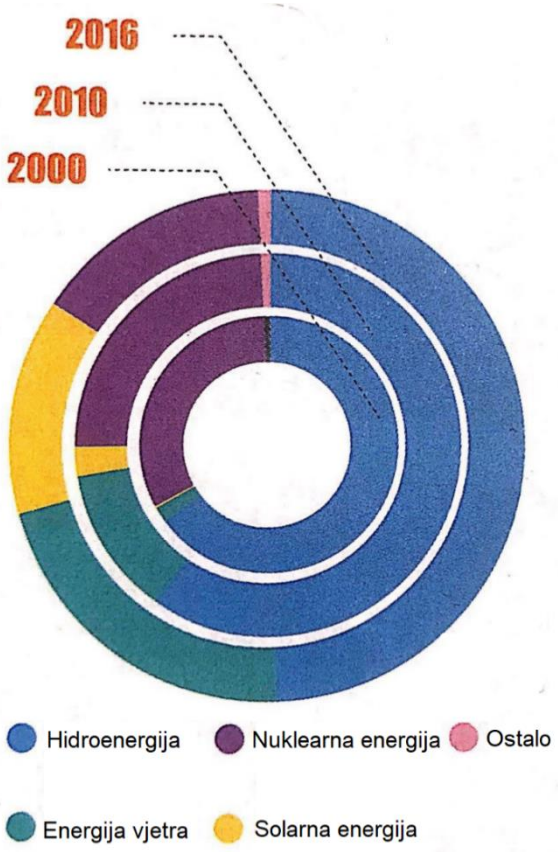
3.2. Čista energija

Resursi obnovljivih izvora energije nepresušni su i imaju velik razvojni potencijal. Energetska revolucija s energijom vode, vjetra i sunčeve energije treba postati pokretač ekonomskog i tehnološkog razvoja u svijetu, osobito ako se žele dosegnuti ciljevi zacrtani Pariškim sporazumom o klimatskim promjenama.

Globalni instalirani kapacitet obnovljivih izvora energije procjenjuje se na 2400 GW. Na slici 6. vidljiv je porast udjela energije vjetra i sunca, a udio nuklearne energije se smanjuje. Zbog velikih sigurnosnih rizika i potencijalnog zagađenja okoliša nuklearnim otpadom vrlo je vjerojatno da će se udio nuklearne energije smanjivati u budućnosti. Solarna energija ima najveći porast kapaciteta s godišnjim porastom od čak 30% [1].

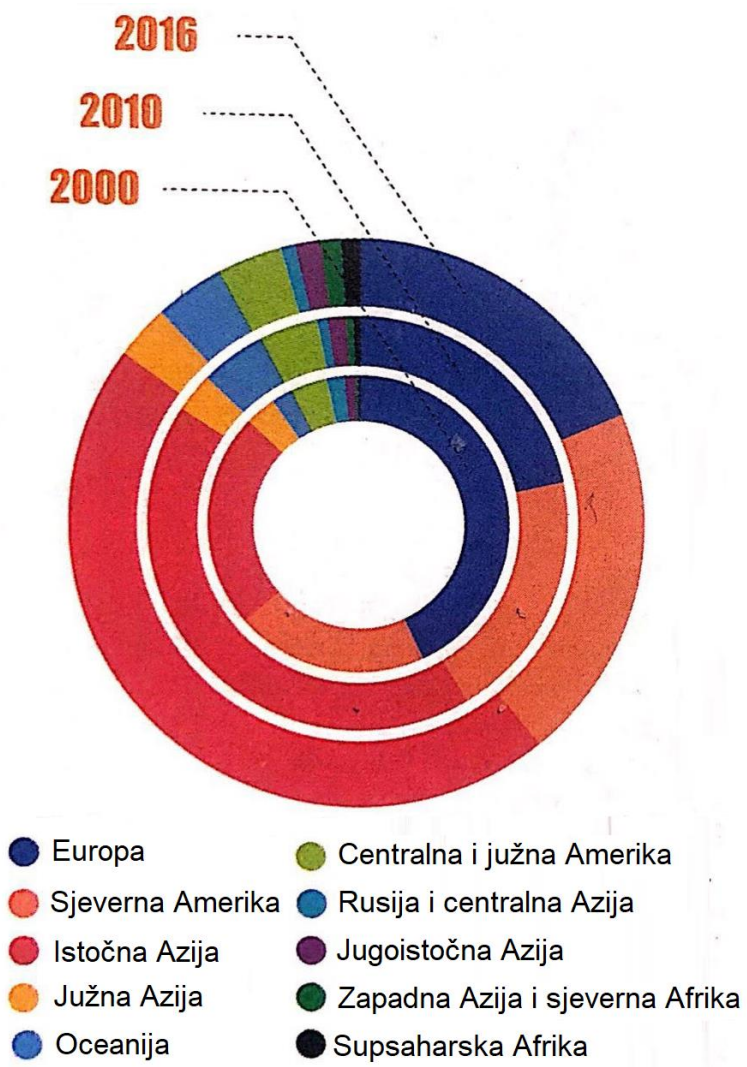
Svjetske investicije u obnovljive izvore energije iznosile su 287,5 milijardi dolara u 2016. godini. Solarna energija i energija vjetra imale su približno jednake investicije (oko 40% ukupnih investicija). Udio ostalih obnovljivih izvora energije (energija biomasa, geotermalna energija) u ukupnim investicijama iznosi otprilike 5%. Najveći porast od 40% u odnosu na godinu prije zabilježen je kod odobalnih vjetroelektrana (engl. *offshore wind*

power). Investicije u obnovljive izvore energije regionalnog su karaktera što se bolje vidi na dijagramu na slici 7. Investicije azijskih zemalja iznosile su 47% ukupnih investicija u obnovljive izvore energije za 2016. godinu. Investicije u Kini čine 65% svih ulaganja u Aziji čime se ta zemlja može smatrati globalnim liderom u investicijama u čistu energiju [1].



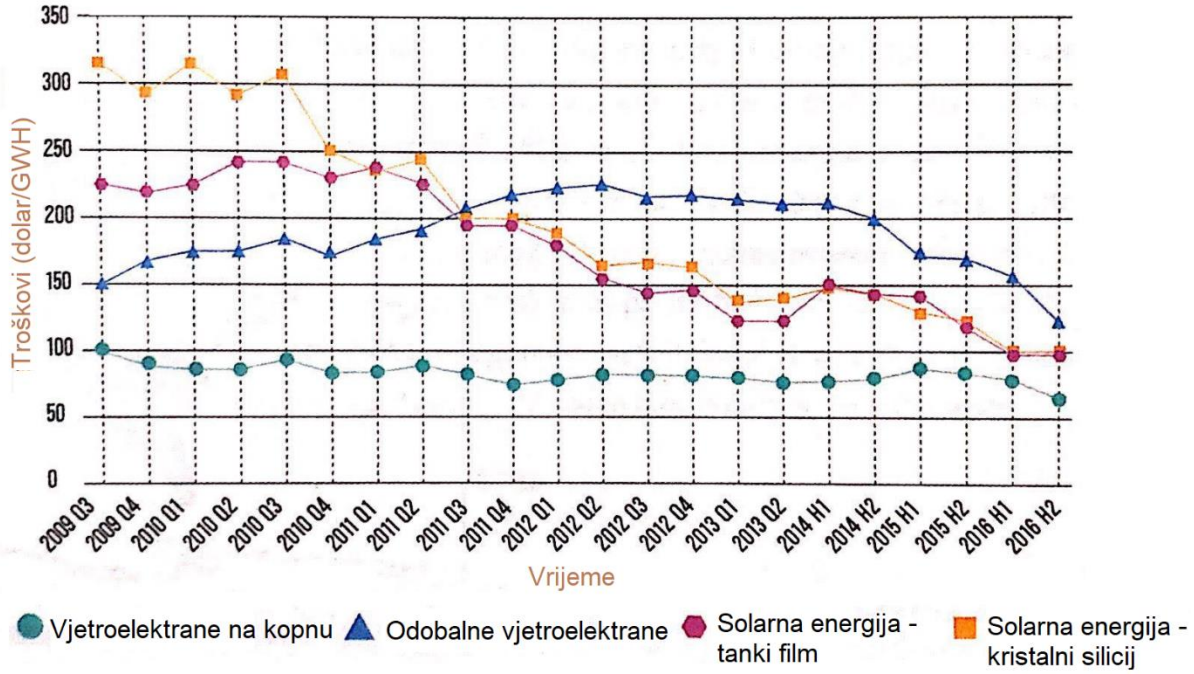
Slika 6. Udio proizvedenih obnovljivih izvora energije u svijetu [1]

Investicije u obnovljive izvore energije trenutno vode ekonomski razvoj zemalja koje u njih ulažu. Taj trend premješta se iz razvijenih ekonomija u Europi i sjevernoj Americi do ekonomija u razvoju, poput Kine i Indije. Projekti ulaganja u čiste izvore energije su kapitalno intenzivni te je potrebno dulje vrijeme do povratka investicije. Unatoč tomu, koncept čistog niskougljičnog razvoja, dobri tržišni mehanizmi i jaka infrastruktura Europe i sjeverne Amerike snažan su faktor za nastavak ulaganja. S razvojem tehnologije u svijetu i smanjenjem cijena, očekuje se da će azijske države biti vodeće u budućem razvoju čiste energije. To se vidi brzim porastom udjela u svjetskim investicijama.



Slika 7. Udio investicija u obnovljive izvore energije po različitim regijama [1]

Troškovi dobivanja električne energije solarnim elektranama ili vjetroelektranama smanjuju se u svijetu zbog tehnološkog napretka. Taj trend može se detaljnije promotriti na slici 8. Cijena vjetroelektrane na kopnu smanjena je za 18% u prvoj polovici 2016. godine. Sličan pad može se primijetiti kod solarne energije, a najveći pad primijećen je za odobalne vjetroelektrane. Tržišna cijena proizvodnje čiste energije u odnosu na konvencionalne izvore energije znatno varira u različitim regijama. U bliskoj budućnosti postoji veliki potencijal daljnjeg smanjenja troškova čiste energije.



Slika 8. Tendencija troškova za proizvodnju solarne energija i energije vjetra [1]

3.2.1. Tehničke inovacije u području čiste energije

Tehnologiju rada turbina bez oštrica razvila je španjolska kompanija *Vortex Bladeless*. Ova vrsta turbina koristi nestabilne karakteristike aerodinamike zvane von Karmanovi vrtlozi. Dolazi do sinkronizacije turbine s brzinom vjetra kako bi se spriječila rezonancija, maksimizirala oscilacija te kako bi se zadržala mehanička energija i transformirala u električnu energiju. Ovom tehnologijom eliminiraju se oštrice iz turbine, prostor za motor, transmisija i sustav za upravljanje. Na ovaj način se smanjuje abrazija do 20%, povećava ušteda (0,035$/kWh), olakšava instalacija i povećava se životni vijek turbine. Treba naglasiti da su ispitivanja na terenu zabilježila smanjenje efikasnosti iskorištavanja energije vjetra do 30% u odnosu na tradicionalne turbine na vjetar [1].

Tvrtka *Nectar Design* razvila je rotacijske fotonaponske ćelije za poboljšanje efikasnosti iskorištavanja solarne energije. One su sposobne apsorbirati solarnu energiju pod svim kutevima tako da se iskorištava njihova struktura u obliku stošca (slika 9.). Ovakav dizajn fotonaponske ćelije omogućuje generiranje do 20 puta više električne energije od klasičnih statičnih ravnih solarnih panela [9]. Oni zauzimaju manje prostora i imaju veću iskoristivost u usporedbi s tradicionalnim panelima.

Slika 9. Rotacijske fotonaponske ćelije [9]

Sveučilište *University of California Berkeley* i laboratorij *Lawrence Barkeley National Laboratory* radili su eksperimente za poboljšanje materijala za solarne ćelije. Uspjeli su spojiti dva tipa materijala za solarne ćelije od perovskita. Time je omogućeno apsorbiranje sunčevih zraka različitih valnih duljina, skupljanje fotona na velikom dijelu spektra i njihova pretvorba u energiju. Izmjerena efikasnost ovog spoja iznosila je od 18,4% do 21,7%, s maksimalnom vrijednošću od 26% [1].

3.3. Pametna mreža

Pametna mreža obuhvaća sve što se koristi za isporuku struje iz elektrane do potrošača (primjerice, električnu mrežu, mrežu dalekovoda, trafostanica, transformatora). Mora se automatizirati i upravljati sve većom složenošću i potrebama za električnom energijom u 21. stoljeću. Ono što pametnu električnu mrežu čini iznimnom je njezina sposobnost obavljanja dvosmjerne komunikacije između uslužnog programa i njegovih kupaca te sposobnost prikupljanja podataka o vlastitoj uporabi duž transportnih linija. Sastoji se od novih tehnologija i opreme koji rade u sklopu električne mreže, a potrebna je kako bi zadovoljila zahtjeve za ubrzanim mijenjanjem potreba potrošača za električnom energijom.

Primjena pametnih mreža prilika je za premještanje energetske industrije u novo razdoblje pouzdanosti, dostupnosti i učinkovitosti. Glavne prednosti unaprjeđenja mreže su [10]:

- učinkovitiji prijenos električne energije,
- brže vraćanje u funkciju električne energije nakon poremećaja,
- smanjeni troškovi rada i upravljanja komunalnim uslugama, pri čemu dolazi do nižih troškova električne energije za krajnje potrošače,
- smanjuje se vršna potrošnja energije, što također smanjuje cijenu električne energije,
- povećana integracija velikih sustava obnovljivih izvora energije,
- poboljšana sigurnost.

Nestanak struje može izazvati niz kvarova koji mogu utjecati na bankarstvo, komunikacije, promet i sigurnost. To je posebna opasnost zimi kada vlasnici kuća mogu ostati bez grijanja. Pametna mreža dodaje faktor sigurnosti elektroenergetskom sustavu i bolje se priprema za rješavanje izvanrednih situacija (oluje, potresi, i teroristički napadi). Ona omogućuje automatsko preusmjeravanje u slučaju kvara ili prekida opreme zahvaljujući dvosmjernom interaktivnom kapacitetu. Nove tehnologije pomažu da se oporavak električne energije nastavi brzo i strateški nakon nepredviđenih situacija. Na primjer, najprije će usmjeriti električnu energiju do hitnih službi. Tehnologija pametne mreže može poslužiti i za rješavanje problema starenja energetske infrastrukture koju je potrebno nadograditi ili zamijeniti. To je način da se istakne energetska efikasnost obrazovanjem krajnjih korisnika kako bi doprinijeli očuvanju okoliša.

Ministarstvo trgovine, industrije i energije Južne Koreje promoviralo je ideju o energetski neovisnom otoku na kojem će se koristiti pametna mreža [11]. Ova ideja je poslužila kao demonstracija poslovnih prilika u energetskoj industriji. Otok Gaza u provinciji južna Jeolla ostvario je energetsku neovisnost primjenom obnovljivih izvora energije. To obuhvaća rad četiri vjetroelektrane kapaciteta 100 kW i solarna elektrana kapaciteta 314 kW, kao i skladišni kapacitet od 3 MWh. Pametna mreža ograničava dobavu električne energije ovisno o količini energije koja se troši u realnom vremenu. Sav višak električne energije sprema se u skladišni kapacitet (do 24h) iz kojeg se otpušta za period smanjenja količine dostupne energije.

Higashi Matsushima obalni je japanski grad u okolici Fukushime koji je 2015. godine dovršio gradnju projekta "Eko grad spreman za katastrofe" [12]. Ovaj projekt obuhvaćao je gradnju 85 stambenih jedinica, društvene ustanove i četiri bolnice. Energija se proizvodi iz fotonaponskih solarnih panela kapaciteta 460 kW, generatora snage kapaciteta 500 kVA pogonjenog biodizelom te je sagrađen skladišni kapacitet od 480 kWh. Stanovnici grada i bolnice su mogli trošili energiju koja se stvara lokalnim putem. Pametna mreža služila je za nadgledanje ponude i potražnje električne energije na temelju čega su skladišni kapaciteti punjeni ili pražnjeni. Skladišni kapaciteti mogu osigurati tri dana opskrbe električnom energijom u slučaju da dođe do prirodne katastrofe. Ovaj projekt napravljen je zbog tsunamija iz 2011. godine koji je onemogućio opskrbu strujom bolnice i kućanstva na tri dana.

4. RAZVOJ GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI

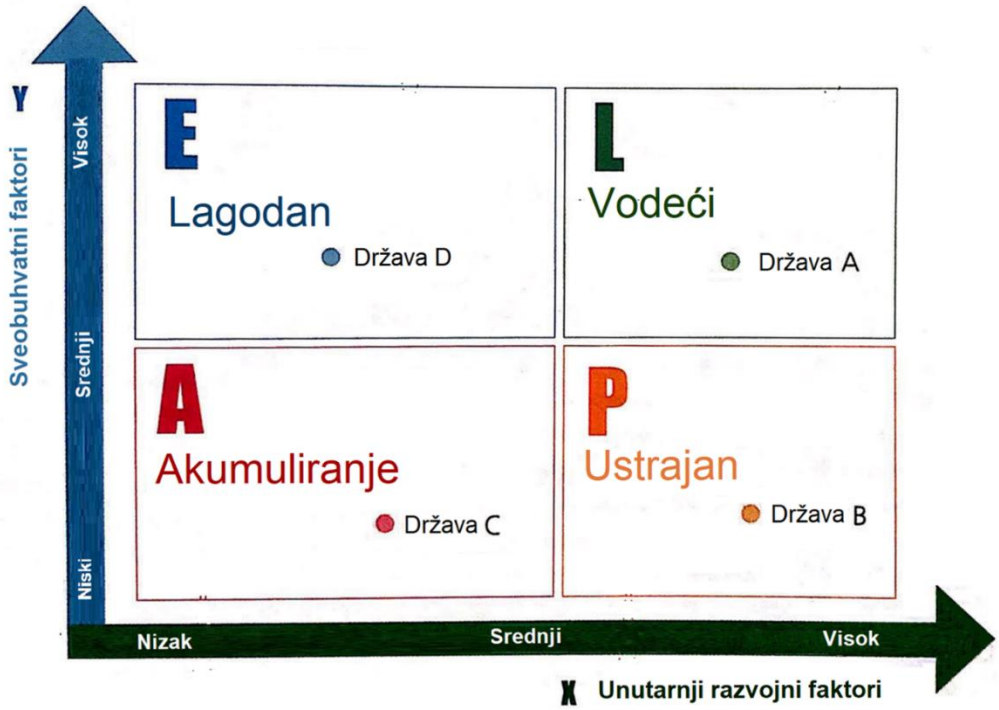
Ujedinjeni narodi objavili su 2015. godine Program održivog razvoja za 2030. godinu [13]. Tim programom su se donijeli koraci koje potrebno učiniti kako bi se svakom čovjeku omogućio pristup dostupnoj, održivoj i modernoj energiji. Istraživači iz organizacije *Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization* napravili su plan procjene sposobnosti za postizanje globalne energetske međupovezanosti za različite države i regije. Jedan od ciljeva procjene je dinamično mjerenje stupnja realizacije i razvojnog potencijala čime bi se dosegnuli ciljevi Programa.

Prva metoda procjene zove se AEUS metoda za procjenu zrelosti razvoja globalne energetske međupovezanosti (slika 10.). Procjena zrelosti za razvoj države/regije uzima u obzir trenutno postavljene temelje za razvoj i na njima ostvarene uspjehe u razvoju. Za prikaz rezultata primjenjuje se dvodimenzionalni sustav čime se država/regija procjenjuje i smješta u jedan od četiri kvadranta. Prvi kvadrant predstavlja države/regije čija se zrelost smatra efikasnom. Mogući razlozi za to su dobri prirodni uvjeti, postavljeni državni mehanizmi i efikasnost korištenja imovine. Rezultati procjene raznih indikatora stanja ovih država/regija govore da su oni u dobrom položaju. Potrebno je poboljšati i unaprijediti razvijanje temelja za razvoj kako oni ne bi zaostajali. Drugi kvadrant predstavlja najveći stupanj zrelosti koju je moguće dosegnuti. Treći kvadrant označava da su uspjesi i temelji za razvoj jako niski. To govori da je razvoj globalne energetske međupovezanosti u početnoj fazi ili da on uopće nije započeo. Četvrti kvadrant označava države/regije čija je infrastruktura u dobrom stanju, no

ima slabe trenutne performanse i efekt. To nam obično govori da državni mehanizmi i zakoni nisu potpuni i dobro uspostavljeni, što dovodi do toga da potencijali nisu dovoljno ostvareni.

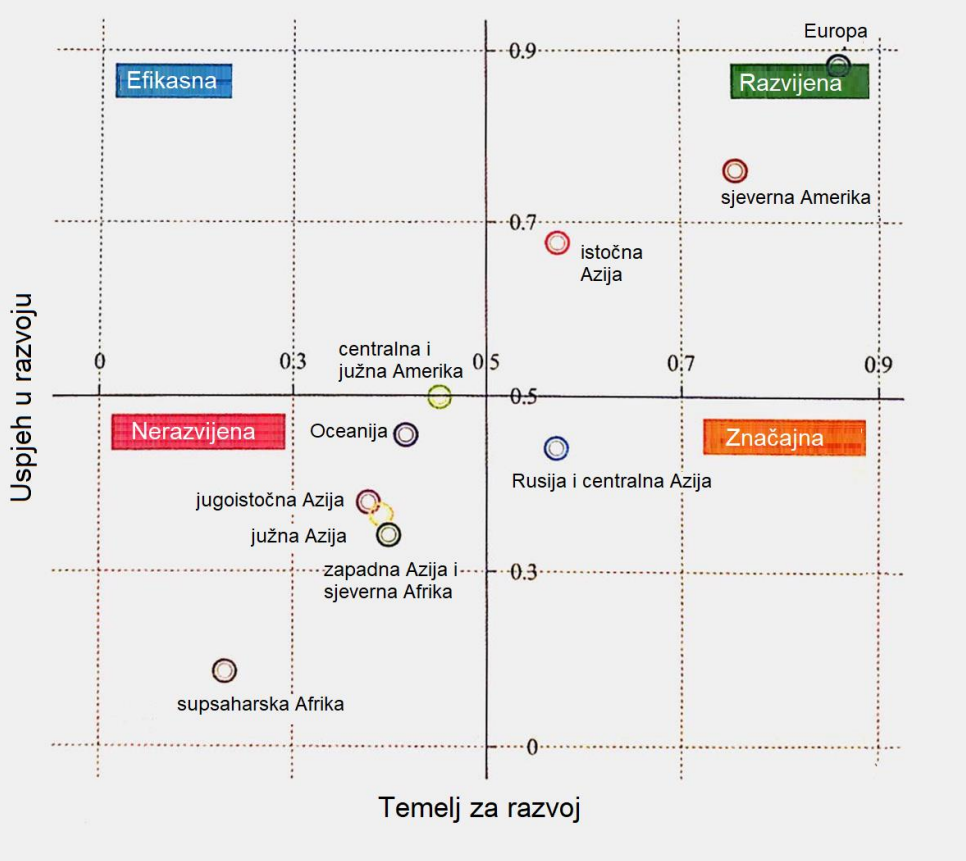
Slika 10. AEUS metoda procjene za zrelost [1]

Druga metoda procjene zove se LEAP metoda procjene za potencijal razvoja globalne energetske međupovezanosti (slika 11). Ova metoda procjene uzima u obzir unutarnje razvojne faktore (dostupnost resursa i interesa za razvoj) i sveobuhvatne faktore (politički, ekonomski, geološki i kulturni faktori). Za prikaz rezultata procjene koristi se dvodimenzionalni sustav.

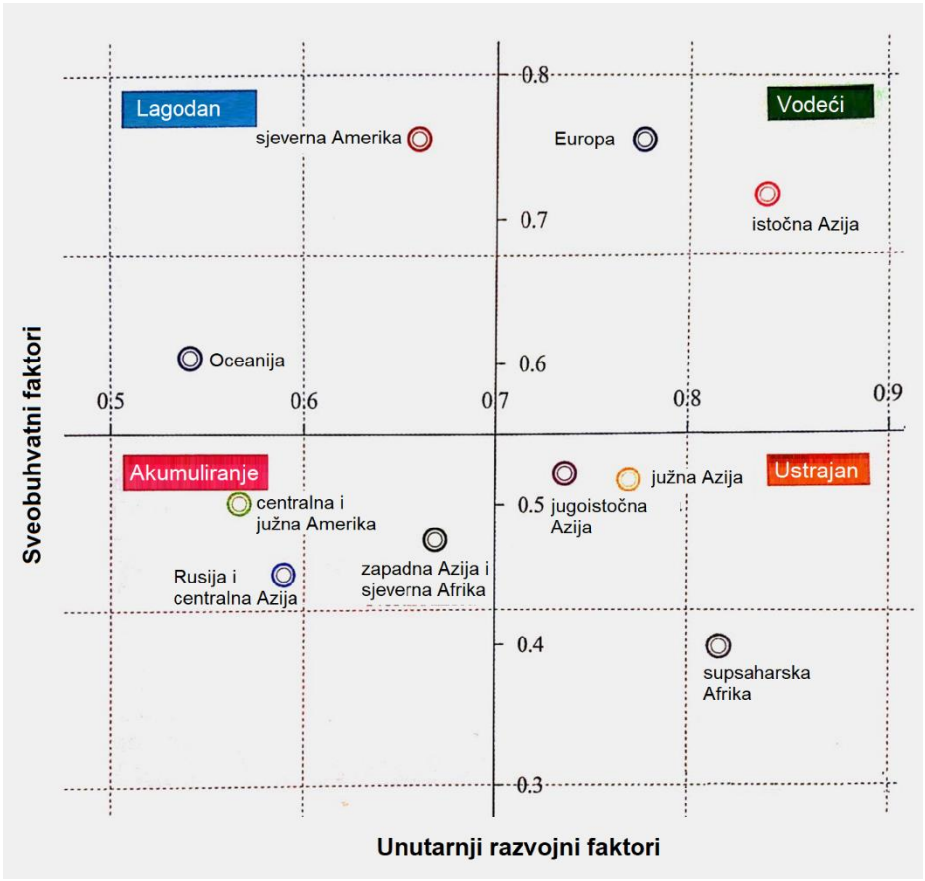


Slika 11. LEAP metoda procjene za potencijal [1]

Slika 12. i slika 13. prikazuju rezultate procjene stupnja razvijenosti i potencijala za razvoj globalne energetske međupovezanosti. Europa i sjeverna Amerika pokazuju dobre rezultate za izgradnju energetske infrastrukture kao tradicionalno industrijalizirana i razvijena područja. Regija istočne Azije postat će lider u razvoju globalne energetske međupovezanosti zbog velikog porasta udjela obnovljivih izvora energije i razvijenoj izgradnji infrastrukture. Ekonomski manje razvijene regije poput supsaharske Afrike, južne i jugoistočne Azije imaju slabe temelje za razvoj. Iako su njihovi temelji slabi, njihova ekonomija je u ubrzanom porastu. Važna karakteristika tih regija je da su gusto naseljene, bogate resursima i da postoji velika potražnja za energentima. Regije centralne i južne Amerike, Rusije i centralne Azije, zapadne Azije i sjeverne Afrike imaju najveće svjetske rezerve fosilnih izvora energije na svijetu. Poticaj za napredovanjem i tranzicijom usporen je velikom inertnošću ekonomija koje ovise o tim resursima.



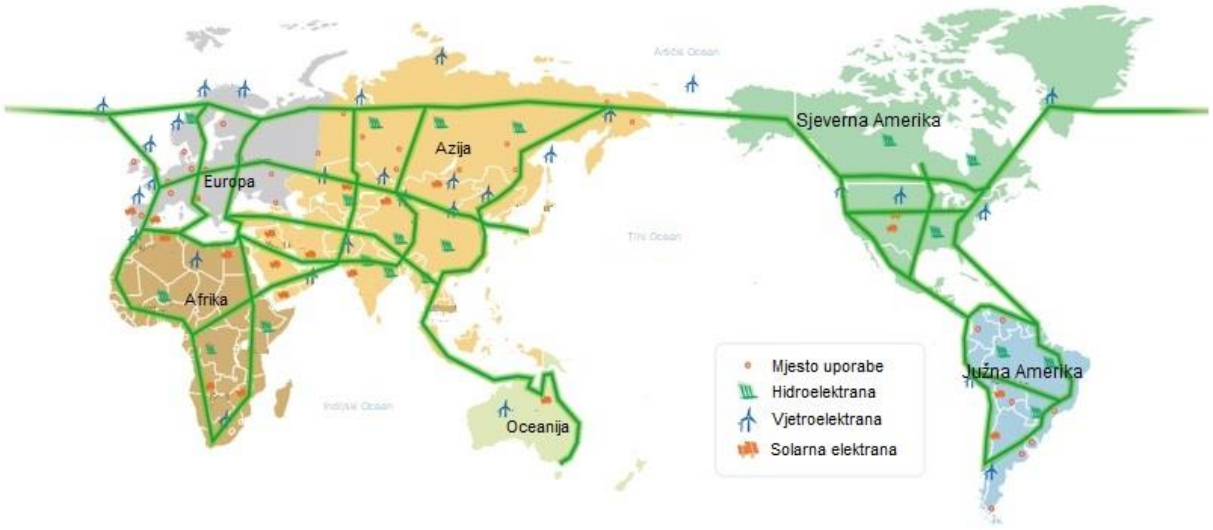
Slika 12. Stupanj razvijenosti globalne energetske međupovezanosti za različite regije [1]



Slika 13. Razvojni potencijal globalne energetske međupovezanosti za različite regije [1]

5. REZULTATI PLANIRANJA GLOBALNE ENERGETSKE MEĐUPOVEZANOSTI

Jedan od glavnih ciljeva globalne energetske međupovezanosti je povećati proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije te je dostaviti pomoću ultravisokog napona do mjesta na kojem će se ona koristiti. Takav pristup bi trebao zadovoljiti budući porast svjetske potrebe za električnog energijom i zamijeniti dio energije dobivene iz fosilnih goriva. Kineska korporacija *State Grid Corporation of China* je predstavila svoj plan kako bi trebala izgledati globalna energetska međupovezanost do 2050. godine [14]. Detaljan prikaz može se vidjeti na slici 14.



Slika 14. Dugoročni plan globalne energetske međupovezanosti [15]

Europa je jedno od najvažnijih čvorišta potrošnje električne energije. Plan je dizajnirati električnu mrežu kako bi se omogućilo korištenje energije vjetra iz Arktika i sjevernog Mora, solarne energije iz južne Europe i sjeverne Afrike. Poželjno je udružiti djelovanje hidroelektrana i ostalih izvora energije u Europi za balansiranje vršnih potražnji za energijom.

Azija je najveći svjetski potrošač električne energije u svijetu s obilnim potencijalima obnovljivih izvora energije. Planira se izgradnja međukontinentalne mreže koja bi spajala najveća mjesta uporabe električne energije i baze obnovljivih izvora energije. Proizvedenu

električnu energiju s Arktika i područja oko ekvatora treba omogućiti primiti u električnu mrežu, raspodijeliti prema potrebi pomoću pametne mreže i upotrijebiti.

Međupovezanost električne mreže u Africi treba omogućiti rad solarnih i vjetroelektrana u sjevernoj Africi s hidroelektranama centralne Afrike. Električnu mrežu u Africi je potrebno spojiti s Europom i zapadnom Azijom kako bi se omogućila uporaba različitih izvora energije i izvozila električna energija u potrebnije regije.

Bolja povezanost električne mreže u sjevernoj Americi može iskoristiti potencijal vjetroelektrana u centralnim i zapadnim dijelovima kontinenta, baze solarne energije iz jugozapadne regije i hidropotencijal u Kanadi. Dobivena električna energija može se koristiti u industrijskim zonama na zapadu i istoku kontinenta. Uz navedene izvore energije može se uvoziti električna energija dobivena iz vjetroelektrana na Arktiku. Spajanjem s energetskom mrežom Azije kroz Aljasku može se ostvariti transkontinentalni premještaj velikih količina energije kako bi se efikasno koristili obnovljivi izvori energije unutar sjeverne Amerike, kao i Azije.

Južna Amerika ima velik potencijal uporabe obnovljivih izvora energije. Međupovezanost električne mreže na kontinentu planirana je kako bi se ostvarila povezanost uporabe energije između sjevera i juga na zapadnoj i istočnoj obali kontinenta, kao i za prijenos energije sa zapada na istok u centralnom dijelu kontinenta.

6. ZAKLJUČAK

Glavni cilj Pariškog sporazuma o klimatskim promjenama je smanjenje emisija ugljičnog dioksida u atmosferi i sprječavanje porasta prosječne globalne temperature. Kako bi se osigurale dovoljne količine energije za nastavak gospodarskog rasta i kako bi se postupno smanjila uporaba fosilnih goriva, potrebno je koristiti energiju koja ima povoljan utjecaj na okoliš.

Obnovljivi izvori energije jedan su od mogućih rješenja kojim se mogu osigurati dovoljne količine energije uz znatno manji negativni utjecaj na okoliš. Njihova je glavna mana što su u velikoj mjeri ograničeni vremenom i prostorom. Najveći izvori vjetra i sunčeve energije često se nalaze daleko od centara njihove potražnje. Tehnološki napredak iskorištavanja obnovljivih izvora energije omogućuje da se elektrane grade u teško dostupnim područjima (primjerice, u dubokim morima, pustinjama, visokim nadmorskim visinama). Stoga je potrebno omogućiti uspješan prijenos te energije do mjesta uporabe.

Jedan od koncepta kojim se mogu premostiti navedene prepreke je globalna energetska međupovezanost. Ideju je prvi put predstavila kineska korporacija *State Grid Corporation of China*. Tehnologije ultravisokog napona, pametne mreže i čiste energije već su prepoznate i primijenjene u raznim svjetskim regijama. Povećanje razine njihove primjene i spremnost za investicije mogu dovesti do povećanja udjela dobivene energije iz obnovljivih izvora. Tako se može osigurati daljnji održivi razvoj svjetskog gospodarstva uz sinergiju prirode i čovječanstva.

LITERATURA

[1 »Global Energy Interconnection Development and Outlook,« Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization, 2017.

[2 »GEIDCO,« 2015. [URL]. Dostupno na: https://web.archive.org/web/20160421182919/http://www.geidca.com/html/qqnyen/col2015100614/2016-02/01/20160201135343656664740_1.html. [Pristup: 06 Travnja 2020].

[3 »Global energy interconnection,« International Electrotechnical Commission, 2016, Ženeva.

[4 Z. Liu, Ultra-High Voltage AC/DC Grids, 2015.

[5 M. Billington, »African Agenda,« 2018. [URL]. Dostupno na: http://africanagenda.net/china-goes-global-with-ultra-high-voltage-power-transmission/. [Pristup: 09 Travnja 2020].

[6 »Ultra-high-voltage electricity transmission in China,« Wikipedia, 2020.

[7 M. Leal, »China Dialogue,« 2016. [URL]. Dostupno na: https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/9266-Belo-Monte-power-line-passes-through-Brazil-s-Amazon-and-Cerrado-Savannah-. [Pristup: 14 Travnja 2020].

[8 ABB, [URL]. Dostupno na: http://www.abb.com/cawp/seitp202/e4f3fead1db220636525796e00255d2f.aspx. [Pristup: 15 Travnja 2020].

[9 C. Cameron, »InHabitat,« 2015. [URL]. Dostupno na: https://inhabitat.com/v3solars-photovoltaic-spin-cell-cones-capture-sunlight-all-day-long/. [Pristup: 15 Travnja 2020].

[10 »SmartGrid.gov,« US Department of Energy, [URL]. Dostupno na: https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html. [Pristup: 11 Travnja 2020].

[11 S.-Y. Kim i J. A. Mathews, »Korea's Greening Strategy: The role of smart microgrids,« *The Asia-Pacific Journal* |, svez. 14, br. 24, 2016.

[12 K. Teranishi, »Higashi-Matsushima City Disaster-Ready Smart Eco-Town,« Construction21 International, 2018. [URL]. Dostupno na:

] https://www.construction21.org/infrastructure/h/higashi-matsushima-city-disaster-ready-smart-eco-town.html. [Pristup: 11 Travnja 2020].

[1 »Sustainable Development Goals,« United Nations, [URL]. Dostupno na:
] https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300. [Pristup: 16 Svibnja 2020].

[1 »Global Energy Interconnection,« *Belt and Road*, 2015.
]

[1 B. Yiu, »Dialogue on Energy Interconnection,« u *Economic and Social Council – "Dialogue concerning Energy Interconnection"*, New York, 2019.
]

POPIS SLIKA

Slika 1. Potrošnja energija po regijama za 2016. godinu 2
Slika 2. Struktura potrošnje energije za 2016. godinu 3
Slika 3. Prikaz mreža ultravisokog napona u Kini 2018. godine 8
Slika 4. Prikaz transportne linije ultravisokog napona u Brazilu 10
Slika 5. Prikaz transportne linije ultravisokog napona u Indiji 11
Slika 6. Udio proizvedenih obnovljivih izvora energije u svijetu 12
Slika 7. Udio investicija u obnovljive izvore energije po različitim regijama 13
Slika 8. Tendencija troškova za proizvodnju solarne energija i energije vjetra 14
Slika 9. Rotacijske fotonaponske ćelije 15
Slika 10. AEUS metoda procjene za zrelost 18
Slika 11. LEAP metoda procjene za potencijal 19
Slika 12. Stupanj razvijenosti globalne energetske međupovezanosti za različite regije 20
Slika 13. Razvojni potencijal globalne energetske međupovezanosti za različite regije 21
Slika 14. Dugoročni plan globalne energetske međupovezanosti 20

POPIS TABLICA

Tablica 1. Ukupan uvoz i izvoz energije po regijama u 2016 3

Tablica 2. Pregled dovršenih transportnih mreža električne energije ultravisokog napona 9