

ENERGETSKA TRANZICIJA I NOVI MODEL ENERGETSKOG TRŽIŠTA*

Tomislav GELO**

Ekonomski rast i razvoj temeljen na fosilnim energentima kao primarnom izvoru energije polako, ali neupitno dolazi svome kraju, prvenstveno zbog emisije stakleničkih plinova koje izazivaju klimatske promjene. S obzirom na rast potražnje za energijom zemalja u razvoju, prije svega Kine i Indije, traže se novi modeli ekonomskog rasta i razvoja temeljeni na obnovljivim izvorima energije i električnoj energiji kao dominantnim oblikom u finalnoj potrošnji energije. Prijelaz s fosilnih na obnovljive izvore energije događa se kroz energetske tranzicije koja obuhvaća brojne promjene, od kojih su dvije najznačajnije. Prva je postupna promjena strukture proizvodnih kapaciteta električne energije, uz povećavanje udjela iz obnovljivih izvora, prije svega iz sunca i vjetra. Druga je temeljena na tehničko - tehnološkom napretku u prometu, kao velikom potrošaču energije, gdje vozila na električni pogon, koja se i dalje usavršavaju i razvijaju, postupno zamjenjuju vozila na fosilna goriva. Navedeno prati digitalizacija energetskog sektora potpomognuta novim informatičkim rješenjima kroz uspostavu pametne mreže. Posljedica svega je novi model energetskog tržišta u kojem se potrošač energije istovremeno javlja i kao njen proizvođač te dobiva sasvim novu ulogu na energetskom tržištu kao aktivni korisnik, a centraliziranu proizvodnju zamjenjuje distribuirana proizvodnja energije. Energetska tranzicija omogućena industrijskom revolucijom 4.0 imat će sve veći utjecaj, kako na gospodarstvo, okoliš, energetski sektor i promet, tako i na druge sektore, ali i društvo u cjelini. To je nepovratan i nezaustavljiv proces čije krajnje dosege i utjecaj na

* Ovaj rad sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost projektom 7031

** Doc. dr. sc. Tomislav Gelo, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet
(E-mail: tgelo@efzg.hr)

gospodarstvo i društvo još uvijek nije moguće zamisliti. Cilj rada jest analizirati uzrok promjena kroz potrošnju energije i posljedice kroz emisiju ugljičnog dioksida, prikazati energetska tranziciju na primjeru Hrvatske te objasniti novi energetski model temeljen na distribuiranoj proizvodnji energije iz obnovljivih izvora kao završni dio energetske tranzicije.

Ključne riječi: *energetska tranzicija, aktivni korisnik, pametna mreža, virtualna elektrana, pomak potrošnje*

1. UVOD

Ekonomski rast i razvoj temeljen na fosilnim energentima kao primarnom izvoru energije polako, ali neupitno dolazi svome kraju, prvenstveno zbog emisije stakleničkih plinova i klimatskih promjena koje se očituju u porastu, kako prosječne temperature zraka, tako i maksimalnih temperaturnih amplituda. Udio fosilnih energenata u ukupnoj potrošnji energije u svijetu je 2017. godine iznosio oko 85 posto, od čega je nafta činila 34 posto, ugljen 28 posto i prirodni plin 23 posto (Enerdata, 2018.). S obzirom na rast potražnje za energijom zemalja u razvoju, prije svega Kine i Indije (Kina, Indija i Japan činili su 3/4 ukupnoga svjetskog rasta proizvodnje električne energije i 1/2 svjetskog rasta ukupne energije u 2017. godini; Enerdata, 2018.), traže se novi modeli ekonomskog rasta i razvoja temeljeni na obnovljivim izvorima energije i električnom energijom kao dominantnim oblikom u finalnoj potrošnji energije, proizvedenoj iz obnovljivih, a ne fosilnih izvora. Tako se 2017. godine 66 posto električne energije proizvodilo iz fosilnih izvora, prije svega ugljena (39 posto) i prirodnog plina (23 posto) (IEA). Postupan prijelaz s fosilnih na obnovljive izvore energije događa se kroz energetska tranziciju (negdje bržu, a negdje sporiju) koja obuhvaća brojne promjene, od kojih su dvije najznačajnije. Prva je postupna promjena strukture proizvodnih kapaciteta električne energije uz povećavanje udjela iz obnovljivih izvora, prije svega iz sunca i vjetra. Druga je temeljena na tehničko - tehnološkom napretku u prometu (kao velikom potrošaču energije jer se oko 50 posto potrošnje energije u svijetu odnosi na sektor prometa, EIA), gdje vozila na električni pogon, koja se i dalje usavršavaju i razvijaju, postupno zamjenjuju vozila na fosilna goriva. Navedeno prati digitalizacija energetskog sektora, potpomognuta novima informatičkim rješenjima kroz uspostavu pametne mreže. Posljedica svega je novi model energetskog tržišta u kojem se potrošač javlja i kao proizvođač energije te dobiva sasvim novu ulogu na energetskom tržištu kao aktivni korisnik (eng. prosumer), a cen-

traliziranu proizvodnju (proizvodnja energije u velikim elektranama, primarno u termoelektranama koje su geografski koncentrirane u određenim dijelovima zemlje) polako zamjenjuje distribuirana proizvodnja (tisuće proizvodnih kapaciteta geografski rasprostranjenih po cijeloj zemlji). Energetska tranzicija omogućena industrijskom revolucijom 4.0¹ imat će sve veći utjecaj, kako na gospodarstvo, okoliš, energetski sektor i promet, tako i na druge sektore, ali i društvo u cjelini.

2. GOSPODARSKI RAZVOJ I POTROŠNJA ENERGIJE

Veza gospodarskog razvoja i energije duga je gotovo koliko i sama ljudska povijest (Gelo, 2010.). Odnos između potrošnje energije i gospodarskog razvoja razvija se i mijenja tijekom vremena. Cijelo prošlo stoljeće gospodarski razvoj zemalja temeljio se na fosilnim izvorima energije. Ograničavanje upotrebe fosilnih goriva, zbog smanjenja emisije CO₂, može utjecati na industrijalizaciju, ekonomski rast i društveni napredak uopće. Zbog toga odnos između gospodarskog razvoja i potrošnje energije ima važnu političku i geopolitičku implikaciju, koja se krije u budućoj potrošnji energije, gospodarskom rastu i klimatskim promjenama. Klimatske promjene stavljaju pritisak na vlade, kreatore politike i međunarodne organizacije za povećanje energetske učinkovitosti i kretanje prema korištenju obnovljivih izvora energije. Strukturne promjene u gospodarstvu, bilo na makroekonomskoj ili mikroekonomskoj razini², glavni su pokretač dinamike energije i elastičnosti BDP-a tijekom vremena. Na temelju empirijske procjene koju su proveli Medlock i Soligo (2001.), industrijski sektor pokazuje najveće promjene u potrošnji energije s obzirom na porast dohotka po stanovniku.

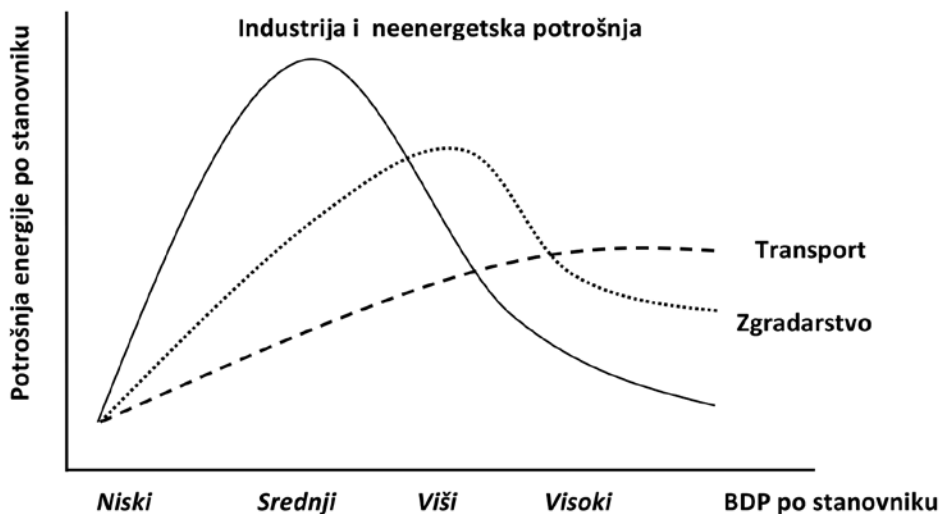
Slika 1. prikazuje glavne generalizirane odnose u potrošnji energije po stanovniku i bruto domaćeg proizvoda (BDP) po stanovniku za energetski inten-

¹ Industrijska revolucija 4.0 nastavlja se na treću industrijsku revoluciju. Ona donosi automatizaciju i izmjene podataka u proizvodnim tehnologijama, temelji se na umjetnoj inteligenciji spajajući fizički, digitalni i biološki svijet. Obuhvaća analizu velike količine podataka (eng. Big data), a označava ju umreženost (pametne mreže), integracija (vertikalna i horizontalna) i digitalizacija temeljena na pametnim strojevima.

² Na makroekonomskoj razini, produktivnost energije opisuje koliko se BDP-a može proizvesti pomoću određene količine energije. Na mikroekonomskoj razini, produktivnost energije usmjerena je na količinu prihoda koji se ostvaruje iz gospodarskih aktivnosti iz jedinice potrošnje energije (Howarth et al., 2017.).

zivne sektore kao što su industrija, neenergetska potrošnja³, promet, zgradarstvo (potrošnja energije u zgradama).

Slika 1. Potrošnja energije i dohodak po stanovniku za energetske intenzivne sektore



Izvor: Medlock, K.B., Soligo, R. 2001., str. 77.–105.

Kako raste dohodak po stanovniku, potrošnja energije u zgradama i sektoru prometa povećava se u odnosu na potrošnju energije u industriji koja postaje energetske učinkovitija i manje energetske intenzivna. To je potaknuto rastom potrošnje energije od trajnih potrošnih materijala (kao što su klima uređaji, hladnjaci, automobili) i potrošačkih usluga (zdravstvo, obrazovanje, restorani i maloprodaja). Razvijene zemlje, kao što su zemlje članice Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (eng. Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD) ili članice Europske unije (EU), imaju viši ili visok BDP po stanovniku i nalaze se u fazi stagnacije ili smanjenja potrošnje energije po stanovniku. S druge strane, zemlje u razvoju i nerazvijene zemlje, odnosno sve one zemlje koje nisu članice OECD-a ili EU-a (Ne-OECD), imaju niski ili srednji BDP po stanovniku te visoke stope rasta potrošnje energije po stanovniku. Iskustva OECD zemalja ukazuju da ekonomski rast i smanjenje

³ Primjer neenergetske potrošnje je proizvodnja umjetnih gnojiva, gdje se prirodni plin koristi kao sirovina, a ne kao energija.

emisije stakleničkih plinova mogu biti kompatibilni na način da se smanjuje emisija stakleničkih plinova, uz istovremen gospodarski rast i razvoj (OECD, 2017.). Da bi se zaustavile klimatske promjene, potrebno je zajedničko djelovanje svih zemalja i organizacija, kao i sveobuhvatna rješenja koja će usvojiti i provoditi sve zemlje svijeta. Parcijalnim pristupom i mjerama samo pojedinih država ili organizacija neće se postići toliko željena kompatibilnost smanjenja emisije stakleničkih plinova i gospodarskog rasta i razvoja.

2.1. GOSPODARSKI RAZVOJ TEMELJEN NA POTROŠNJI FOSILNIH IZVORA ENERGIJE

OECD i EU svoj su gospodarski razvoj kroz povijest temeljile na fosilnim gorivima kao izvorima energije. One čine manji dio svjetskog stanovništva. Tako je udio stanovništva zemalja OECD-a⁴ 1965. godine iznosio 25 posto, a 2017. smanjio se na 17 posto. Istovremeno je udio stanovništva EU-a⁵ u svjetskom stanovništvu u istom razdoblju smanjen s 13 na 7 posto. U tom su razdoblju OECD i EU imale neproporcionalno visok udio u potrošnji energije s obzirom na udio u stanovništvu. Tako je udio OECD-a 1965. godine iznosio 70 posto ukupne svjetske potrošnje energije te se do 2017. godine smanjio na 40 posto. U istom razdoblju udio EU-a u svjetskoj potrošnji energije smanjio se s 27 posto 1965. godine na 12 posto 2017. godine.

Ne-OECD je imao obrnutu situaciju. Njihov udio u svjetskom stanovništvu porastao je sa 75 posto 1965. godine na 83 posto 2017. godine. Istovremeno im se udio u svjetskoj potrošnji energije udvostručio, s oko 30 na oko 60 posto.

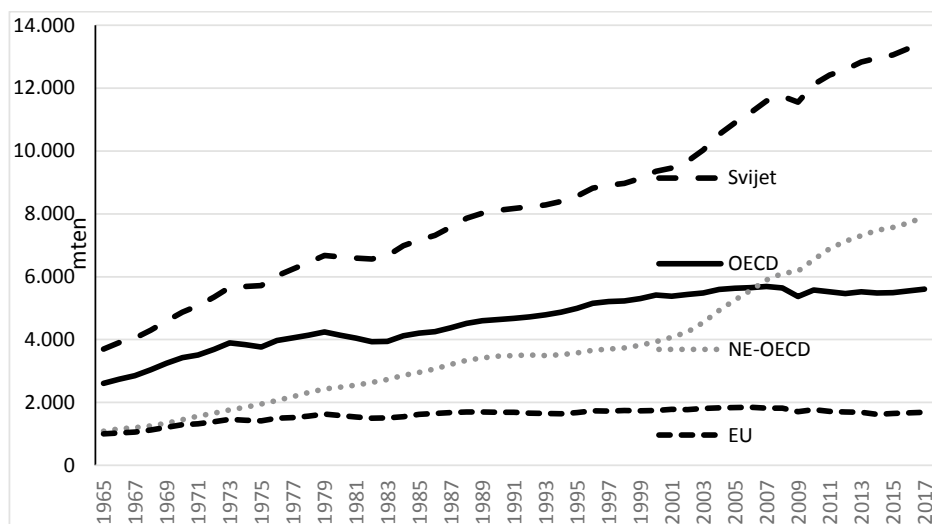
Stanovništvo OECD-a ukupno se povećalo oko 52 posto u analiziranom razdoblju, a EU-a oko 17 posto. Stanovništvo Ne-OECD-a u istom je razdoblju poraslo oko 2,5 puta, a svjetsko stanovništvo oko 2,3 puta. Ukupna potrošnja energije rasla je znatno više od stopa rasta stanovništva. EU je imao ukupan rast potrošnje energije oko 70 posto, a OECD oko 115 posto. Rast ukupne potrošnje energije u svijetu bio je veći 3,65 puta, a Ne-OECD-a 7,2 puta.

Graf 1. prikazuje ukupnu potrošnju energije u milijunima tona ekvivalentne nafte (mten) po regijama svijeta u razdoblju od 1965. do 2017. godine.

⁴ U povijesnoj analizi, kao zemlje OECD-a, analizirane su sve zemlje koje su članice OECD-a 2017. godine (36 članica)

⁵ U povijesnoj analizi, kao zemlje članice EU-a, analizirane su sve zemlje koje su članice EU-a 2017. godine (28 članica); većina zemalja EU-a 28 članice su i OECD-a

Graf 1. Potrošnja energije po regijama u razdoblju od 1965. do 2017. godine



Izvor: izračun autora (izvor BP-British Petroleum)

U ukupnoj potrošnji energije uočljiv je ubrzani rast potrošnje kod Ne-OECD-a poslije 2000. godine, što ujedno značajno utječe i na trend potrošnje na svjetskoj razini. OECD-ova ukupna potrošnja energije nakon 2000. godine stagnira, uz blagi pad nakon svjetske financijske krize 2008. godine. EU nakon 2000-te ima kontinuirano smanjenje potrošnje, dok je gotovo čitavih osamdesetih i devedesetih godina 20. stoljeća potrošnja blago rasla.

Rast potrošnje energije doprinio je gospodarskom razvoju analiziranih regija. Tako je ukupan BDP EU-a porastao oko 5 puta, dok se udio BDP-a EU-a u svjetskom BDP-u smanjio s 37 posto 1965. godine na 23 posto 2017. godine. Rast BDP-a OECD-a iznosio je oko 6 puta, a udio BDP-a OECD-a u svjetskom BDP-u u istom se razdoblju smanjio s 80 na oko 60 posto. U istom razdoblju BDP Ne-OECD-a porastao je za oko 13 puta, a udio u svjetskom BDP-u povećao se s 20 na 37 posto (Tablica 1.).

Tablica 1. BDP po regijama za 1965. i 2017. godinu (u milijunima, konstantni 2010 US\$)

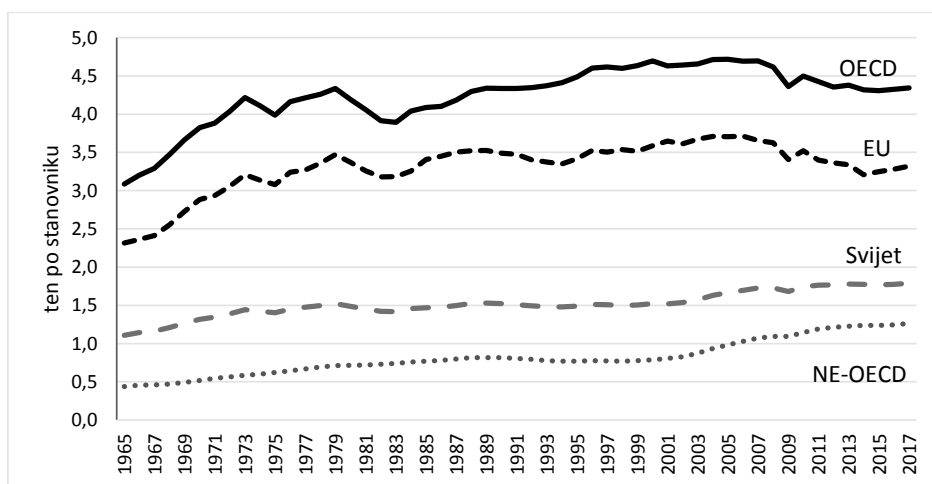
Regija	1965	%	2017	%	2017/1965
EU	4.118.188	37%	18.752.511	23%	4,6
OECD	8.934.836	80%	5.0787.248	63%	5,7
Ne-OECD	2.266.731	20%	29.291.034	37%	12,9
Svijet	11.201.567	100%	80.078.282	100%	7,1

Izvor: izračun autora (izvor: WB-World Bank)

S obzirom na značajne razlike u broju stanovnika analiziranih regija, kao i rastu stanovništva u razdoblju od 1965. do 2017. Godine, analizirana je potrošnja energije po stanovniku.

Graf.2 prikazuje kretanje potrošnje energije po stanovniku u razdoblju od 1965. do 2017. godine.

Graf 2. Potrošnja energije po stanovniku po regijama u razdoblju od 1965. do 2017. godine



Izvor: izračun autora (izvor: BP-British Petroleum, UN-United Nations)

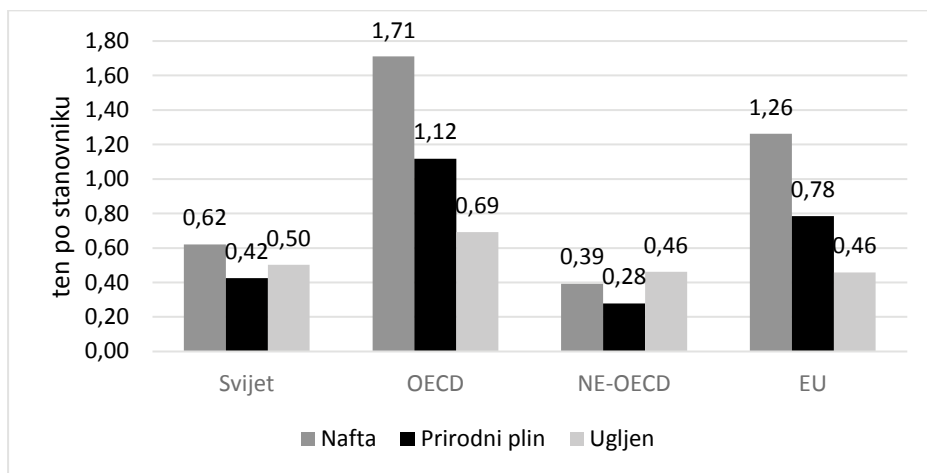
OECD ima najveću potrošnju energije po stanovniku koja je porasla s oko 3 na preko 4 tone po stanovniku u analiziranom razdoblju, odnosno oko 40 posto. Ta potrošnja je za oko 30 posto viša u odnosu na EU tijekom cijelog razdoblja. Porast potrošnje energije po stanovniku EU-a istovremeno je izno-

sio preko 40 posto, s 2,3 tone na 3,3, tone. Najmanju potrošnju energije po stanovniku ima Ne-OECD. Iako je imao najveći rast od 1965. do 2017. godine, oko 200 posto, potrošnja energije po stanovniku značajno je manja u odnosu na razvijene zemlje i iznosi oko 1,3 tone po stanovniku.

Energetska intenzivnost pokazuje da Ne-OECD zemlje trebaju 3 puta više energije za stvaranje jedinice BDP-a od OECD-a. Intenzivnost se pogoršala 50 posto u odnosu na 1965. godinu kada je Ne-OECD trebao 2 puta više energije za stvaranje jedinice BDP-a od OECD-a.

Razlike u potrošnji energije po stanovniku značajno variraju i s obzirom na oblik fosilnog energenta (Graf 3.).

Graf 3. Potrošnja fosilnih goriva po stanovniku u ten po regijama



Izvor: izračun autora (izvor: BP-British Petroleum, UN-United Nations)

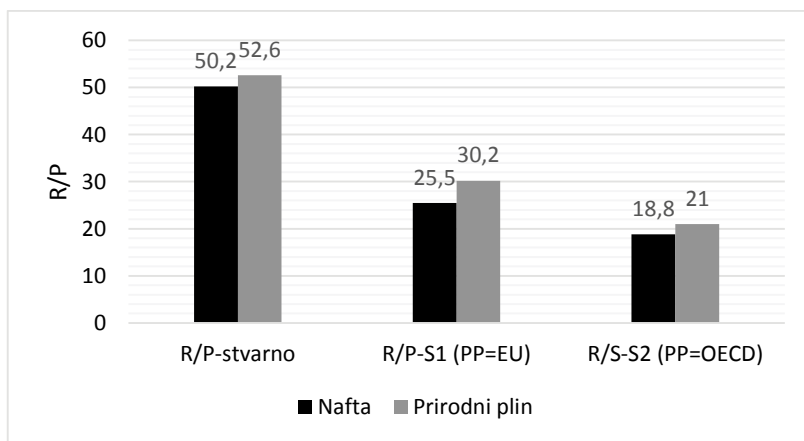
Najveća razlika u potrošnji po stanovniku jest kod potrošnje nafte. OECD ima preko četiri puta veću potrošnju nafte po stanovniku od Ne-OECD-a. Zatim slijedi prirodni plin s četiri puta većom potrošnjom OECD-a. Kada je u pitanju potrošnja ugljena po stanovniku, ona je ujednačenija. Ne-OECD ima 50 posto manju potrošnju u odnosu na OECD, odnosno istu potrošnju ugljena kao i EU.

Sve navedeno ukazuje na značajne razlike u potrošnji energije, ukupno i po stanovniku. Također, razina razvijenosti između OECD-a i Ne-OECD-a, mjereno u BDP-u po stanovniku, više od 8 puta je veća (40.000 USD po stanovniku prema skoro 5.000 USD-a), što je poboljšanje u odnosu na 1965. go-

dinu, kada je razlika iznosila gotovo 12 puta (1000 USD po stanovniku prema 900 USD). To ukazuje na sporu konvergenciju te potrebu za novim velikim količinama energije, odnosno fosilnih izvora da bi se ubrzao gospodarski rast i razvoj i dostigao OECD.

Uz razinu rezervi i proizvodnje (pokazatelj dostatnosti R/P omjer je rezervi-R i proizvodnje -P) nafte i prirodnog plina iz 2017. godine, i jednog i drugog dostatno je za idućih oko 50 godina (Graf 4).

Graf 4. Pokazatelj dostatnosti (R/P) nafte i prirodnog plina s obzirom na rezerve i proizvodnju prema podacima za 2017. godinu



Izvor: izračun autora (izvor: BP-British Petroleum)

Napomena: Stvarno stanje prema omjeru rezervi i proizvodnje iz 2017. godine; Scenariji S1 – pretpostavka da zemlje Ne-OECD prosječno troše (PP) po stanovniku na razini zemalja EU-a; Scenarij S2 - pretpostavka da zemlje Ne-OECD prosječno troše po stanovniku na razini OECD-a.

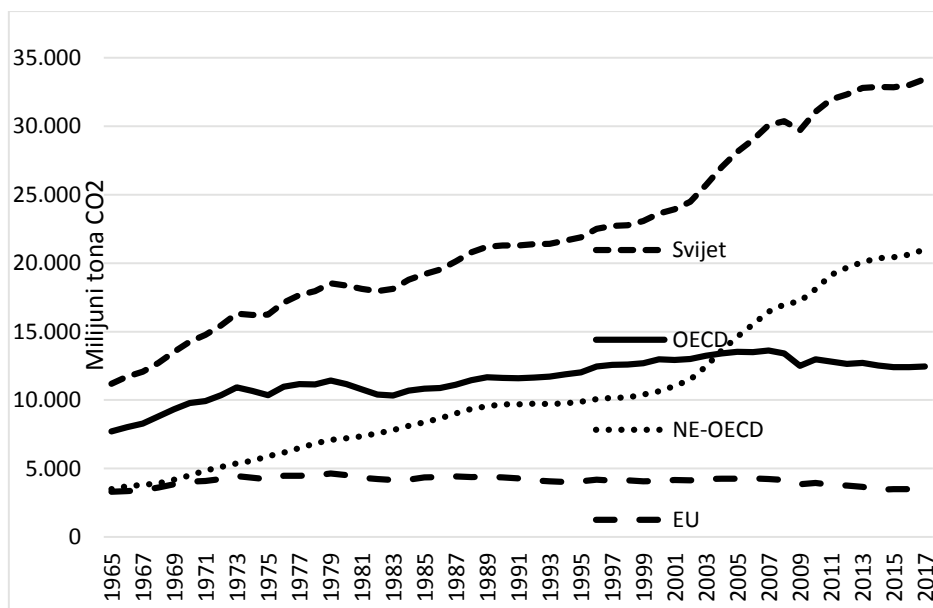
Pitanje koje se nameće jest dostatnost potrebnih fosilnih energenata, prije svega nafte i prirodnog plina u slučaju očekivanog rasta potrošnje energije po stanovniku u Ne-OECD-u. U slučaju da zemlje Ne-OECD-a (hipotetski) odjednom povećaju potrošnju i počnu trošiti na razini prosječne potrošnje energije po stanovniku EU-a, dostatnost bi iznosila između 25 i 30 godina. Ako povećaju potrošnju na razinu OECD-a, dostatnost bi se smanjila i iznosila između 19 i 21 godinu, pod pretpostavkom da nema otkrića novih rezervi i promjene proizvodnje odnosno potrošnje.

2.2. POSLJEDICE „FOSILNOG“ MODELA GOSPODARSKOG RAZVOJA

Model gospodarskog razvoja temeljenog dominantno na fosilnim gorivima kao izvoru energije ima negativne posljedice na klimu. Velika emisija stakleničkih plinova zbog izgaranja fosilnih energenata utjecala je na klimatske promjene koje se očituju u rastu temperature te izazivaju sve češće pojave temperaturnih ekstrema (velike vrućine odnosno velike hladnoće). Jedan od važnijih stakleničkih plinova koji je primarno uzrokovan fosilnim izvorima energije jest ugljikov dioksid (CO_2) koji se oslobađa izgaranjem fosilnih goriva te mu se povećava koncentracija u atmosferi, što dovodi do negativnih posljedica na klimu na zemlji.

Graf 5. prikazuje emisiju CO_2 u milijunima tona po analiziranim regijama u razdoblju od 1965. do 2017. godine.

Graf 5. Emisija CO_2 po regijama u razdoblju od 1965. do 2017. godine



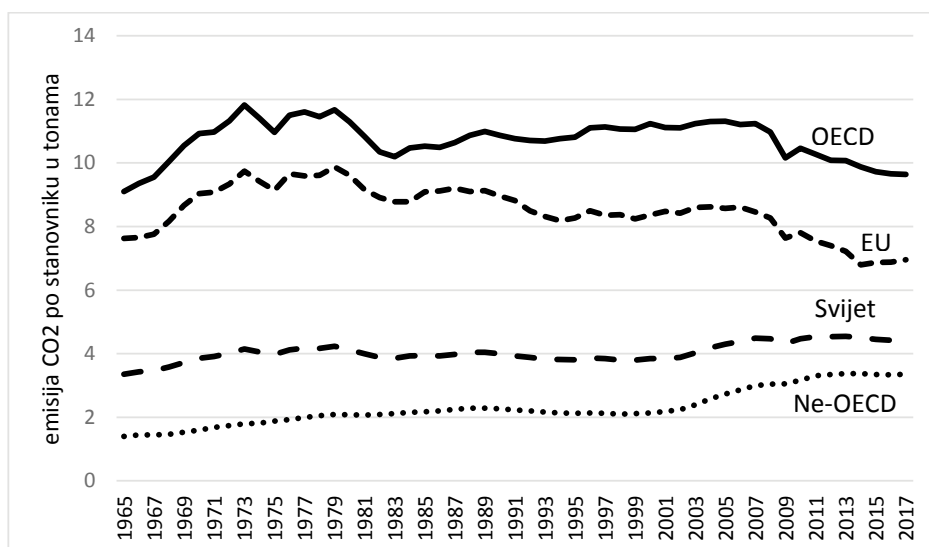
Izvor: izračun autora (izvor: BP-British Petroleum)

Ukupna emisija CO_2 u analiziranom razdoblju povećala se oko tri puta, od čega u Ne-OECD-u šest puta, sa značajnim ubrzanjem rasta od 2000. godine. Rast emisije CO_2 EU-a iznosio je oko 10 posto, a OECD-a oko 60 posto. U obje regije, od 2008. godine, dolazi do smanjenja emisije. Došlo je i do

značajne promjene u svjetskoj strukturi emisije CO₂. Tako je udio OECD-a u ukupnoj svjetskoj emisiji CO₂ 1965. godine iznosio gotovo 70 posto, da bi se do 2017. godine taj udio smanjio na oko 40 posto. Istovremeno se udio emisije EU-a smanjio tri puta, s oko 30 posto na oko 10 posto. Ne-OECD je svoj udio u emisiji udvostručio, s oko 30 na preko 60 posto. Navedeno ukazuje da emisija CO₂ slijedi trendove u ukupnoj potrošnji energije.

Na sljedećem grafu (Graf 6.) analizirana je emisija CO₂ po stanovniku po regijama u istom analiziranom razdoblju, od 1965. do 2017. godine.

Graf 6. Emisija CO₂ po stanovniku po regijama u razdoblju od 1965. do 2017. godine



Izvor: izračun autora na temelju podataka BP-a

Emisija CO₂ po stanovniku ukazuje na izraženije razlike među analiziranim regijama. Zemlje OECD-a emitirale su 1965. godine 6,5 puta više CO₂ po stanovniku od Ne-OECD-a, a EU oko 5,5 puta. Do 2017. godine ta se razlika smanjila na oko tri puta u odnosu na OECD, odnosno dva puta u odnosu na EU. OECD i EU imale su rast emisije do kraja sedamdesetih godina 20. stoljeća. Nakon toga emisija po stanovniku u EU kontinuirano je padala da bi 2017. godine bila oko 10 posto manja u odnosu na emisiju iz 1965. godine. OECD je nakon rasta emisije sedamdesetih godina i pada nakon drugog naftnog šoka krajem sedamdesetih godina 20. stoljeća, imao blagi rast da bi poslije emisija nastavila rasti do svjetske financijske krize 2008. godine. OECD je tako 2017.

godine imao emisiju CO₂ oko 6 posto višu po stanovniku u odnosu na 1965. godinu. Istovremeno se kod Ne-OECD-a situacija pogoršala. Rast emisije je bio izražen do kraja sedamdesetih godina, uz stagnaciju do početka 2000-te godine. Zatim slijedi značajniji rast, da bi 2017. godine emisija CO₂ po stanovniku bila 2,4 puta veća u odnosu na 1965. godinu. Na svjetskoj razini smanjenje emisije po stanovniku na razini EU-a odnosno OECD-a nadomješteno je rastom emisije Ne-OECD-a.

Kada bi emisija po stanovniku Ne-OECD-a dosegla emisiju po stanovniku OECD-a iz 2017. godine, ukupna svjetska emisija CO₂ udvostručila bi se, odnosno povećala 1,5 puta kada bi Ne-OECD dosegla emisiju po stanovniku EU-a.

Potrošnja energije temeljena na fosilnim izvorima da bi se osigurao ekonomski rast i razvoj, izvor je emisije stakleničkih plinova, prije svega CO₂, a uzrok je globalnog zagrijavanja. Tako je 2017. godine preko 85 posto potrošene energije bilo iz fosilnih goriva, od čega je oko 34 posto nafta, oko 28 posto ugljen i oko 23 posto prirodni plin. Značajne razlike među analiziranim regijama nema. EU oko 75 posto potrošene energije dobiva iz fosilnih goriva, OECD oko 80 posto, a Ne-OECD gotovo 90 posto. Udio obnovljivih izvora najviši je na razini EU-a, oko 13 posto, dok na svjetskoj razini OECD-a i Ne-OECD-a iznosi oko 10 posto. Razlika do 100 posto odnosi se na energiju iz nuklearnih elektrana.

Ključno pitanje jest: Što bi se u tom slučaju dogodilo s klimom na zemlji i kakve bi posljedice imalo, kako na klimatske promjene, tako i na život ljudi na zemlji? Pretpostavljeni scenarij emisije stakleničkih plinova u stvarnosti je neodrživ te su potrebna dugoročna održiva rješenja opskrbe energijom, kako razvijenih zemalja, tako i zemalja u razvoju i nerazvijenih zemalja.

3. ENERGETSKA TRANZICIJA

3.1. ZAŠTO ENERGETSKA TRANZICIJA?

Globalno zagrijavanje i povećanje temperaturnih amplituda traži globalni odgovor na klimatske promjene. Glavni cilj jest kontrola i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Mnogo je predloženih rješenja koja će dovesti ili već dovode do postavljenog cilja. To su: povećanje produktivnost resursa, održivo gospodarenje resursima, resursno učinkovito gospodarstvo i društvo uopće, održivo gospodarenje otpadom, smanjenje degradacije okoliša i potrošnje resursa, zelena industrija, prijelaz iz linearnog u kružno gospodarstvo, kao i druga rješenja.

Jedno od rješenja koje se već primjenjuje jest prijelaz s fosilnih na obnovljive izvore energije, a odvija se kroz energetska tranziciju. Energetska tranzicija općenito se definira kao dugoročna strukturna promjena u energetske sustavima. Danas se energetska tranzicija definira kao tranzicija (pomak) od energetske sustava kojim dominiraju fosilna energija prema sustavu koji koristi većinu obnovljivih izvora energije uz povećanje energetske učinkovitosti i bolje upravljanje potrošnjom energije. Na taj način bi se odvojio gospodarski rast i razvoj od potrošnje energije iz fosilnih izvora.

Energetska tranzicija obuhvaća brojne promjene od kojih su dvije najznačajnije. Prva, prethodno spomenuta, jest postupna promjena strukture proizvodnih kapaciteta električne energije, uz povećavanje udjela iz obnovljivih izvora, prije svega iz sunca i vjetra. Druga je temeljena na tehničko - tehnološkom napretku u prometu (kao velikom potrošaču energije), gdje vozila na električni pogon, koja se i dalje usavršavaju i razvijaju, postupno zamjenjuju vozila na fosilna goriva. Navedeno prati digitalizacija energetske sektora potpomognuta novim informatičkim rješenjima kroz uspostavu pametne mreže.

Pretpostavke za energetska tranziciju u EU definirane su kroz zakonsko i organizacijsko uređivanje sustava. To je proces koji još uvijek traje s obzirom na kompleksnost odnosa u elektroenergetskom sustavu i zakonsko definiranje i uređivanje istih. Prije nekoliko desetljeća elektroenergetski sektor u EU bio je u vlasništvu i pod kontrolom država. Svaka je država imala jednu ili više vertikalno integriranih tvrtki koje su bile odgovorne za proizvodnju, prijenos, distribuciju i opskrbu električnom energijom. EU zakonskim aktima (direktivama) 1996. godine počinje s procesom otvaranja tržišta električne energije konkurenciji. Direktiva se sastojala od zajedničkih pravila za unutarnje tržište električne energije (i prirodnog plina) EU-a. Proces se nastavlja novim direktivama 2003. i 2009. godine. Direktiva iz 2003. godine uvodi pravilo o razdvajanju tvrtki koje upravljaju mrežnim djelatnostima (prijenos i distribucija) od tvrtki koje obavljaju tržišne djelatnosti. Također se uvode uvjeti za prekogranično trgovanje električnom energijom (i prirodnim plinom). Direktivom iz 2009. godine uvodi se Agencija za suradnju energetske regulatora. Njezin je cilj suradnja s nacionalnim regulatorima i rad na jedinstvenom energetske tržištu EU-a za električnu energiju i prirodni plin. Uvode se mrežna i tržišna pravila. Cilj direktiva je stvaranje konkurentnog jedinstvenog tržišta električne energije (i tržišta prirodnog) plina u EU. Daljnji razvoj tržišta nastavlja se 2016. godine donošenjem paketa različitih zakonskih rješenja (Čista energija za sve Europljane) kojim se dovršava uspostavljanje jedinstvenog tržišta te stvara Energetska unija (Beus at al., 2018.)

Jedan od razloga što je EU među prvima započela energetska tranziciju jesu globalne promjene u proizvodnji i potražnji energije koje imaju značajan utjecaj na geopolitiku i industrijsku konkurentnost. EU želi pojačati svoju ulogu globalnog lidera u energetska tranziciji ka čistoj energiji, istovremeno pružajući energetska sigurnost svim svojim građanima. Europa se kreće od energetska sustava temeljenog na fosilnim gorivima na digitalni nisko-ugljični sustav u čijem se središtu nalazi potrošač.

Energetski sektor je u prijelazu na fleksibilni i održivi energetska sustav temeljen na obnovljivim izvorima energije. U energetska tranziciji značajno se mijenja i uloga potrošača kojima se otvara mogućnost aktivnog sudjelovanja u proizvodnji i korištenju energije.

3.2. ENERGETSKA TRANZICIJE U HRVATSKOJ

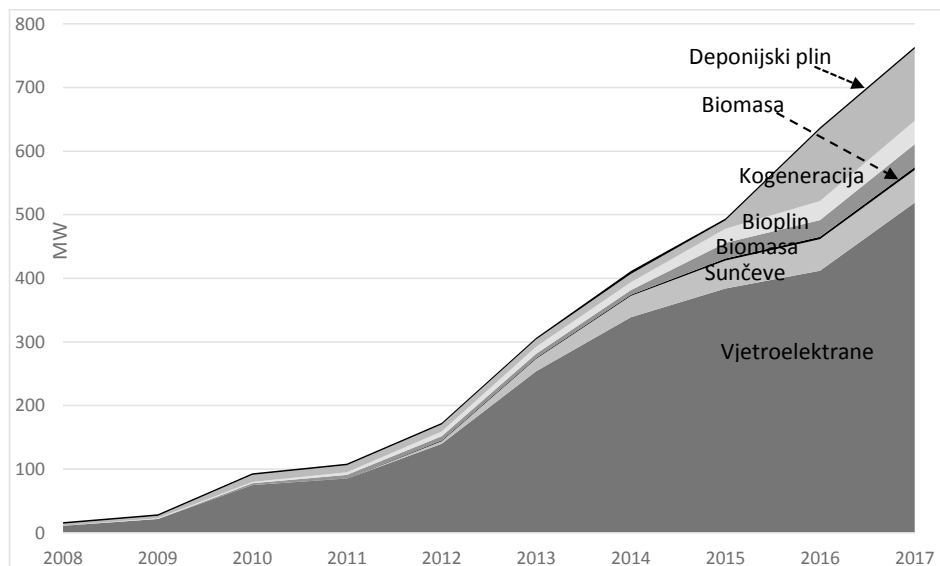
Hrvatska kao dio EU-a sudjeluje u energetska tranziciji i slijedi trendove u kojima se fosilna goriva postupno zamjenjuju obnovljivim izvorima energije. Svoj zakonodavni okvir prilagodila je zakonodavstvu EU-a i na taj način omogućila energetska tranziciju.

Moglo bi se reći da je Hrvatska predvodnik energetska tranzicije s obzrom na udio proizvodnih kapaciteta iz obnovljivih izvora u strukturi ukupnih elektroenergetskih kapaciteta. U vlasništvu (i suvlasništvu) Hrvatske elektroprivrede (HEP-a) i na teritoriju Hrvatske nalazi se 4.105 MW⁶ instalirane snage, od čega je 55 posto instalirane snage u velikim hidroelektranama, a 45 posto u termoelektranama (na ugljen i plin). Ako se navedenim kapacitetima HEP-a pridodaju noviji proizvodni kapaciteti obnovljivih izvora energije (766 MW sagrađenih nakon 2008. godine), a koji nisu u vlasništvu HEP-a, kao i industrijska kogeneracijska postrojenja (oko 165 MW u kojima se proizvodi električna energija i para/toplina), ukupno instalirana snaga elektroenergetskog sustava u Hrvatskoj iznosi preko 5.000 MW (Energija u RH, 2017.).

U razdoblju od proteklih deset godina, od 2008. do 2017. godine, elektroenergetski sustav u Hrvatskoj isključivo je povećavao proizvodne kapacitete iz obnovljivih izvora, kako je prikazano na Grafu 7.

⁶ Ako se uračuna i 50 posto Nuklearne elektrane Krško, ukupno instalirana snaga u vlasništvu (i suvlasništvu) HEP-a iznosi 4 453 MW.

Graf 7. Struktura proizvodnih kapaciteta obnovljivih izvora energije u RH (bez velikih hidroelektrana u vlasništvu HEP-a)



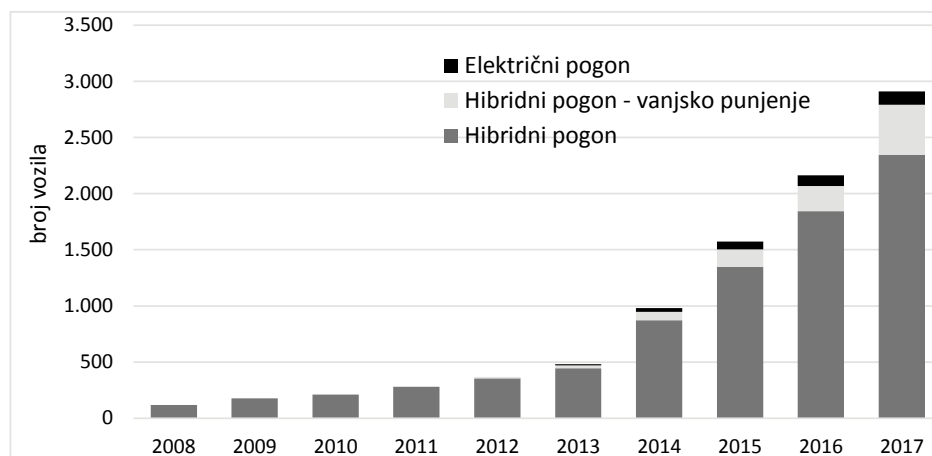
Izvor: Izračun autora na temelju podataka HROTE

S obzirom na sve kapacitete koji proizvode električnu energiju, u Hrvatskoj je 2017. godine, od ukupno instaliranih kapaciteta, oko 60 posto iz obnovljivih izvora, što nas svrstava u sam vrh EU-a po obnovljivim izvorima. Povećanje navedenih kapaciteta utjecalo je i na rast udjela električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora s 34 posto 2008. godine (prije izgradnje novih kapaciteta obnovljivih izvora) na gotovo 47 posto 2017. godine (12,5 posto iz novih kapaciteta u kojima prevladava električna energija proizvedena u vjetroelektrana, 50 posto u proizvodnji i oko 70 posto u novim kapacitetima), što Hrvatsku svrstava na 6 mjesto po udjelu u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora u EU. Kada se uzme u obzir bruto finalna potrošnja energije (ne samo električna energija), udio u ukupnoj potrošnji iz obnovljivih izvora je oko 30 posto, što je i dalje svrstava oko šestog mjesta u EU.

S obzirom na 766 MW novih kapaciteta u proteklih 10 godina, oni su instalirani na 1.313 postrojenja, od čega se 93 posto odnosi na sunčeve elektrane koje čine oko sedam posto novoinstaliranih kapaciteta i tri posto novoprodukcione električne energije. S druge strane, dominantne vjetroelektrane imaju 1,6 posto od ukupnog broja postrojenja, ali velike instalirane snage.

Energetska tranzicija u prometu ide sporije. Zamjena vozila na fosilna goriva s vozilima progonjenim na električnu energiju ima rastući trend. Graf 8. pokazuje broj vozila na električni i hibridni pogon u Hrvatskoj od 2008. do 2017. godine.

Graf 8. Ukupan broj vozila na električni i hibridni pogon u Hrvatskoj od 2008. do 2016. godine



Izvor: izračun autora (izvor: Centar za vozila Hrvatske)

Prema podacima Centra za vozila Hrvatske, oko 0,2 posto od ukupnog broja osobnih automobila u Hrvatskoj bilo je na električni i hibridni pogon (uključujući i hibridna vozila s vanjskim punjenjem).

Energetska tranzicija svakako ovisi o cjenovnim poticajima, koje osigurava Vlada RH, a kojima se utječe na promjenu trendova i prijelaz s fosilnih na obnovljive izvore energije. Iz provedenih analiza može se zaključiti da su poticaji za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora znatno isplativiji i/ili izdašniji u odnosu na poticaje za kupnju električnih i/ili hibridnih vozila.

4. NOVI MODEL ENERGETSKOG TRŽIŠTA

4.1. MODEL CENTRALIZIRANE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I FOSILNIH IZVORA ENERGIJE

Model poslovanja u elektroenergetskom sektoru ostao je, tijekom prošlog stoljeća, u osnovi nepromijenjen. Model je nastao „pobjedom“ koncepta Tesla – Westinghouseve izmjenične struje nad jednosmjernom strujom Thomasa Edisona. Model se zasniva na konceptu da vertikalno integrirana tvrtka proizvodi, distribuira i prodaje električnu energiju na tržištu, a kupci su jednostavno potrošači električne energije. Takve tvrtke su monopoli, a međusobno se razlikuju samo u tome jesu li državni ili privatni monopoli. Tok energije je išao od proizvođača do potrošača, a potražnja je bila prilično predvidljiva. Tradicionalni elektroenergetski sustav dizajniran je za visoko kontroliranu opskrbu, kako bi se uskladila s većinom nekontroliranom potražnjom.

Devedesetih godina dolazi do promjene paradigme. Tržište se liberalizira, prirodni monopoli (prijenos i distribucija električne energije) najprije se računovodstveno, a zatim pravno, negdje i vlasnički, izdvajaju iz vertikalno integriranih tvrtki. Monopole reguliraju nacionalna regulatorna tijela. Ovaj model zasniva se na više proizvođača među kojima vlada konkurencija. Tok energije ide od više proizvođača do potrošača. Proizvodnja postaje manje predvidljiva s obzirom na konkurenciju. U model poslovanja uvode se i neovisni proizvođači električne energije, najčešće iz obnovljivih izvora.

Promjene u načinu funkcioniranja tržišta rezultat su i očekivanog rasta potražnje za električnom energijom. Očekuje se da će potražnja za električnom energijom globalno biti povećana za 80 posto do 2040. godine (IEA). Da bi se zadovoljila rastuća potražnja za energijom u skladu s ekološkim ograničenjima, struktura tržišta energije polako se mijenja od centraliziranih sustava proizvodnje ka interaktivnijem i decentraliziranom modelu u kojem potrošači postaju i proizvođači energije.

4.2. INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA 4.0 KAO TEMELJ NOVOG MODELA ENERGETSKOG TRŽIŠTA

Povezivanjem milijardi ljudi pametnim mobilnim uređajima otvorene su neograničene mogućnosti za nove odnose u funkcioniranju elektroenergetskog tržišta, a koje obuhvaća proizvodnju, potrošnju i skladištenje energije. Te neograničene mogućnosti eksponencijalno se pretvaraju u realnost novim teh-

nološkim otkrićima na područjima kao što su umjetna inteligencija, robotika, Internet stvari (povezivanje uređaja putem interneta), autonomna vozila (vozila bez vozača), 3D tisak, nanotehnologija, biotehnologija, znanost o materijalima, skladištenje energije i kvantno računalstvo. Informatička (IT) revolucija i postignuta dostignuća poboljšala su životni standard te uživaju visoku razinu potrošačke i političke podrške. Veliki je pomak od jednostavne digitalizacije (treća industrijska revolucija) do inovacija utemeljenih na kombinacijama tehnologija (četvrta industrijska revolucija). Automatizacija IT-a nastavila se istodobno s rastom tržišne snage trgovačkih društava. Tehnološka poboljšanja ostvarena napretkom IT-a pokretač su rastuće produktivnosti i rasta. Prva industrijska revolucija koristila se vodom i parom za mehanizaciju proizvodnje. Druga industrijska revolucija koristila se električnom energijom za masovnu proizvodnju. Treća (jednostavna digitalizacija) revolucija koristi elektroniku i informacijsku tehnologiju za automatizaciju proizvodnje. Četvrta industrijska revolucija, koja je na svom početku, nastavlja se na trećoj, a karakterizira ju spajanje tehnologija koje povezuju fizikalne, digitalne i biološke sustave uz gotovo neograničene brzine, opseg i utjecaj na cijeli sustav. Četvrta industrijska revolucija razvija se eksponencijalno, a ne linearno kao prijašnje industrijske revolucije. Ona ima utjecaj na svaki sektor gospodarstva. Širina i dubina promjena koje donosi najavljuje korjenite promjene sustava proizvodnje i upravljanja (Schwab, 2015.). Pametni sustavi imaju tendenciju da nude dinamično određivanje cijena (primjer taksi službe Uber), a u energetske sustavima služe za smještaj distribuirane proizvodnje električne energije. Ova industrijska revolucija u velikoj mjeri mijenja ne samo svijet oko nas i ono što radimo, nego i nas same.

Snaga i potencijal računalnih programa za rješavanje bilo kojeg problema, a što je neophodno za analiziranje velike količine podataka, nikada nisu bili veći. Pentium IIs koji se koristio u prvoj godini rada Googlea (1998.) izvodio je oko 100 milijuna operacija u sekundi. Grafički procesor koji se danas koristi izvodi oko 20 trilijuna takvih operacija, odnosno oko 200.000 više. Istovremeno vlastiti Googlovi procesori (TPU - tensor processing unit) koji se koriste u razvoju umjetne inteligencije sada su sposobni za 180 trilijuna operacija u sekundi, devet puta više od onih koji se uobičajeno koriste (izvor: <https://abc.xyz/investor/founders-letters/2017/index.html>).

Sve navedeno bitna je pretpostavka modela energetskog tržišta s distribuiranom proizvodnjom električne energije (više stotina tisuća i milijuna novih malih proizvodnih kapaciteta) za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora (sunce, vjetar...) uz bežično upravljanje uređajima za proizvodnju i potrošnju (pametni uređaji) preko distributivne mreže (pametne mreže), uz mogućnost skladištenja električne energije (baterije...).

4.3. MODEL DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Energetski poslovni model u stanju je promjena, a energetski sustav jedan je od posljednjih koji se transformira od analognog k digitalnom načinu funkcioniranja. Energetska infrastruktura transformira se u aktivnu mrežu, s inteligentnim komponentama i naprednim komunikacijskim objektima. Ova promjena dovodi do razvoja novih poslovnih koncepata i uspostave novih usluga. Decentralizirana proizvodnja i potrošnja, jedno blizu drugoga, mogu pridonijeti učinkovitijoj potrošnji energije.

EU u skladu sa svojom energetskom politikom i politikom zaštite okoliša potiče kućanstva, preko nacionalnih vlada, da ulažu u obnovljivu energiju dajući im subvencije za instaliranje proizvodnih postrojenja ili cjenovne poticaje kroz tarife za proizvedenu električnu energiju, čime se osigurava sigurnost na povrat ulaganja. Višak proizvedene energije isporučuje se tradicionalnom dobavljaču energije. To znači da je potrošač i na strani potražnje i na strani ponude te na taj način utječe na tokove energije.

Da bi se zadovoljila rastuća potreba za energijom i istovremeno zadovoljili ekološki i ekonomski zahtjevi, struktura energetskog tržišta polako prelazi s centraliziranog sustava na interaktivniji i decentralizirani model temeljen na pametnoj tehnologiji (eng. Smart Grid) u kojem krajnji korisnici također mogu igrati ulogu aktivnih korisnika usluga ili aktivnih kupaca (eng. prosumers), odnosno postaju istovremeno i proizvođači i potrošači energije (Kotilainen, et al., 2016.).

Aktivni korisnik prvi put u literaturi definira se kao spoj proizvođača i potrošača, što vodi k novim oblicima ekonomije u modernom društvu. Potrošači su u ranijim oblicima društva ujedno bili i prvi proizvođači (Toffler, 1980.) koji su zadovoljavali primarno vlastite potrebe (Berthon et al., 2007.). Kotler je smatrao da će trgovci teško prodati one proizvode i usluge koje ljudi mogu proizvesti te da su to oni proizvodi i usluge koji će donijeti visoku uštedu troškova, koji zahtijevaju minimalnu vještinu, troše malo vremena i truda i donose visoko osobno zadovoljstvo (Kotler, 1986.). S vremenom se važnost takvih proizvoda ili usluge ogledala u korištenju resursa na tržištu da bi proizveli dodanu vrijednost (Mustak et al., 2013.).

Aktivni korisnik usluga na energetskom tržištu je netko tko i proizvodi i troši energiju, što je omogućeno novim naprednim i pametnim tehnologijama i stalnim povećanjem proizvodnih kapaciteta iz obnovljivih izvora i njihovim priključenjem na električnu mrežu. On pomaže u očuvanju okoliša, potiče gospodarski razvoj, veću konkurenciju i inovacije u energetskom sektoru.

Tablica 2. prikazuje razlike između postojećeg i novog modela energetskeg tržišta

Tablica 2. Razlike između postojećeg i novog modela energetskeg tržišta

Postojeći model	Novi model
Kupac kao potrošač	Kupac kao aktivni korisnik
Energija je roba	Potrošači su roba
Profit od energije	Profit od inovativnog tržišta/integriranih usluga
Znanje iz energetike	Znanje iz IT-a, financija, energetike
Energetska sigurnost za kupce	Neovisnost i predvidivost za kupce
Ograničeno tržište	Rastuće tržište

Postoji nekoliko vrsta aktivnih korisnika usluga (EPRS, 2016.):

- aktivni korisnici usluga u zgradama za stanovanje koji proizvode električnu energiju u vlastitim stambenim jedinicama, uglavnom kroz solarne fotonaponske (engl. photovoltaics - PV) ploče na njihovim krovovima (proizvode električnu i/ili toplinsku energiju)
- aktivni korisnici usluga organizirani u energetske zadruge ili stambene udruge koje vode građani koji proizvode električnu energiju uglavnom solarnim fotonaponskim panelima i vjetroturbinama
- poslovni aktivni korisnici usluga (mali i srednji poduzetnici – poslovne zgrade) čija glavna djelatnost nije proizvodnja električne energije, ali koji sami troše električnu energiju koju proizvode, uglavnom s krovnim PV panelima i kombiniranom proizvodnjom električne i toplinske energije (kogeneracija), što dovodi do značajnih ušteda
- javni aktivni korisnici usluga - javne institucije poput škola ili bolnica ili drugih javnih institucija koje proizvode električnu energiju.

U novom modelu poslovanja ponuda energije postaje manje predvidljiva i manje fleksibilna, dok potražnja postaje fleksibilnija (npr. pomoću pametnih mjerila i “pametnih” kućanskih aparata), ali složenija za predvidjeti i upravljati, npr. nova potražnja, (Hoggett i sur., 2013.). Novi model oslanja se na veći angažman potrošača u sustavu, na sposobnosti smanjenja ukupne potražnje, učinkovito upravljanje potrošnjom te veći udio distribuirane proizvodnje od strane potrošača. S uvođenjem tehnologije pametnih mreža, pojavljuju se nove mogućnosti za integraciju proizvodnih kapaciteta na strani ponude i pametnih aparata na strani potražnje.

S pojavom naprednih i pametnih tehnologija, potrošači su znatno informiraniji u pogledu energetskeg tržišta, odnosno proizvodnje i potrošnje električne energije. Sada mogu istovremeno biti i proizvođači i potrošači energije, što

rezultira dvosmjernim tokovima energije, prema potrošačima i od potrošača. Sljedeći korak u razvoju modela jest da će aktivni korisnici usluga postati i skladištari energije u spremnicima za energiju odnosno baterijama. Buduća transformacija modela omogućuje energetskim korisnicima proaktivno odabiranje izvora energije, npr, samo ili djelomično iz obnovljivih izvora za rasvjetu, grijanje, pokretanje uređaja i transport. Sve ovo mora se odvijati uz potpuno pouzdanu opskrbu električnom energijom.

Pametne mreže kao temelj novoga modela poslovanja i funkcioniranja energetskog tržišta temeljit će se na informacijskoj i komunikacijskoj infrastrukturi. Uvođenje pametnog mjerenja unutar pametnih mreža otvara novu mogućnost za uključivanje potrošača u novi model putem programa odgovora (odziva) na potražnju (eng. Demand Response). Ti programi usmjereni su na potražnju potrošača s ciljem poboljšanja učinkovitosti sustava i postizanja najboljih ekonomskih, operativnih i tehničkih rezultata. Programi odziva na potražnju uključuju aktivnosti usmjerene na poticanje potrošača da mijenjaju dosadašnji način potrošnje električne energije, uključujući “vrijeme potrošnje” i razinu potrošnje električne energije. Njihov odziv temeljio bi se na pravovremenim informacijama, npr. cijenama cijena električne energije u određenom dobu dana. Tada bi potrošači (ili operatori mreže) putem daljinskog upravljanja uređajima mogli uključivati odnosno isključivati uređaje i na taj način utjecati na opterećenje sustava i potrošnju električne energije. Značajan udio dnevne potrošnje električne energije u razvijenom svijetu odnosi se na uređaje koji se smatraju “pametnim” (npr., bojler, klima uređaji, sušilice za sušenje rublja, perilice za pranje posuđa). “Pametani” znači da su zahtjevi za energijom elastični i mogu se tolerirati kašnjenja (u usporedbi s drugim uređajima koji trebaju biti pogonjeni istovremeno kada pružaju uslugu). Iz perspektive potrošača, sve dok se usluga koju pametni aparat može ispuniti unutar određenih vremenskih ograničenja, njihova dobrobit ne smanjuje se i treba ih zadovoljavati (Parag, 2015.). Jedan od tih aparata je i pametno brojilo. Funkcionalnosti i prednosti naprednih brojila su brojne:

- daljinsko očitavanje brojila
- dvosmjerna komunikacija u realnom vremenu
- mjerenje krivulje opterećenja i potrošnje
- nadzor kvalitete opskrbe
- pristup podacima na zahtjev kupca i/ili treće strane
- daljinsko upravljanje i parametriranje (programiranje) brojila
- podrška dodatnim uslugama i aplikacijama, npr. upravljački sustav u kućanstvu, daljinsko ograničenje snage, uključivanje/isključivanje priključnog mjesta

- vremenski promjenjivi tarifni sustavi (eng. “Time of use Tariffs”).
- dinamičke obavijesti kupcu (o promjeni cijene), npr. preko kućnog energetskog pokaznika (eng. in-home display)
- jednostavnije sprječavanje krađe električne energije

Treći paket energetskih zakona (Directive 2009/72/EC) poziva zemlje članice EU-a da “implementiraju napredna brojila što će doprinijeti aktivnom sudjelovanju krajnjih kupaca na tržištu električne energije”. Utemeljeno na vrednovanju ekonomske isplativosti, smjernice zahtijevaju opremanje barem 80 posto ukupnog broja krajnjih kupaca naprednim brojilima do 2020. godine.

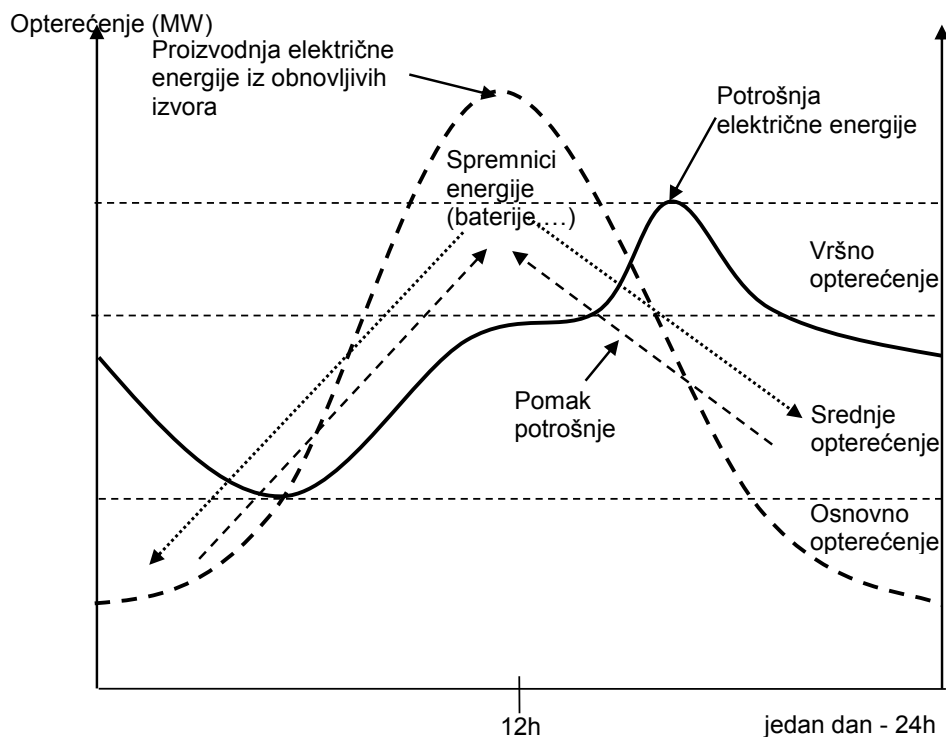
Decentralizirana proizvodnja energije ima za cilj smanjenje proizvodnih i distribucijskih nedostataka, što dovodi do velikih gospodarskih i ekoloških koristi. Ovaj novi model treba podržati pametna mreža, elektroenergetska mreža koja može inteligentno integrirati akcije svih korisnika povezanih s njima. Na pametnoj mreži potrošač je pojedinac, kućanstvo, lokalna zajednica ili mali poduzetnici (European Technology Platform, 2012.).

Slika 2. prikazuje novi energetski model za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i potrošnjom s uključenim aktivnim korisnicima usluga.

Upravljanje potrošnjom energije pomoću pametnih tehnologija, kao i lokalnom proizvodnjom energije uz izgradnju pametnih mreža, utječe na promjenu ponašanja potrošača u potrošnji energije. S obzirom na cjenovne signale s tržišta potrošači prilagođavaju (smanjuju) svoju potrošnju te uz lokalnu proizvodnju postaju važnim distribuiranim izvorima energije, a što značajno pomaže uravnoteženju elektroenergetskog sustava (prikazano kroz pomak potrošnje na Slici 2.).

Skladištenje (pohrana) energije još je jedan element novog modela energetskog tržišta. Tehnologije skladištenja energije važna je komponenta za integraciju obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav. Skladištenje energije balansira neusklađenost između proizvodnje i potrošnje električne energije (prikazano kroz spremnike energije na Slici 2.), korisnici povećavaju opskrbljenost vlastitom energijom te imaju veću kontrolu nad potrošnjom energije.

Slika 2. *Proizvodnja i potrošnja električne energije u novom modelu energetskog tržišta s uključenim aktivnim kupcima*



Izvor: izrada autora

Kao mogućost pohrane energije, spominju se i električna vozila s električnim napajanjem kroz mogućnost korištenja električnih baterija za privremeno skladištenje električne energije (Sandalow, 2009., Heymans, Walker et al., 2014.). Svjetske rezerve litija, neophodne za postojeću tehnologiju proizvodnje baterija, nisu dostatne za zadovoljenje potražnje, što traži značajno povećanje istraživanja rezervi i povećanje proizvodnje više od deset puta u odnosu na danas. Do 2050. samo za baterije trebat će dva puta više kobalta od sada poznatih svjetskih rezervi i zato treba intenzivno raditi na alternativama u proizvodnji baterija (Vaalma et al., 2018.).

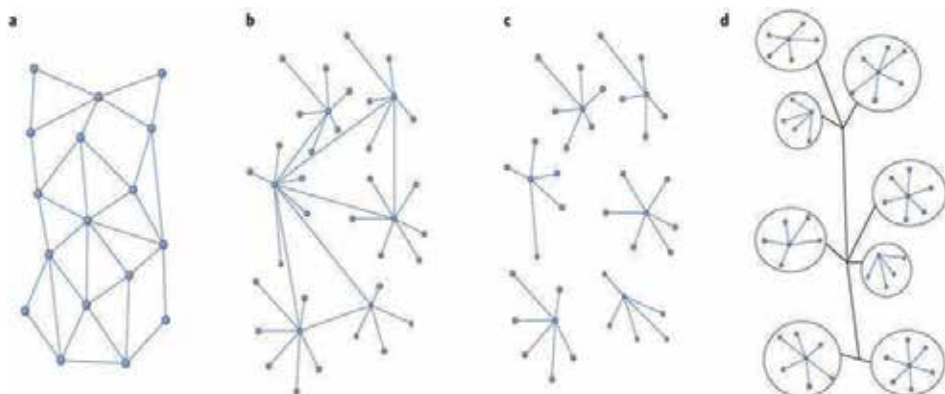
Mikro-proizvodnja potrošača potencijalno povećava opskrbu električnom energijom s niskom razinom ugljika a u distribuiranim malim i srednjim sustavima štedi gubitak prijenosa i distribucije kao troškove vezane za elektroenergetske mreže (Pepermans, Driesen et al., 2005.). Također može imati za

posljedicu i manje investicije u prijenosnu i distributivnu mrežu zbog manje potrebe za mrežnim kapaciteta. Različiti sustavi poticanja služe za stimuliranje mikro proizvodnje potrošača. Poticanje mikro proizvodnje trebalo bi biti takvo da je distorzija tržišta električne energije najmanja, a da projekti budu održivi. Najčešći način poticanja mikro proizvodnje jesu poticaji koji se dodjeljuju kao premije povrh tržišne cijene (eng. Feed in premium), pri čemu proizvođači svoju električnu energiju prodaju izravno na tržištu.

Tri su moguća modela integriranih tržišta s uključenim aktivnim korisnicima (Parag & Sovacool, 2016.):

- 1 - model s aktivnim korisnicima na istoj razini - u kojoj se aktivni korisnici međusobno izravno povezuju te između sebe kupuju i prodaju energetske usluge (Slika 3.a)
- 2 - integriranje aktivnih korisnika:
 - b. na mikro (lokalne) mreže - u kojoj aktivni korisnici pružaju usluge lokalnim mrežama koje su povezane s većom mrežom (distribucija, prijenos) (Slika 3.b)
 - c. u kojem aktivni korisnici pružaju usluge nezavisnim/samostalnim mikro (lokalnim) mrežama (Slika 3.c)
- 3 - aktivni korisnici organizirani su u grupu - u kojem grupa aktivnih korisnika udružuje svoju proizvodnje/usluge/sredstva ili stvaraju virtualnu elektranu; krug predstavlja organiziranu grupu aktivnih korisnika (Slika 3.d).

Slika 3. Strukturna svojstva triju modela integriranih tržišta s uključenim aktivnim korisnicima



Izvor: Parag & Sovacool, 2016., str. 6.

Napomena: točke predstavljaju agregatora (eng. *Aggregator*)

U modelima integriranog tržišta pojavljuju se nove uslužne tvrtke, agregatori, koji djeluju kao posrednici između kupaca i tržišta, a koji obavljaju poslove vezane uz energetske usluge aktivnih korisnika usluga. Agregator je pružatelj usluga potražnje koji kombinira više kratkotrajnih opterećenja potrošača za prodaju ili dražbu na organiziranim tržištima energije.

Tri su vrste agregatora:

- agregatori kupaca - okupljaju zajedno različite kupce čija je potrošnja fleksibilna i nude usluge različitim tržišnim sudionicima
- agregatori proizvodnje - okupljaju zajedno različite vrste distribuirane proizvodnje i nude usluge različitim tržišnim sudionicima
- kombinacija prethodnog.

Prethodno spomenuta virtualna elektrana (VE) kod aktivnih korisnika organiziranih u grupu, (Dietrich, 2015.) važan je element novoga tržišnog modela koji se temelji na lokalnom tržištu u odnosu na nacionalno tržište. VE je sustav koji integrira nekoliko vrsta izvora napajanja kako bi osigurao pouzdan ukupni izvor napajanja. Sastoji se od kombiniranja raznih distribuiranih proizvodnih jedinica male veličine da bi se formirala "jedna virtualna proizvodna jedinica" koja može djelovati kao konvencionalna elektrana sposobna biti vidljiva ili upravljiva na pojedinačnoj osnovi. VE je mreža decentraliziranih jedinica srednje veličine kao što su vjetro i solarni parkovi, fleksibilni potrošači energije i baterije koje su međusobno povezane kroz dispečerski odnosno IT centar VE, ali ipak ostaju neovisne u svom radu i vlasništvu. Cilj VE je smanjiti opterećenje preko pametne mreže distribucijom snage koju proizvode pojedine jedinice tijekom razdoblja najvećeg opterećenja elektroenergetskog sustava. Električnom energijom umreženih jedinica u VE trguje se na burzi energije (Next Kraftwerke). S centralnim upravljanjem energijom (eng. energy management system-EMS) moguće je decentraliziranu proizvodnju tako povezati, opsluživati i pratiti da ona s energetske gledišta prema potrošnji djeluje „kao elektrana”. U funkcioniranju zamišljenog sustava upravljanja energijom, moguća su ograničenja na lokalnoj razini, a zbog neizgrađene IT infrastrukture. S virtualnim elektranama postoje i inačice korištenja koje su usmjerene na mjere prema strani potrošnje, odnosno kupca (eng. Demand side management DSM). Tako isključenjem opterećenja ili vremenskog pomaka potrošnje od strane potrošača uz korištenje spremnika energije, moguće je dodatno optimizirati proizvodne potencijale i skupa malih elektrana.

Informiranje potrošača o njihovoj potrošnji i kako ju smanjiti jedna je od čestih mjera. Allcott (2011.) je procjenjivao učinkovitost niza programa u SAD-u, u kojima su poštom slana izvješća o potrošnji energije kućanstvima, uspoređujući njihovu potrošnju električne energije s onima svojih susjeda. All-

cott je utvrdio da prosječni program smanjuje potrošnju energije za 2 posto i zaključio da dobro osmišljena necjenovna intervencija može znatno i troškovno učinkovito uključiti potrošače i promijeniti njihovo ponašanje te biti ekvivalentan njegovom učinku na kratkoročni rast cijena električne energije od 11 do 20 posto. U usporedbi s periodičnim izvješćima, kućni energetske prikazi (monitori) povezani s pametnim mjernim uređajem, pružaju češće i preciznije informacije o potrošnji, a u nekim slučajevima pružaju i informacije o jeftinijim / skupljim tarifama za “vrijeme korištenja”. Pretpostavlja se da dobro informirani potrošači imaju veću kontrolu nad korištenjem energije i primjenjuju racionalno ekonomsko ponašanje, čime se štedi novac i energija. Studije procjenjuju da bi pametni ekran s informacijama o potrošnji energije u realnom vremenu mogao dovesti do uštede električne energije od oko 3-5% u stambenom sektoru (McKerracher i Torriti, 2013.).

Novi energetske model potiče i razvoj industrije da kao značajan potrošač energije razvija projekte obnovljivih izvora energije kako bi se proizveo dio ili sve njihove potrebe za energijom i električnom energijom. Koristi industrijske aktivnih korisnika od novog modela (UNIDO):

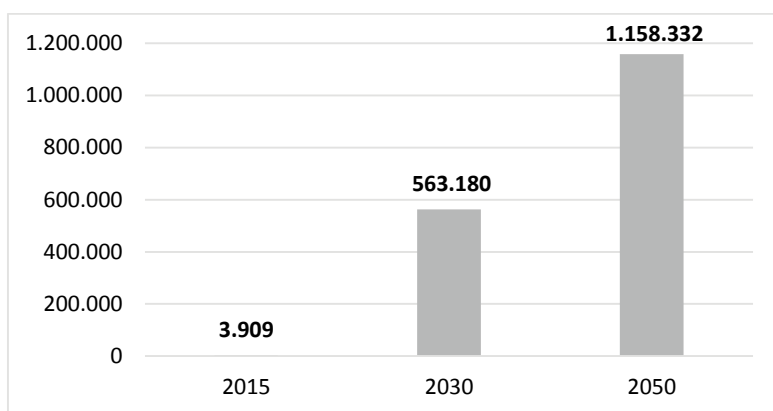
- pretvaranje energije kao čimbenika troškova u novu poslovnu priliku odnosno prihod
- povećanje pouzdanosti opskrbe energijom i električnom energijom
- smanjenje troškova opskrbe energijom
- produktivno korištenje otpada (bioplin)
- razvijanje novog izvora prihoda
- povećanje učinkovitosti i pouzdanosti proizvodnje (kao što je smanjenje uzroka zbog nestanka struje)
- smanjenje troškova industrijske proizvodnje, emisija i onečišćenje
- promicanje lokalnog razvoja, posebno u ruralnim područjima, izvozom viška energije ili struje u lokalnu zajednicu
- potpora naporima za povećanje korporativne društvene odgovornosti
- stvaranje zelenih radnih mjesta u lokalnoj sredini
- povećanje konkurentnosti u industriji.

Energetsko tržište, odnosno električna energija, pokazala se kao idealan proizvod za aktivne korisnike razvojem pametnih tehnologija. Razvijaju se ekonomski modeli gdje aktivni korisnici imaju ulogu distribuiranih proizvođača električne energije. Tržišta roba se uobičajeno analiziraju iz perspektive ravnoteže ponude i potražnje, gdje se određuju ravnotežna cijena i ravnotežna količina. U slučaju energetskog tržišta potrebno je razumjeti funkciju korisnosti potrošača energije, kako bi optimalno odredili potrošnju energije. Ako ovaj “potrošač” postane i proizvođač, odnosno aktivni korisnik ujedno spo-

soban i za pohranjivanje energije, funkcija korisnosti postaje složenija (Sun at al, 2013.). Tradicionalni ekonomski modeli ne uspijevaju ispravno modelirati ekonomske odluke kada je u pitanju tržište električne energije te se predlažu hibridni modeli za definiranje funkcije korisnosti aktivnih korisnika koji su i potrošači i proizvođači električne energije (Na at al., 2011.; Hubert and Grijalva, 2011.). Električna energija uobičajeno se analizira kao obična roba (Zareipour at al., 2006.). Krivulje potražnje izvode se iz funkcije korisnosti potrošača koji optimiziraju svoju korisnost, a krivulje ponude se izvode iz proizvođača koji optimizira svoj profit. Zbog nemogućnosti skladištenja većih količina električne, tržište električne energije može se promatrati kao tržište s više različitih roba u kojima je električna energija u svakoj pojedinoj točki zasebna roba. To zahtijeva uravnoteženu opskrbu i potražnja za električnom energijom (Sun at al, 2013.). Model aktivnih korisnika kombinacija je modela potrošača i proizvođača. Ima prednosti i potrošača i proizvođača. Uspoređujući se s potrošačima, aktivni korisnici imaju mogućnost proizvodnje i prodaje energije. Uspoređujući se s proizvođačima, aktivni korisnici imaju više mogućnosti za ublažavanje rizika od promjene cijena električne energije.

Iako se iz današnje perspektive novi model energetskeg tržišta s distribuiranom proizvodnjom iz obnovljivih izvora i aktivnim korisnicima u njegovu središtu čini dalek, analize provedene za sve zemlje na razini EU-a, uključujući i Hrvatsku, predviđaju njegovu implementaciju vrlo brzo. Tako se predviđa da će 2030. godine u Hrvatskoj biti preko pola milijuna aktivnih korisnika usluga (Graf 9.), iako ih je 2015. godine bilo četiri tisuće.

Graf 9.: Broj aktivnih korisnika 2015. i procijenjeni broj aktivnih korisnika 2030. i 2050. godine u Hrvatskoj



Izvor: izračun autora prema Delft, 2016.

Procjene broja aktivnih korisnika idu i do 2050. godine, do kada se očekuje da će u Hrvatskoj biti preko milijun aktivnih korisnika usluga koji će proizvoditi električnu energiju iz solarnih panela i vjetroelektrana, voziti vozila na električni pogon, pohranjivati električnu energiju u baterijama i sudjelovati u odzivu na potražnju. Na razini EU-a procjene su da će 2050. godine aktivni korisnici predstavljati 83 posto ukupnih kućanstava EU-a koji će proizvoditi oko 45 posto električne energije (Delft, 2016.).

5. ZAKLJUČAK

Model gospodarskog razvoja temeljenog na fosilnim gorivima imao je za posljedicu emisiju stakleničkih plinova, prije svega CO₂. Posljedice su bile vidljive kroz klimatske promjene pa su se rješenja aktivnije počela tražiti od početka devedesetih godina dvadesetog stoljeća. Najbolji način za smanjenje emisije ugljika jest povećanje proizvodnje električne energije iz visoko učinkovite distribuirane tehnologije iz obnovljivih izvora.

Centraliziranu proizvodnju zamjenjuje distribuirana proizvodnja električne energije iz sunca i vjetra, a odvija se kroz energetska tranziciju. Razni financijski poticaji i zakonodavstvo potiču potrošače energije da se uključe u energetska tranziciju. Pad cijena tehnologije s padom cijena postrojenja obnovljivih izvora energije dovelo je do povećane konkurentnosti za konvencionalne izvore energije. To je dodatno povećalo ulaganja u obnovljive izvore u kombinaciji s cjenovnim poticajem. Distribuirana proizvodnja energije i decentralizacija proizvodnje električne energije preko solarnih panela i vjetroelektrana također su pridonijeli rastu broja energetskih korisnika. Vozila na električni pogon tehnološki su napredovala i gotovo došla do razine konkurentnosti s vozilima na naftne derivate.

Sve navedeno otvorilo je vrata novom modelu energetskog tržišta u kojem klasičnog potrošača zamjenjuje aktivni korisnik koji je ujedno i potrošač i proizvođač. Pojava aktivnih korisnika u energetskom modelu poslovanja i energetskom tržištu navješćuje strukturni pomak u tome kako će se energija proizvoditi, distribuirati i trošiti u budućnosti. Novi model omogućuje/će omogućiti zelenu, lokalno kontroliranu, pouzdanu opskrbu energijom, a maksimalno povećava financijske prednosti sudjelovanja u pametnoj mreži. U novom modelu dramatično se mijenja odnos između klasičnih tvrtki za proizvodnju električne energije i njihovih kupaca koji su sada u stanju unovčiti svoju sposobnost proizvodnje električne energije, kao i upravljanje potrošnjom odnosno fleksibilnost u potrošnji. Novi model daje mogućnosti za uključivanje lokalnih

zajednica, tvrtki za pružanje usluga u energetici (ESCO) i pojedinaca u proizvodnji energetskih usluga.

U usporedbi s postojećim modelom energetskog tržišta koje se temelji na ponudi, novi model je znatno složeniji jer se temelji i na ponudi ali i na potražnji koja uključuje različite vrste usluga, širu raznolikost sudionika/skupina koje ispunjavaju različite i promjenjive uloge kao i veliki broj sudionika. Na decentraliziranim tržištima s visokim udjelom proizvodnje iz obnovljivih izvora potrošači i proizvođači mogu lakše trgovati izravno jedni s drugima. Isporuka električne energije će biti “visoko personalizirani, visoko automatizirani” proces koji će uključivati različite opcije usluga temeljene na zahtjevima za sigurnosti i pouzdanosti opskrbe te specifičnim vrstama obnovljivih izvora energije. Novi model poslovanja povećat će ekonomske i ekološke koristi od usluga kao što su mikro-proizvodnja, smanjenje potražnje, reakcija na potražnju i skladištenje energije.

Još uvijek postoje izazovi koje je potrebno riješiti kako bi se omogućio gladak prijelaz iz starog u novi model poslovanja odnosno u novi model tržišta. Pitanje je hoće li se trošak novih usluga i tehnologija isplatiti, bilo kroz niže troškove za potrošnju energije ili manje investicije. Također, takvi proizvodni kapaciteti imaju i više troškova održavanja. Postoje i dodatni troškovi i tehnički problemi vezani za priključivanje i integraciju tih kapaciteta u elektroenergetsku mrežu. Varijacije u opskrbi električnom energijom također mogu utjecati na pouzdanost, sigurnost i učinkovitost energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije.

Nepredvidljivost proizvodnje energije iz tehnologija koje se koriste obnovljivim izvorima utjecali su na znatne investicije u traženje rješenja. Jedno od najvažnijih područja jesu pametne mreže.

Svi navedeni izazovi svakako su savladivi pa proizvođači električne energije traže bolje načine za povezivanje s kupcima te upravljanje i optimizaciju sve složenijeg modela poslovanja.

LITERATURA

1. Allcott, H., Social norms and energy conservation *Journal of Public Economics* 95 (9–10), 2011., pp. 1082.–1095.
2. Berthon, P., Pitt, L., McCarthy, I. and Kates, S., When consumers get clever: managerial approaches to dealing with creative consumers, *Business Horizons*, Vol. 50, 2007., pp. 39.-47.
3. Beus, M., Pavić, I., Štritof I., Capuder, T., Pandžić, H., Electricity Market Design in Croatia within the European Electricity Market—Recommendations for Further Development, *Energies*, 2018., 11(2), 346.

4. BP – British Petroleum: BP Statistical Review of World Energy June 2018, (pristupljeno 24.7.2018., <https://www.bp.com/>)
5. Centar za vozila Hrvatske, (pristupljeno 24.7.2018., <https://www.cvh.hr/tehnicki-pregled/statistika/>)
6. EIA, International Energy Outlook 2017, U.S. Energy Information Administration (pristupljeno 24.7.2018., [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf))
7. Enerdata: Global Energy Statistical Yearbook 2018. (pristupljeno 24.7.2018., <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>)
8. Energija u RH 2017., Ministarstvo zaštite okoliša i energetike (pristupljeno 24.7.2018., http://www.mzoe.hr/doc/energija_u_hrvatskoj_za_2016_godinu.pdf)
9. EPRS - European Parliamentary Research Service, Research Service, Briefing, November, 2016.
10. European Technology Platform. SmartGrids SRA 2035. Strategic Research Agenda. Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035, March, 2012.
11. Gelo, T., Interkonekcija potrošnje energije i rasta BDP-a, *Ekonomska misao i praksa*, br. 1, 2010., str 3.-28.
12. Heymans, C., S. B. Walker, et al., Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling, *Energy Policy*, 2014.
13. Hoggett, R., N. Eyre, et al., *Demand and Energy Security. New Challenges in Energy Security: The UK in a Multipolar World*, C. Mitchell, J. Watson and J. Whiting. London, Palgrave, 2013.
14. Howarth, N., Galeotti, M., Lanza, A. et al., Economic development and energy consumption in the GCC: an international sectoral analysis, *Energy Transit* 1: 6., 2017.
15. HROTE, Hrvatski operator tržišta energije, Sustav poticanja OIEiK u RH – godišnji izvještaj za 2017. godinu, veljača 2018. (pristupljeno 24.7.2018.; https://files.hrote.hr/files/PDF/OIEiK/GI_2017_HROTE_OIEiK_verzija_zaWEB.pdf)
16. Hubert, T., Grijalva, S., Home energy manager: A consumer-oriented interactive tool to optimize energy use, in *Consumer Electronics (ICCE)*, 2011 IEEE International Conference on, 2011., pp. 505.–506.
17. IEA - International Energy Agency. Residential Prosumers—Drivers and Policy Options (ReProsumers); Renewable Energy Technology Deployment; International Energy Agency: Paris, France, 2014.
18. IEA: Key world energy statistics 2017, International Energy Agency (pristupljeno 24.7.2018.; <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Key-World2017.pdf>)
19. Kotilainen, K., Sommarberg, M., Järventausta, P., & Aalto, P., Prosumer centric digital energy ecosystem framework, in *MEDES Proceedings of the 8th International Conference on Management of Digital EcoSystems* (pp. 47.-51.), ACM, 2016.
20. Kotler, P., The Prosumer Movement: a New Challenge For Marketers, in *NA - Advances in Consumer Research* Volume 13, eds. Richard J. Lutz, Provo, UT: Association for Consumer Research, 1986., pages: 510.-513.
21. McKerracher, C. and J. Torriti, Energy consumption feedback in perspective: integrating Australian data to meta-analyses on in-home displays, *Energy Efficiency* 6 (2), 2013., str. 387.–405.

22. Medlock, K.B., Soligo, R., Economic development and end-use energy demand. *Energy J.* 22, 2001., str. 77.–105.
23. Mustak, M., Jaakkola, E. and Halinen, A., Customer participation and value creation: a systematic review and research implications, *Managing Service Quality*, Vol. 23 No. 4, 2013., pp. 341.-359.
24. Na, L., Lijun, C., Low, S. H., Optimal demand response based on utility maximization in power networks, in *Power and Energy Society General Meeting*, 2011 IEEE, 2011., pp. 1.–8.
25. Next Kraftwerke; (pristupljeno 23.7.2018., <https://www.next-kraftwerke.com/vpp/virtual-power-plant>)
26. OECD: Investing in climate, investing in growth. OECD, Paris, 2017.
27. Parag, Y., Beyond energy efficiency: A ‘prosumer market’ as an integrated platform for consumer engagement with the energy system, ECEEE 2015 Summer Study on Energy Efficiency, At France, 2015., DOI: 10.13140/RG.2.1.4727.5921
28. Parag, Y. and Sovacool B. K., Electricity market design for the prosumer era, *Nature Energy* volume 1, 2016., Article number: 16032. doi:10.1038/nenergy.2016.32
29. Pepermans, G., J. Driesen, et al., Distributed generation: definition, benefits and issues, *Energy Policy* 33 (6), 2005., 787.–798.
30. Ritzer, G. and Jurgenson, N., Production, Consumption, Prosumption: The nature of capitalism in the age of the digital ‘prosumer’, *Journal of Consumer Culture*, Vol. 10(1): 13–36 1469-5405, 2010., DOI: 10.1177/1469540509354673
31. Sandalow, D. B., Ed., Plug-In Electric Vehicles: What Role for Washington?, The Brookings Institution, 2009.
32. Schwab, K., The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond, Published by the Council on Foreign Relations, December 12, 2015. (pristupljeno 5.5.2018., <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>)
33. Sun, Q., Cotterell, E. M., Wu, Z., Beach A., Grijalva, S., An Economic Model for Distributed Energy Prosumers, *46th Hawaii International Conference on System Sciences* (HICSS), 2013., pp. 2103.-2112.
34. Toffler, A., *The Third Wave*, William Morrow and Company Inc., New York, 1980.
35. UN - United Nations: World Population Prospects 2017 (pristupljeno 24.7.2018.: <https://esa.un.org/unpd/wpp/>)
36. UNIDO - United Nations Industrial Development Organization, Industrial Prosumers of Renewable Energy Contribution to Inclusive and Sustainable Industrial Development, Vienna, 2015.
37. Vaalma, C., Buchholz, D., Weil, M. and Passerini S., A cost and resource analysis of sodium-ion batteries, *Nature Reviews Materials*. 3, 18013, 2018.
38. WB: World Bank (pristupljeno 25.7.2018. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>)
39. Zareipour, H., Canizares, C., Bhattacharya, K., Thomson, J., Application of public-domain market information to forecast ontario’s wholesale electricity prices, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 21, no. 4, pp. 1707 –1717, nov. 2006.
40. Delft, *The potential of energy citizens in the European Union*, CE Delft, September 2016. (www.cedelft.eu; pristupljeno 28.4.2018.)

