

U susret energetske tranziciji

Towards energy transition

dr. sc. Goran Granić i suradnici
Energetski institut Hrvoje Požar
ggranic@eihp.hr



Ključne riječi: strategija, energetski sektor RH, tranzicija, nove tehnologije, obnovljivi izvori energije, gospodarenje energijom, razvoj tržišta energije

Key words: strategy, Croatia's energy sector, transition, new technologies, renewable energy sources, energy management, energy market development

Sažetak

U radu su prikazana razmišljanja na temu osnovnih aspekata energetske tranzicije koja je započela i kreće se u smjeru proizvodnje i korištenja energije bez štetnih emisija (ponajprije CO₂). Prikazani su rezultati provedenih analiza o načinu budućeg zadovoljenja energetske potrebe Republike Hrvatske do 2050. godine, uz poštivanje preuzetih obaveza o smanjenju emisija, povećanju energetske učinkovitosti i očuvanje sigurnosti opskrbe. U promatranom se razdoblju očekuje smanjenje neposredne potrošnje energije, pri čemu se mijenjaju udjeli korištenih energenata, dok se smanjuje upotreba tekućih goriva, raste udio električne energije. Pri tome umjesto kućanstava, sektor prometa postaje energetski najintenzivniji sektor potrošnje, a raste i udio usluga i industrije. Uvoz energije i energenata se smanjuje i vlastita opskrbljenost raste za oko 15% u odnosu na sadašnju. Električna energija se do kraja razdoblja proizvodi uglavnom iz obnovljivih izvora (preko 85%), a ukupna snaga elektrana se povećava za oko 2.5 puta u odnosu na današnje kapacitete. Velike promjene u infrastrukturi i korištenim energentima zahvaćaju i sektor prometa. Opredjeljenje da se emisije stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj smanje do

2050. za skoro 75%, u odnosu na 1990. godinu je veliki izazov koji podrazumijeva i snažan tehnološki razvoj u naredne tri decenije. Smatra se da važnu ulogu u ostvarenju energetske tranzicije mogu imati i nove tehnologije proizvodnje vodika, metana i tekućih goriva iz električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora (Power to gas i Power to liquids). Predloženi način tranzicije ne predstavlja samo izazov nego nosi i potencijal gospodarskog rasta.

Abstract

The paper presents reflections on main aspects of the energy transition which has started and is progressing towards production and consumption of energy without harmful emissions (primarily CO₂). It gives an overview of results of analyses how energy needs of Croatia will be met until 2050, while adhering to assumed obligations to reduce emissions, increase energy efficiency and maintain the security of supply. During the period considered it is expected to witness a decrease in immediate energy consumption, where the shares of energy products in total consumption change: while the use of liquid fuels declines, the share of electricity rises. Instead of households, transport becomes the most energy intensive sector, and the respective shares of services and industry in consumption are increasing. The import of energy and energy products is lower and supply from own sources is by 15% higher than today. By the end of the period considered electricity is mostly generated from renewable sources (over 85%), and the total

installed capacity of power generation plants is by 2.5 times higher than today. Significant changes in infrastructure and energy products are also noticeable in the transport sector. Commitment to reduce greenhouse gas emissions in Croatia by almost 75% when compared to 1990 levels by 2050 is a huge challenge which also implies robust technological development in the next three decades. It is considered that new power to gas and power to liquids technologies using electricity generated from renewable sources can also play an important role in the energy transition. The proposed manner of the transition does not only pose a challenge but also offers a potential for economic development.

1. Uvod

Iza nas, Hrvatske i EU, je razdoblje pred-tranzicije energetskog sektora, koje je poslužilo da se provjere određene politike, njihovi dometi i ograničenja. To je također i vrijeme razvoja novih tehnologija koje mogu imati značajnu ulogu u tranziciji (posebno sunce i vjetar).

Prije petnaestak godina tehnološki potencijal obnovljivih izvora, izuzev klasičnih hidroelektrana, je bio skroman i skup, i njegova implementacija nije bila moguća bez značajne financijske potpore. To je vrijeme kada je politička odlučnost bila veća nego sam tehnološki potencijal, pa je prevladala administrativni koncept obveznosti implementacije pojedinih tehnologija. Namjere su bile pozitivne, trebalo je pokrenuti korištenje obnovljivih izvora i onda kada je proizvodnja energije iz obnovljivog izvora bila gotovo jednaka utrošenoj energiji za proizvodnju.

Za poticanje korištenja obnovljivih izvora energije osmišljen je model *Feed in* tarifa, jednostavni i efikasni mehanizam poticanja izgradnje obnovljivih izvora. S izgradnjom obnovljivih izvora pokrenut je tehnološki razvoj i konkurencija proizvođača opreme. Da bi se sve to ostvarilo, potrebna je bila financijska potpora koja se realizirala prikupljanjem posebnih naknada od kupaca električne energije na svaki kupljeni kWh i nadoknađivanjem proizvođačima obnovljivih izvora razliku između ugovorene i tržišne cijene.

Sa stanovišta investitora, financijera i proizvođača opreme model *Feed in* tarifa je bio idealan, smanjio je rizik investiranja i omogućio investiranje i razvoj tehnologija.

Prednosti tog sustava poput sigurnosti ulaganja, financiranja i prodaje opreme ujedno predstavljaju i

slabu stranu tog modela. To je uzrokovalo tromost sustava i sporo prilagođavanje promjenama na tržištu što je dovelo do toga da EU ima najskuplju energiju iz obnovljivih izvora. Neke zemlje pokušale su učiniti sustav dinamičnim i postaviti tarife u korelaciju s tehnološkim razvojem, smanjujući tarife na godišnjoj, polugodišnjoj ili mjesečnoj razini. Hrvatska je imala tromi mehanizam, pa su obnovljivi u Hrvatskoj viši nego u razvijenim zemljama EU koje su imale dinamični sustav.

Neke zemlje su pribjegle jednostranom smanjenju ugovorenih tarifa, što je izazvalo veliki broj sporova između investitora i država. U arbitražama koje su pokrenute za projekte obnovljivih izvora, temeljem Europske energetske povelje, iskristalizirala su se dva stava:

- Investitori koji primaju potporu moraju biti svjesni da razina potpora ovisi o mogućnostima zemlje,
- Država koja daje potporu mora voditi računa da se jednostranim odlukama ne može dovesti u pitanje opravdanost investicije.

Analiza obnovljivih izvora u razdoblju 2007.-2017. pokazala je da su cijene bile visoke i da je sustav bio trom te se nije prilagođavao tehnološkom razvoju. Najveća izgradnja je ostvarena kod vjetroelektrana (637,80 MW), biomase (76,95 MW), zatim sunca (53,43 MW) i bioplina (43,73 MW).

Vrlo česti su prigovori da je Hrvatska 'zemlja sunca' te da je trebalo više forsirati korištenje energije sunčeva zračenja. U proteklom razdoblju cijena proizvodnje iz vjetroelektrana bila je oko 0,76 kn/kWh, a iz sunca 2,19 kn/kWh. Da bi se pokrili troškovi potpore svaki građanin plaća naknadu od 10,5 lp/kWh. Iz usporedbe ostvarenih cijena, a u slučaju da je izgrađeno jednako elektrana na sunce kao vjetroelektrana, svaki građanin bi trebao plaćati više od 20 lp/kWh.

Ključni problem pred-tranzicije je što su klimatska i energetska politika promatrane kao dvije odvojene politike bez jasnog ekonomskog integratora. Kako je cijela energetska tranzicija motivirana klimatskim ciljevima, nužan je ekonomski integrator koji povezuje dvije politike. Upravo se naknada za emisije CO₂ nameće kao logičan izbor, s obzirom da pravi ekonomsku razliku između pojedinih izvora energije, a njenom visinom se može odrediti dinamika procesa tranzicije.

U transformaciji energetskog sektora u sektor niskih, a u budućnosti i nultih emisija stakleničkih plinova, sudjelovat će svi sektori energetske potrošnje

i proizvodnje, kao i sustavi koji energiju i energente prenose i dopremaju kupcima. U svojoj transformaciji energetske sustavi moraju i dalje ispunjavati svoju osnovnu svrhu, a to je sigurna opskrba energijom i energentima svih kupaca, po prihvatljivim cijenama i uz minimalan utjecaj na okoliš. Glavne strateške odrednice promjena u energetske sektoru su:

- Osnažiti energetske tržište kao nosivu komponentu razvoja energetske sektora. Ključni ekonomski mehanizam za kontrolu brzine tranzicije predstavljaju cijene emisijskih jedinica.
- Potpuno integrirati energetske tržište u međunarodno tržište energije, tehnologija, istraživanja, usluga, proizvodnje.
- Ojačati sigurnost opskrbe energijom povezivanjem energetske infrastrukture.
- Povećati energetske učinkovitosti u svim dijelovima energetske lanca (proizvodnja, transport/prijenos, distribucija i potrošnja svih oblika energije).
- Kontinuirano povećavati udio električne energije u neposrednoj potrošnji energije (jer ona može zamijeniti fosilna goriva u mnogim primjenama).
- Kontinuirano povećavati proizvodnju električne energije sa smanjenom emisijom stakleničkih plinova – prvenstveno iz OIE.
- Razvoj temeljiti na komercijalno dostupnim tehnologijama, posebno iskorištavanju energije sunca i vjetra.
- Financijske potpore usmjeriti na razvoj biogospodarstva i održivog gospodarenja otpadom, na istraživanja, pilot i demonstracijske projekte.
- Osigurati fondove za smanjenje rizika za zahtjevne tehnologije i granično komercijalne tehnologije.

2. Tranzicija energetske sektora

Tranzicija energetske sektora u uvjetima kontinuiranog smanjenja emisija CO₂ je izazov bez povijesnog iskustva i zahvaća sve sudionike u tehnološkom lancu gospodarenja energijom, sve građane i gospodarske subjekte. Na kraju tog procesa proizvodnja i transformacija energije, transport i prijenos, distribucija i potrošnja energije ostvarivat će se novim tehnologijama i u novim ekonomskim odnosima. Ni jedan drugi gospodarski i društveni sektor neće doživjeti takovu tranziciju kao energetske sektor. Sve promjene će se događati u živom sustavu u kojem svi procesi neće ići u istom pravcu, pa je upravljanje procesima od posebne važnosti.

Tranzicija energetske sektora se temelji na:

- Povećanju energetske učinkovitosti,
- Razvoju tržišta energije,
- Povećanju korištenja obnovljivih izvora energije
- Povećanju kvalitete gospodarenja energijom
- Tehnološkom napretku,
- Kontinuiranom povećanju obrazovanja i informiranosti građana i gospodarstva o primjerima dobre prakse.

2.1. Energetske učinkovitost

Energetske učinkovitost je prva komponenta energetske tranzicije s ciljem smanjenja potrebe za energijom, kako bi se smanjila proizvodnja, pa prema tome i emisije CO₂. Ona obuhvaća cijeli lanac proizvodnje, transporta/prijenosa, distribucije, potrošnje energije, kao kontinuirani proces koji će se kombinirati različitim mjerama, od investicija, novih tehnologija, upravljanja i svih rješenja digitalizacije procesa gospodarenja energijom.

Potrošnja energije nije nepromjenjiva veličina, već dinamička veličina koja ovisi o kvaliteti života koja će se mijenjati, standardima, tehnološkom napretku i klimatskim značajkama koje utječu na potrošnju energije. Gotovo svaka grupa potrošnje imat će svoju liniju zakonitosti. Mjere koje su na raspolaganju određene su karakterom mjesta potrošnje ili trošila. Zgrade koje su izgrađene prije 1990. godine uglavnom će se morati energetske obnoviti, izolirati. Zgrade izgrađene nakon 1990. djelomično će se trebati obnoviti, a visoku energetske učinkovitost novih zgrada moguće je postići zakonskim standardima izgradnje.

Poboljšavanje izolacija zgrada utjecat će na smanjenje potrošnje energije, dok će kontinuirano povećanje standarda, povećanje površine stambenog prostora po stanovniku i povećanje grijanih površina, utjecati na povećanje potrošnje energije o čemu je potrebno voditi računa u projektiranju tranzicije.

Povećanje izolacije zgrada i izgradnja zgrada nulte potrošnje energije za grijanje, povećava prostor potrošnje energije za hlađenje i kondicioniranje zgrada.

Povećanje učinkovitosti je proces koji se događao, događa se i koji će se događati tehnološkim napretkom i zamjenom uređaja.

Za očekivati je da će se nastaviti dosadašnja praksa isključivanja s tržišta neučinkovitih tehnologija. To je efikasna mjera koja se može kvalitetno provesti.

Jedan od najvećih izazova je povećanje energetske učinkovitosti u prometu. Automobili su skupa sredstva, u prosjeku stara oko 14 godina sa visokom potrošnjom

goriva u odnosu na najnovije generacije. Nije vjerojatno da će se zamjena starih automobila s elektroautomobilima dogoditi u jednoj tranziciji, već je realnije očekivati da će se najprije smanjivati potrošnja derivata kroz zamjenu s novim automobilima s efikasnijim motorima sa unutarnjim sagorijevanjem, a nakon toga će doći do zamjene s elektroautomobilima ili korištenja drugih novih tehnologija.

2.2. Razvoj tržišta energije

Tržište energije je ključna infrastruktura na kojoj se trebaju zasnivati sve energetske i klimatske politike. U razdoblju pred-tranzicije tržište energije je bilo pod velikim pritiskom potpora kojima su se poticali obnovljivi izvori, a u isto vrijeme nije zaživjelo tržište emisija, pa nije bilo ekonomskog razlikovanja između tehnologija za proizvodnju električne energije iz plina ili ugljena. Obvezujuće preuzimanje energije iz obnovljivih izvora s jedne strane, i ne funkcioniranje sustava emisija dovelo je do smanjenja cijene električne energije ispod ekonomske razine, što je za posljedicu imalo zatvaranje mnogih termoelektrana na plin i povećanje proizvodnje u termoelektranama na ugljen, što nije bio cilj klimatske politike.

Iskustvo pred-tranzicije pokazalo je da se mjerama energetske i klimatske politike ne smije urušavati tržište energije, već se trebaju izbjegavati svi poticaji na cijenu, a sve energetske transakcije raditi putem energetskih burzi. Poticaje, ako su potrebni, treba usmjeriti na potpore investicijama i to npr. na segmente bioekonomije, kako bi se ostvarilo kružno gospodarenje resursima.

2.3. Obnovljivi izvori

Obnovljivi izvori u pred-tranzicijskom razdoblju ostvarili su intenzivan tehnološki razvoj u veličini jedinica, učinkovitosti i cijenama kod vjetra i učinkovitosti i cijenama kod sunca. Te dvije tehnologije, uz hidroelektrane, su temelj buduće energetike.

Najviše lutanja dogodilo se u bio-sektoru. Na samom početku pred-tranzicije, bio-sektor je bio rješenje za sve nedostajuće u budućem razvoju. Prva generacija biogoriva je potpuno promašena, kako u energetskom tako i u strateškom smislu. Energija za proizvodnju biogoriva prve generacije gotovo je bila jednaka količini energije potrebne za proizvodnju te energije. Osim toga, zbog visokih poticaja za iste poljoprivredne površine konkurirala je proizvodnji hrane te ju istovremeno demotivirala.

Koncept izgradnje termoelektrana na biomasu je također lutao, dok se nisu postavile visoke granice učinkovitosti i dugoročne održivosti biomase.

Bioplinske elektrane su u razvojnom konceptu započete kao samostalni energetske projekti, da bi se postavilo pitanje njihove dugoročne održivosti.

Prema najnovijim konceptima, proizvodnja energije predstavlja dodanu vrijednost ukupnom ciklusu bioekonomije, a energija se prvenstveno proizvodi za vlastite potrebe.

Geotermalna energija je posebni izvor koji traži znatna sredstva za istraživanje, što u startu destimulira investitore. Postoji potencijal, a iskorištenje potencijala ovisit će o mjerama politike.

2.4. Gospodarenje energijom

Gospodarenje energijom je širi pojam od energetske učinkovitosti i uključuje energetske učinkovitost, a odnosi se na upravljanje troškovima za energiju svakog sudionika u tehnološkom lancu od proizvodnje, transporta i prijenosa, distribucije i potrošnje energije, korištenjem digitalne tehnologije i svih mogućnosti koje će se pružati na tržištu energije uključujući i vlastitu proizvodnju. U segmentu gospodarenja očekuju se velike tehnološke promjene. Od razvoja infrastrukture koja će to omogućiti, do razvoja zakonodavnog i ekonomskog sustava koji će samo-generirati interes sudionika na tržištu da za sebe ostvare najpovoljnije rezultate.

Ključna infrastruktura za napraviti iskorak u gospodarenju energijom je uspostaviti napredno mjerenje i realizirati projekt naprednih mreža i pametne potrošnje energije. Za očekivati je da će se u Hrvatskoj do 2025. godine uspostaviti napredno mjerenje u svim energetskim mrežnim sustavima, da će se ugrađivati pametni elementi mreže na svim razinama prijenosne i distribucijske mreže, kao i da će se tehnološkim razvojem osigurati da sva trošila imaju pametnu komponentu koja će omogućiti upravljanje svakog trošila pojedinačno, ukupne potrošnje i proizvodnje prema interesu svakog kupca.

2.5. Tehnološki napredak

U pred-tranzicijskom razdoblju ostvaren je značajan tehnološki napredak, posebno kod korištenja obnovljivih izvora. Za predstojeći period, postoje velika očekivanja da će doći do povećanja učinkovitosti i smanjenja cijena.

S povećanjem korištenja obnovljivih izvora energije javljaju se dva osnovna problema: uravnoteženje

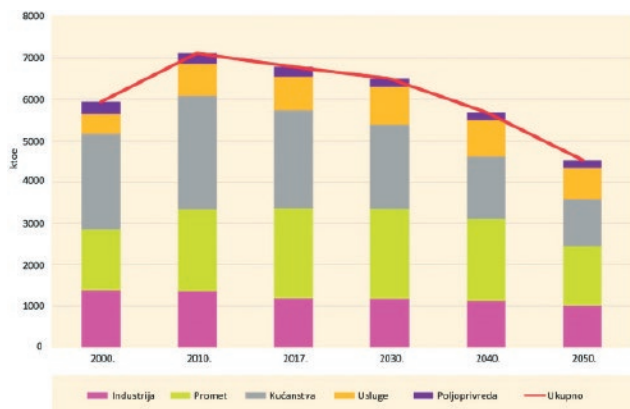


Slika 1. Neposredna potrošnja energije po oblicima energije

sustava i supstitucija proizvodnje kada iz obnovljivih izvora nema proizvodnje ili je minimalna. Oba problema imaju zajedničku poveznicu, a to je raspolaganje rezervnim kapacitetima koji će imati sposobnost uravnoteženja ili supstituiranja proizvodnje iz obnovljivih izvora. Dionici rješenja u budućnosti bit će:

- Elektroenergetske mreže susjednih država koje u datom vremenu imaju takve kapacitete rezervi,
- Vlastite hidroelektrane ili crpno-akumulacijske elektrane,
- Plinske termoelektrane,
- Skladišta energije,
- Plinske elektrane koje koriste sintetički metan,
- Plinske elektrane uz izdvajanje i skladištenje CO₂,
- Korištenje baterija u elektroautomobilima ili za kućnu i poslovnu upotrebu.

Tehnološki razvoj se očekuje u svim aspektima od digitalizaciji energetike do skladištenja energije. Posebno važan aspekt tehnološkog razvoja odnosi se na tehnologije koje mogu produžiti korištenje tehnologija koje koriste prirodni plin, bilo kroz proizvodnju



Slika 2. Neposredna potrošnja energije po kategorijama potrošnje

sintetičkog metana ili kroz korištenje prirodnog plina uz izdvajanje i skladištenje CO₂.

2.6. Obrazovanje i informiranost građana

Očekivane promjene u energetske sektoru, kao posljedica klimatsko-energetske politike, zahtijevaju promjene u sustavu obrazovanja. „Nova“ energetika će se u svim svojim aspektima značajno razlikovati od „današnje“ energetike, a da bi se u tome uspješno potrebno je mijenjati sustav obrazovanja.

Koncept nove energetike na određeni način briše čvrstu granicu između formalne energetike i kupaca, jer će se na razini kupaca događati proizvodnja energije. Osim toga, digitalizacija energetike omogućit će značajno veće mogućnosti upravljanja proizvodnjom i potrošnjom energije, veću participaciju građana/kupaca u izboru rješenja vlastite energetike. Sustav obrazovanja i informiranja kupaca o najboljoj praksi i mogućnostima treba podignuti na višu razinu.

3. Projekcije energetske potreba

Prema provedenoj analizi¹ neposredna potrošnja energije do 2030. godine smanjuje se za ukupno 4%, a zatim za 30% do 2050. godine, promatrano u odnosu na 2017. godinu.

Mijenja se struktura utrošenih oblika energije. Očekuje se porast udjela električne energije u ukupnim finalnim potrebama s 20,3 % u 2017. godini na 23,8 % u 2030. godini i na 47,0 % u 2050. godini. Neposredna potrošnja električne energije raste za 13% do 2030. godine i za ukupno 55% do 2050. godine, u odnosu na 2017. godinu.

Istovremeno se smanjuje udio tekućih fosilnih goriva s 42,1 % u 2017. godini na 38,4 % u 2030. i na 19,6 % u 2050. godini. Potrošnja prirodnog plina smanjuje se za 7% do 2030. godine i za 50% do 2050. godine. Ukupni udio fosilnih goriva opada sa sadašnjih 59,1 na 54,6 % u 2030. godini i na 32,0 % u 2050. godini.

Udio industrije u neposrednoj potrošnji raste sa 17,4 % u 2017. godini na 17,9 % u 2030. i na 22,5 % u 2050. godini. Očekuje se blago smanjenje udjela sektora prometa s 32,3 % u 2017. godini na 31,3 % u

1 Zelena i Bijela knjiga, EIHP, 2019.

2050. godini. Udio sektora kućanstava smanjivat će se s 35,1 % na 31,3 % u 2030. godini i na 25,5 % u 2050. godini. Udio sektora usluga će rasti s 11,8 na 14,1 % u 2030. godini i na 16,9 % u 2050. godini.

Također se očekuje povećanje vlastite opskrbljenosti energijom s oko 47,4% u 2017. na preko 56 % u 2030. godini, odnosno na 62 % u 2050. godini, unatoč smanjenju domaće proizvodnje pojedinih oblika energije (slika 6.).

4. Klimatska i energetska politika

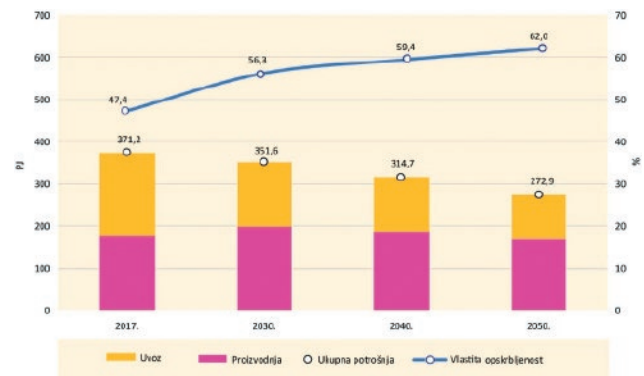
Osnovni kriteriji za kreiranje energetske politike proizlaze iz obveze smanjivanja emisija CO₂. Ciljevi energetskog razvoja postavljeni su prema smanjenju emisija u 2050. godini za oko 80% u odnosu na 1990. godinu. Međutim, to nije konačni cilj smanjenja emisija, jer se može očekivati u narednim mjesecima otvaranje rasprave u EU o smanjenju emisija za 100%, odnosno scenariji energetskog razvoja bez emisija.

U strukturi problema, odnosno razini problema, postoji velika razlika između smanjenja emisija za 80% u odnosu na 100%. Dok se u scenarijima smanjenja emisija CO₂ do 80% i dalje koriste fosilna goriva, plin u proizvodnji električne energije i topline i derivati nafte u prometu, u scenariju smanjenja emisija za 100% nema više direktnog izgaranja fosilnih goriva bez izdvajanja i skladištenja CO₂.

Kriterij za optimiranje scenarija razvoja energetskog sektora je minimum troškova za kupce energije uz zadovoljenje obveza smanjenja emisija CO₂. Najefikasniji mehanizam upravljanja procesom je ekonomska prisila smanjenja emisija izražena kroz naknadu za emisije CO₂. Visina naknada na emisije CO₂ je regulator brzine tranzicije, a ujedno i izvor financijskih sredstava za potpore onih segmenata energetske politike koji se ne bi ostvarivali bez potpore ili bi tranzicija trajala predugo, pa se ne bi ostvarili ciljevi politike očuvanja klime.

U segmentu energetske učinkovitosti, najviši potencijal smanjenja emisija CO₂ ima energetska obnova zgrada- To je mjera koja zahtijeva financijsku potporu, dok su tržišni mehanizmi, edukacija i promocija dobre prakse rješenje za ostale mjere povećanja energetske učinkovitosti.

Tehnologije koje koriste goriva iz bio-porijekla treba staviti u kontekst kružne bioekonomije, gdje je energetska korištenje na kraju lanca iskorištavanja sirovine. Moguća je potpora na investicijskoj strani projekata.



Slika 3. Projekcija vlastite opskrbljenosti energijom

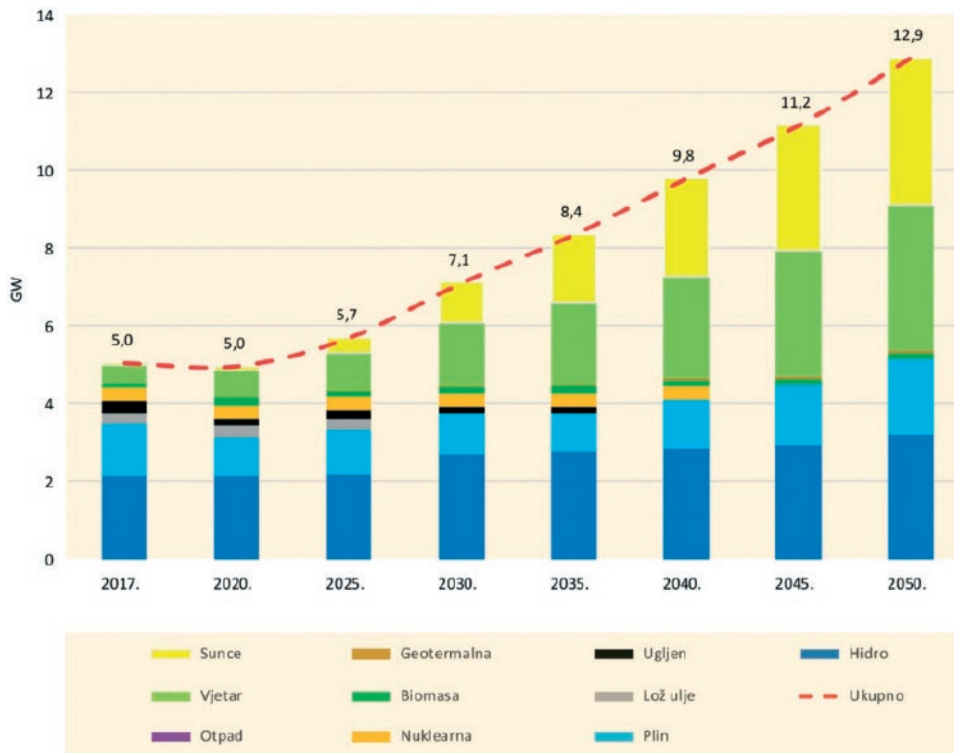
Korištenje otpada za proizvodnju energije ima opravdanja samo ako se uklapa u koncept održivog gospodarenja otpadom, te ako primjenjive tehnologije osiguravaju propisane uvjete zaštite okoliša. Toplinska obrada otpada je izvor prijepora stanovništva koje živi uz potencijalnu lokaciju. To je nužno uzeti u obzir kod određivanja koncepta održivog gospodarenja otpadom.

Hrvatska ima potencijal u geotermalnoj energiji, koji će se u budućnosti više koristiti nego u pred-tranziciji. Tehnologije geotermalne energije su specifične u odnosu na ostale tehnologije proizvodnje iz OIE jer zahtijevaju u startu velika sredstava za istraživanje te ih treba razmotriti u programima potpore.

4.1. Proizvodnja električne energije

Električna energija predstavlja temeljnu komponentu tranzicije energetskog sektora, a odrednica razvoja proizvodnih postrojenja za električnu energiju je dekarbonizacija. Cilj je povećati domaću proizvodnju uz istodobno povećanje udjela OIE-a i smanjenje udjela termoelektrana na fosilna goriva. Do kraja promatranog razdoblja cilj je da uvoz električne energije isključivo bude rezultat ekonomskog interesa i slobode tržišnog natjecanja.

Ukupna proizvodnja termoelektrana se smanjuje, kao i njihov udio u domaćoj proizvodnji. Lož ulje se više ne koristi za proizvodnju električne energije (postojeće TE na lož ulje koje imaju mogućnosti prelaze na plin). Također se ne očekuje izgradnja novih TE na ugljen. Plinske jedinice koriste se za osiguranje rezerve sustava. Rad NE Krško nakon 2043. godine ovisit će o odluci o produljenju dozvole i poslovnoj odluci suvlasnika. U prikazanim analizama konzervativno je pretpostavljen izlazak NE Krško iz pogona, koji ne prejudicira buduću odluku suvlasnika. Proizvodnja vjetroelektrana i sunčanih



Slika 4.
Očekivana snaga elektrana

elektrana se višestruko povećava, kao i njihov udio u ukupnoj proizvodnji energije.

Na temelju provedenih analiza i optimiranja zadovoljenja potreba za energijom, ukupna snaga elektrana povećava se za oko 2,5 puta do kraja promatranog razdoblja. Godišnje je potrebno prosječno izgraditi više od 250 MW novih elektrana. Osnovni razlog značajnom povećanju snage je promjena strukture, tj. izgradnja velikog broja elektrana na OIE s niskim faktorom opterećenja (Slika 2.). Snaga VE raste na oko 1 600 MW u 2030. te na oko 3 700 MW u 2050. godini. U prosjeku će se tijekom tridesetogodišnjeg razdoblja graditi 110 MW novih VE godišnje. Do 2030. godine predviđeno je priključenje oko 1 000 MW u FN projektima, tj. u prosjeku 100 MW godišnje. Od ukupno predviđene snage, oko 350 MW se odnosi na integrirane FN projekte (s naglaskom na jadranski dio), a preostala snaga podjednako na projekte na distribucijskoj i prijenosnoj mreži. Do 2050. godine ukupna snaga FN elektrana dostigla bi oko 3 800 MW.

Značajna penetracija intermitentnih OIE-a u elektroenergetskom sustavu zahtijevat će povećanje fleksibilnosti sustava proizvodnje i potrošnje. U tom je smislu nužno razviti tržišne mehanizme koji će omogućiti naknadu troškova uravnoteženja sustava i osiguranja ukupnih rezervi sustava i za razdoblja minimalne proizvodnje iz OIE-a. Svim raspoloživim opcijama proizvodnje i potrošnje treba omogućiti pristup tržištu pod jednakim uvjetima.

Razvoj alata za prognozu proizvodnje iz vjetroelektrana i sunčanih elektrana bitno pomaže integraciji ovih izvora u elektroenergetski sustav te smanjuje potrebu za regulacijom sustava. Zbog toga je nužno potaknuti razvoj i dogradnju prognostičkog sustava koji se koristi u Republici Hrvatskoj radi minimiziranja pogreške prognoze.

Povećana fleksibilnost elektroenergetskog sustava zahtijevat će i integraciju značajnih kapacitete spremnika energije, u smislu izgradnje reverzibilnih hidroelektrana i baterijskih sustava te uključenja novih tehnologija.

Također, integraciji OIE-a pomaže i odgovarajući dizajn tržišta električne energije u kojem se unutar-dnevno trgovanje sve više približava trgovanju u realnom vremenu.

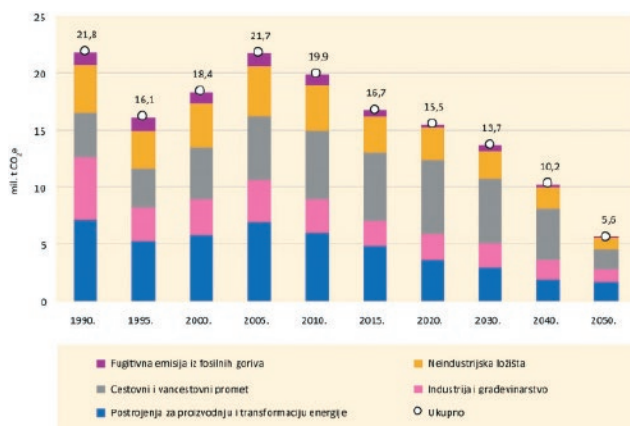
Uravnoteženje proizvodnje i potrošnje u realnom vremenu u sustavu sa značajnom penetracijom intermitentnih izvora predstavlja izazov za budući razvoj prijenosne i distribucijske mreže te upravljanje i vođenje elektroenergetskih sustava. Potrebno je predvidjeti financijska sredstva za revitalizaciju velikog broja objekata u prijenosnoj mreži zbog isteka životnog vijeka te za održavanje postignute razine sigurnosti opskrbe. Također je potrebno sudjelovati u svim aktivnostima regionalne suradnje operatora prijenosnih sustava radi korištenja zajedničkih rezervi i ispomoći, kako bi se smanjile potrebne rezerve koje pojedinačno treba osigurati svaki sustav.

Integracija distribuiranih izvora i krajnjih kupaca s vlastitom proizvodnjom (engl. *prosumer*) predstavlja značajan izazov razvoju distribucijskog sustava. Višestruko će se povećati broj aktivnih krajnjih kupaca, što zahtijeva izmjene regulatornog okvira i modela tržišta električne energije. Povećat će se investicije u razvoj distribucijske mreže, a osobito u uvođenje sustava naprednog mjerenja, modernizaciju i automatizaciju mreže te unaprjeđenje informacijsko-komunikacijskih sustava.

4.2. Sektor prometa

Politika dekarbonizacije energetskeg sektora uvjetuje značajne promjene u sektoru prometa i to prvenstveno za korištene energente, a kao posljedica i za korištene tehnologije. Osim intenzivne elektrifikacije voznog parka, osnovne odrednice promjena u sektoru prometa su: razvoj infrastrukture za uporabu UPP-a u prometu uzimajući u obzir njegovo značajno povećanje u teškom teretnom prometu, pomorskom prometu i željezničkom prometu, povećanje uporabe naprednih biogoriva, povećanje udjela teretnog prometa ostvarenog željezničkim prijevozom, povećanje udjela SPP/SBM te vodika.

Nastavak trenda povećanja instaliranih kapaciteta i proizvodnje električne energije iz OIE-a doprinijet će ostvarenju sveobuhvatnog cilja elektromobilnosti, omogućujući tako mobilnost bez emisije CO₂ od izvora do potrošnje (engl. *well-to-wheel*). Međutim, isto tako postat će sve izraženiji izazovi postizanja ravnoteže proizvodnje i potražnje za električnom energijom. Električna vozila u tom kontekstu u određenoj mjeri mogu predstavljati distribuirani spremnik energije za intermitentne izvore energije, a zatim i potencijal za pružanje usluge fleksibilnosti. Za funkcioniranje takvog sustava potrebno je ispunjavanje preduvjeta koji se mogu podijeliti na tehničke, pravno-regulatorne te ekonomske.



Slika 5. Projekcija emisija stakleničkih plinova

U tehničkom pogledu, osnovni preduvjet za pružanje fleksibilnosti je postojanje infrastrukture, vozila i ostalih dijelova sustava koji podržavaju dvosmjerni protok električne energije te razmjenu podataka, pri čemu su svi elementi objedinjeni u koncept napredne mreže (*smart grid*).

Promjene koje se očekuju u sektoru prometa predstavljat će velike izazove i u naftnom sektoru koji će biti suočen sa značajnim smanjenjem potražnje za naftnim derivatima, a samim time i smanjenjem transporta i skladištenja derivata.

4.3. Emisija stakleničkih plinova i budućnost fosilnih goriva

EU ima aktivnu ulogu u pronalaženju rješenja za klimatske promjene i preuzela je obvezu snažnog smanjenja antropogenih emisija stakleničkih plinova. U okviru Pariškog sporazuma ciljano smanjenje emisije stakleničkih plinova u EU je najmanje 40% do 2030., u odnosu na 1990. godinu.

Ovaj zajednički EU cilj raspodijeljen je u dvije cjeline: prva obuhvaća velike izvore emisije stakleničkih plinova koji su obveznici europskog sustava trgovanja emisijskim jedinicama (ETS sektor), a druga sektore izvan ETS-a (ne-ETS sektori). EU cilj za ETS sektor je smanjenje emisije od najmanje 43% do 2030. godine u usporedbi s 2005. godinom. Za ne-ETS sektore u EU je postavljen cilj do 2030. godinu od najmanje 30% smanjenja emisija u odnosu na 2005. godinu, s obvezama u rasponu od -40% do 0% za različite zemlje članice EU-a (-7% za Republiku Hrvatsku).

Do 2050. godine potrebna su znatno veća smanjenja emisija pa EU sukladno preporukama Međunarodnog panela za klimatske promjene planira smanjiti emisije stakleničkih plinova za najmanje 80-95%². Prema Europskoj dugoročnoj strateškoj viziji – Čist planet za sve – za uspješno, suvremeno, konkurentno i klimatski neutralno gospodarstvo³, za očekivati je da će se do 2050. godine na razini EU-a postaviti i ambiciozniji ciljevi od neto nulte emisije stakleničkih plinova (engl. *net-zero greenhouse gas emissions*). Kako bi se ostvarilo

2 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Com(2011) 112 final, A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Europska komisija, 8. ožujka 2011.

3 In-depth Analysis in Support of the Commission Communication Com(2018) 773, A Clean Planet for All, A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, Europska komisija, 28. studeni 2018.

indikativni cilj do 2050. godine potrebno je pojačati aktivnosti na smanjenju emisija.

U namjeri da se u Republici Hrvatskoj do 2030. godine postigne smanjenje emisije stakleničkih plinova u skladu s definiranim obvezama, odnosno do 2050. s očekivanim obvezama, razvijen je scenarij ubrzane energetske tranzicije (slika 5.).

Pretpostavljen je porast cijena emisijskih jedinica stakleničkih plinova do 34,3 EUR₂₀₁₅/t CO₂e u 2030. i 92,1 EUR₂₀₁₅/t CO₂e u 2050. godini te snažne mjere povećanja energetske učinkovitosti i korištenja OIE-a. To bi trebalo dovesti do očekivanog smanjenja emisije za 37,5 % do 2030. i 74,4 % do 2050. godine, u odnosu na razinu emisija iz 1990. godine. Odlučujući utjecaj na destimuliranje uporabe fosilnih goriva u odnosu na OIE, a posljedično i na smanjenje emisije, ima cijena emisijskih jedinica stakleničkih plinova. Cijenu emisijskih jedinica stakleničkih plinova definira ETS tržište, a njezina razina će u konačnici utjecati na dinamiku provedbe mjera i realizaciju predviđenih ciljeva.

U analizi mogućnosti ispunjavanja preuzetih obveza za ETS i ne-ETS sektore razmatran je dio emisija stakleničkih plinova vezan za energetiku, odnosno izgaranje goriva u nepokretnim i pokretnim energetske izvorima te za fugalne emisije iz goriva. Republika Hrvatska bi vrlo vjerojatno ispunila preuzetu obvezu smanjenja emisije stakleničkih plinova iz ne-ETS sektora za 2030. i očekivanu obvezu za 2050. godinu. Treba napomenuti da ne-ETS sektori pokrivaju i značajan dio emisija iz neenergetskih izvora pa se ne može sa sigurnošću tvrditi da bi obveze bile ispunjene. Smanjenje energetske emisije iz ne-ETS sektora bi iznosilo 32 % do 2030. godine, odnosno 76 % do 2050. godine, u odnosu na emisiju iz 2005. godine. S druge strane, smanjenje energetske emisije u ETS sektoru iznosilo bi 2030. godine 48%, a u 2050. godine 71 %, u odnosu na emisiju iz 2005. godine (tablica 1.).

Tablica 1: Smanjenje energetske emisije za ETS i ne-ETS sektore

Emisije u odnosu na 2005. godinu (%)	2016.	2030.	2050.
ETS sektor	-21,7	-47,6	-70,8
Sektori izvan ETS-a	-21,2	-31,9	-76,4
Ukupno	-21,4	-37,9	-74,3

Energetska tranzicija dovest će do značajnog smanjenja specifičnih emisija stakleničkih plinova po stanovniku, tako da bi se emisije iz energetske izvora s 4,6 t CO₂e/st. u 1990. godini smanjile na 3,6 t CO₂e/st. do 2030. godine, odnosno na 1,7 t CO₂e/st.

do 2050. godine. Smanjenje emisija po stanovniku bilo bi nešto blaže (oko 63% do 2050. u odnosu na 1990.) od smanjenja ukupnih emisija stakleničkih plinova iz energetske izvora, zbog očekivanog smanjenja broja stanovnika u Republici Hrvatskoj.

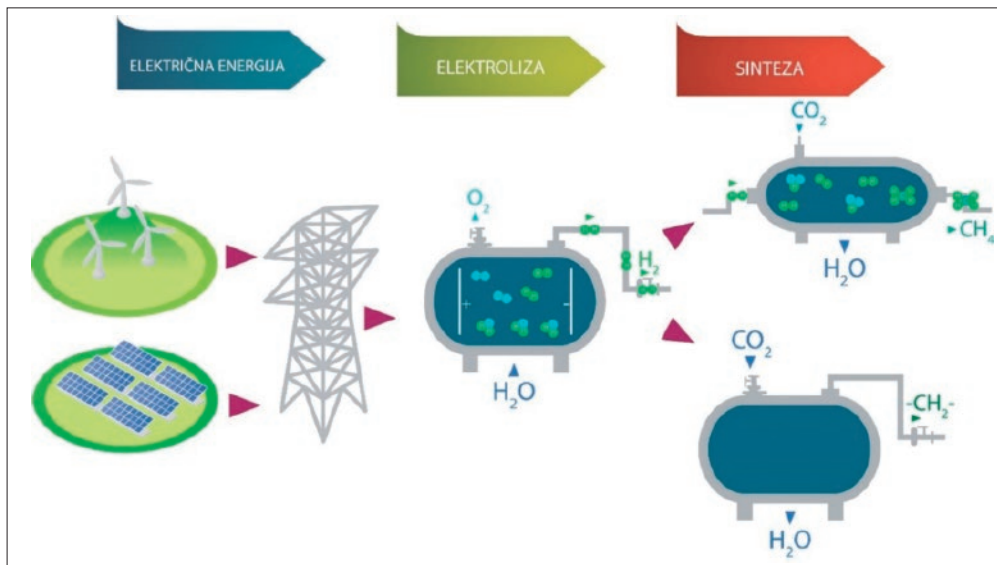
Okruženje u kojem posluje i razvija se energetski sektor usmjerava buduće aktivnosti prema postupnoj i potpunoj dekarbonizaciji cjelokupnog lanca proizvodnje i potrošnje energije. Razvoj energetske sektora u takvim uvjetima određen je raspoloživošću i tehnološkom konkurentnošću tehnologija za čistu proizvodnju sa smanjenom emisijom stakleničkih plinova, povećanjem energetske učinkovitosti i tranzicijom prema novim tehnologijama bez emisija stakleničkih plinova.

U nadolazećem će se razdoblju potrošnja naftnih derivata kontinuirano smanjivati zbog politike dekarbonizacije energetske sektora i povećanja korištenja alternativnih goriva poput UPP-a, biogoriva, vodika, električne energije te povećanja energetske učinkovitosti. Još brže će se smanjivati opskrbljenost domaćom proizvodnjom nafte pa je gospodarski i energetski opravdano potaknuti dodatna ulaganja u postojeće proizvodne kapacitete i u nova istraživanja te ubrzati modernizaciju rafinerijskog sektora radi povećanja konkurentnosti na domaćem i stranim tržištima.

Strateške smjernice razvoja naftovodno-skladišne infrastrukture, odnosno djelatnosti transporta nafte naftovodima i skladištenja nafte i naftnih derivata su:

- bolje iskorištavanje geostrateškog, tranzitnog i pomorskog položaja Republike Hrvatske, uz dogradnju naftovodno-skladišne infrastrukture, pružanje sigurnih i pouzdanih usluga te uspješno poslovanje,
- povećanje transporta nafte u uvjetima daljnje diversifikacije pravaca i izvora opskrbe rafinerija država jugoistočne i srednje Europe,
- daljnje poboljšavanje funkcionalnosti i korištenja kapaciteta naftovodno-skladišnog sustava te otvaranje novih poslovnih mogućnosti uz zaštitu i sigurnost okoliša, ljudi i opreme.

Republika Hrvatska trenutno bilježi trend smanjenja domaće proizvodnje prirodnog plina. Prema projekcijama buduće proizvodnje, uz pretpostavku otkrića novih eksploatacijskih polja, do 2050. godine moglo bi se pridobiti dodatnih 24,6 milijardi m³ plina, od toga iz Jadrana 12,5; a s kopna 12,1 milijardi m³ plina. U cilju zaustavljanja trendova smanjenja proizvodnje prirodnog plina potrebno je potaknuti dodatna ulaganja u postojeće proizvodne kapacitete te u što kraćem roku pokrenuti nova istraživanja.



Slika 6. Shematski prikaz PtG i PtL tehnologija

Strateške smjernice izgradnje energetske infrastrukture za plin uključuju:

- plinovode za transport prirodnog plina i bioplina koji su dio mreže koja uglavnom sadrži visokotlačne plinovode, isključujući one koji se koriste za potrebe proizvodnje ili lokalne distribucije prirodnog plina;
- podzemna skladišta plina;
- objekte za prihvat, skladištenje i uplinjavanje ili dekompresiju UPP i SPP/SBM;
- svu opremu važnu za zaštićen, siguran i učinkovit rad sustava ili omogućavanje dvosmjernog kapaciteta, uključujući kompresorske stanice.

Razvoj sustava za skladištenje plina obuhvaća dogradnju postojećeg podzemnog skladišta plina, izgradnju i puštanje u rad novog (vršnog) podzemnog skladišta plina te potencijalnu izgradnju novog sezonskog skladišta plina sukladno mogućnostima i potrebama.

Strateški je imperativ povećati diversifikaciju opskrbe plinom razvojem projekata za dobavu UPP-a i plina iz Kaspijske regije ili istočnog Mediterana. Isto tako potrebno je razviti sve projekte koji mogu povećati transport plina preko hrvatskog transportnog plinskog sustava i njegovu učinkovitost. Strateški projekti kojima se povećava diversifikacija dobavnih pravaca i učinkovitost transportnog sustava te se ujedno osigurava sigurnost opskrbe plinom sukladno kriteriju N-1 su terminal za UPP u općini Omišalj na otoku Krku, plinovodni sustav za evakuaciju plina iz terminala za UPP, Jadransko-jonski plinovod, sustav plinovoda Lučko-Sotla, Slobodnica-Sotin i Bosiljevo-Lučko.

Usprkos povećanju udjela OIE-a u sektoru proizvodnje energije, emisije iz energetskega sektora i dalje

će predstavljati značajan izvor emisija CO₂ te će za njega, kao i za pojedine industrijske grane, tehnologije izdvajanja i geološkog skladištenja CO₂ (CCS) postati jedan od najboljih mogućih izbora. Iako su za uspostavu i korištenje ovih tehnologija potrebna visoka ulaganja što utječe na povećanje proizvodnih troškova, ove tehnologije postaju isplative s projiciranim povećanjem cijena emisijskih jedinica stakleničkih plinova na tržištu EU-a (ETS).

Dugoročno promatrano, važnu ulogu u ostvarenju energetske tranzicije imat će nove tehnologije proizvodnje vodika, metana i tekućih goriva iz električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora. To su *power to liquids* (PtL) tehnologija za proizvodnju tekućih goriva poput npr. mlaznog ili dizelskog goriva, odnosno *power to gas* (P2G) tehnologija za proizvodnju vodika i metana, korištenjem električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora. Plinovita i tekuća goriva proizvedena spomenutim tehnologijama bit će neizostavni oblici energije u onim područjima gdje je direktno korištenje električne energije ograničeno, poput avionskog, pomorskog i cestovnog teretnog prometa te u određenim industrijskim procesima. Trenutno se ove tehnologije primjenjuju na razini pilot i demonstracijskih projekata, a može se očekivati da će u budućnosti imati važnu ulogu, prije svega u segmentu uporabe plina.

5. Zaključna razmatranja

Tranzicija energetskega sektora do 2050. godine je proces bez povijesnog iskustva koji zahvaća sve sudionike u tehnološkom lancu gospodarenja energijom, sve građane i gospodarske subjekte. Tranzicija obuhvaća niz procesa koji su pojedinačno suprotstavljeni, ali

uklopljeni u jedinstvenu klimatsko-energetsku politiku omogućavaju realizaciju postavljenih ciljeva. Tranzicija je dinamičan proces koji uključuje rast standarda i kvalitete života, što znači i veće potrebe za energijom, ali i korištenje novih i učinkovitih tehnologija. **U narednih 30 godina trebalo bi izgraditi više postrojenja za proizvodnju električne energije nego u prethodnih 100 godina.**

Dosadašnje predtranzicijsko razdoblje omogućilo je razvoj tehnologija iskorištavanja vjetra i sunca koje su postale komercijalno isplative, razotkrilo je probleme biosektora te probleme i ograničenja administrativnog upravljanja energetskim sektorom.

Nosiva komponenta budućeg razvoja bit će otvoreno tržište energije, bez administrativnih prepreka i obveza, a važna pretpostavka tranzicije je uključenost Hrvatske u međunarodno tržište ne samo energije, nego i razvoja, istraživanja i financija. Opredjeljenje da se emisije **stakleničkih plinova smanje do 2050. za oko 75 %, u odnosu na 1990. godinu** je veliki izazov, ali i ostvariv cilj. Energetski sektor bez emisija, odnosno stopostotno smanjenje emisija, sljedeća je zadaća u sklopu aktivnosti koje će se provoditi u EU, a za što je potrebno napraviti temeljito istraživanje mogućnosti, ograničenja, vremena implementacije, troškova i utjecaja na cijene.

Strategija se temelji na očekivanjima **tehnološkog razvoja**, jer njegova sadašnja razina ne omogućuje postizanje ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova za oko 75%. Još su veća očekivanja za ciljeve proizvodnje i potrošnje energije bez emisija, jer je za to potrebno u cijelosti zamijeniti fosilna goriva, što sadašnjim tehnologijama nije moguće. Na putu prema energiji bez emisija, vodik treba uzeti u obzir kao moguće gorivo budućnosti. Pri tome i CCS tehnologija može imati značajnu ulogu u tranziciji. Usprkos dosadašnjim, ne sasvim zadovoljavajućim rezultatima u istraživanjima korištenja CCS tehnologije, realno je očekivati da će povećanje cijena emisijskih jedinica ohrabriti novu etapu istraživanja i rezultirati sigurno i komercijalno zadovoljavajućim rezultatima, otvarajući dalje prostor dugoročnom razvoju održive globalne energetike na bazi vodika.

Temeljna komponenta tranzicije energetskog sektora je povećanje **energetske učinkovitosti**, koja će

se rješavati putem zakonodavstva, definirajući standarde i norme izgradnje infrastrukturnih sustava i energetskih objekata te uporabe uređaja, usmjerenje prema učinkovitim tehnološkim rješenjima, a i isključivanjem uređaja koji ne zadovoljavaju minimalne standarde s tržišta. Najveći izazov je energetska obnova zgrada koja će zahtijevati sredstva potpore i angažiranje velikog građevinskog potencijala.

Druga komponenta su **obnovljivi izvori** koji će potaknuti tranziciju od fosilnih goriva prema električnoj energiji. Važna sastavnica tog procesa je upotreba komercijalno isplative tehnologije te njezino korištenje u okviru otvorenog tržišta, bez financijskih intervencija i obveza.

Mogućnost korištenja energije iz biosektora također predstavlja doprinos ostvarenju niskouglične strategije, ali se smatra da je proizvodnja energije unutar biogospodarstva potpora uspješnosti biogospodarstva, a ne autonomna energetska i poslovna aktivnost. Slično vrijedi i za energetske oporabu otpada, gdje se mogućnost proizvodnje energije iz otpada koristi unutar koncepta održivog gospodarenja otpadom.

Tranzicija energetskog sektora je veliki izazov za istraživanje, razvoj novih industrija i poduzetništva i digitalizaciju energetike te ima pozitivan utjecaj na socijalnu politiku i društvo u cjelini. Tranzicija uključuje razvoj energetske infrastrukture, snažnije povezivanje mrežne infrastrukture sa svim susjedima, regionalnu suradnju i razvoj tržišta.

Tranzicija energetskog sektora je ekonomski održiva i u konačnici neće izazvati veće troškove u strukturi troškova kućanstava. S tranzicijom se mijenja karakter troškova, povećavaju se investicijski troškovi, a smanjuju operativni troškovi i troškovi za energiju. Korist će osjetiti ona kućanstva koja prije provedu energetske obnovu zgrada. Predložena tranzicija ne zahtijeva sredstva iz proračuna, a ima veliki potencijal za gospodarski razvoj i povećanje prihoda proračuna.

Tranzicija energetskog sektora zahtijevat će usklađivanje poreznog sustava s politikom naknada za emisije CO₂, kako bi se postignula jednaka opterećenost svih korisnika fosilnih goriva i ublažile posljedice povećanja cijena za sve kupce energije.