

Status energetske tranzicije

- načela za sigurnost i konkurentnost

Prof. dr sc. Alfredo Višković



TEHNIČKI FAKULTET
Sveučilište u Rijeci



&

Center of Excellence
for Agility System
and Technology Convergence

Sadržaj:

<u>Aktualnosti u EU / Novo razmišljanje</u>	<u>1</u>
<u>Griješimo li u definiciji problema?</u>	<u>3</u>
<u>Energetska sigurnost / modeliranje / ključne poruke</u>	<u>5</u>
<u>Dekarbonizacija / Plan za tehnologije nulte emisije</u>	<u>8</u>
<u>Konkurentnost / Cjenovne regije / Interkonekcijski tokovi / OIE u regiji</u>	<u>13</u>
<u>Limiti uslijed kompleksnosti velikih elektroenergetskih sustava / Izazovi</u>	<u>16</u>
<u>Što ove karakteristike kompleksnosti znače za energetske sustave?</u>	<u>18</u>
<u>Načela za osiguravanje sigurnosti i konkurentnosti tijekom energetske tranzicije / za raspravu</u>	<u>20</u>

Aktualnosti u EU / Novo razmišljanje

Nema sigurnosti bez energetske sigurnosti



Ključne prijetnje energetske sigurnosti

- Geopolitički poremećaji
- Povećanje fizičkih i kibernetičkih napada
- Prekid lanaca opskrbe gorivom i tehnologijom
- Nestabilne cijene i rastuće energetske siromaštvo
- Rastući klimatski troškovi
- Nedostatak fleksibilnosti sustava

Staro razmišljanje:

Uvoz u Europu



**Rijetki zemni
elementi (REEs)**

Izvor: Europska
komisija



**Sirova nafta i
naftni derivati**

Izvor: Europska
komisija



Plin iz Rusije

Izvor: Europska
komisija



LNG iz SAD-a

Izvor: Europski
LNG

Novo razmišljanje: Investicije u Europu

Energetska učinkovitost na prvom mjestu uz kružno gospodarstvo

Prijelaz s fosilnih goriva

Elektrifikacija i digitalizacija - apsolutni prioritet

Poboljšanje kibernetičke i fizičke sigurnosti

Poticanje fleksibilnosti i integracije tržišta

Proizvodnja goriva i tehnologija u Europi

Davanje prioriteta decentraliziranim sustavima

Oснаživanje zajednica pravednom tranzicijom

Diverzifikacija dobavljača

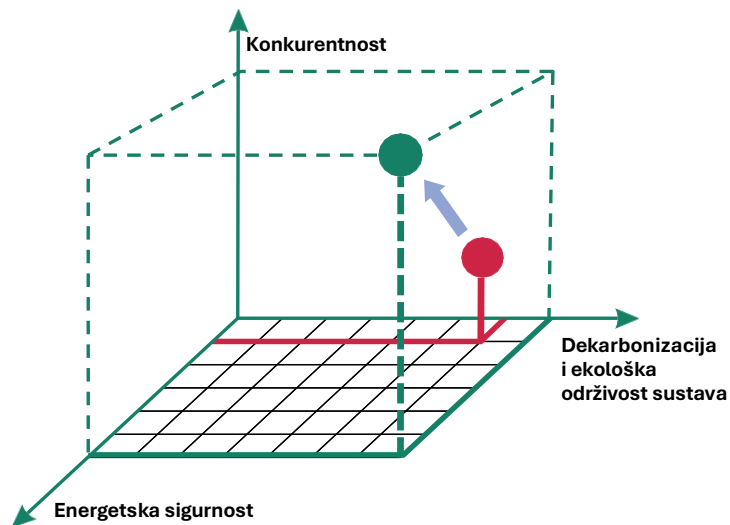


Otporniji sustavi
Više stvaranja vrijednosti
u Europi
Bolja trgovinska bilanca
Manje klimatskih i
zdravstvenih troškova
Manje energetske
siromaštva

**Ulaganja u održive izvore energije su ulaganja
u energetske sigurnost Europe!**

Griješimo li u definiciji problema?

Kontinuirano traženje smjera prema optimalnoj točki unutar kompleksnog sustava.
U fokusu: elektroenergetski kompleksni energijski sustavi - mrežni multisektorijalni sustavi



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Ovaj pogled usredotočuje se na sljedeće ciljeve održivog razvoja Ujedinjenih naroda: **cilj 7** (pristupačna i čista energija) i **cilj 13** (klimatske akcije); također obrađuje aspekte **ciljeva 1** (nema siromaštva), **4** (kvalitetno obrazovanje), **9** (industrija, inovacije i infrastruktura), **11** (održivi gradovi i zajednice), **12** (odgovorna potrošnja i proizvodnja), **16** (mir, pravda i jake institucije) i **17** (partnerstva za ciljeve).

Energetska sigurnost / modeliranje / ključne poruke

Ključne poruke o modeliranju energetske sigurnosti (EASAC)

Izazovi korištenja modela energetske sustava za kvantificiranje troškova, rizika i koristi energetske sigurnosti prijelaza na održivu opskrbu energijom:

- Ne postoji univerzalno optimalan mix za opskrbu električnom energijom. Zemlje pripremaju i provode nacionalne planove za svoj prijelaz na održivu opskrbu energijom, ali svaka od njih mora krenuti naprijed prilagođavanjem i izgradnjom svojih postojećih sustava koji se značajno razlikuju. Neke zemlje smatraju da je najekonomičniji i najsigurniji pristup za njih produljenje vijeka trajanja njihovih postojećih nuklearnih reaktora, eventualno izgradnja novih i izgradnja obnovljivih izvora energije. Za druge zemlje, mogućnost korištenja njihovih domaćih fosilnih goriva zajedno s CCS-om je njihova preferirana opcija, ali većina zemalja također planira povećati korištenje obnovljivih izvora energije.
- Još uvijek postoje neizvjesnosti u vezi sa sigurnošću i troškovima prijelaza na održivu opskrbu energijom. Mreže s visokim razinama varijabilnih obnovljivih izvora energije (VOIE) ili nuklearne proizvodnje zahtijevat će primjenu mjera fleksibilnosti, uključujući interkonekcije, skladištenje i fleksibilnu proizvodnju za uravnoteženje ponude i potražnje, a troškovi toga će se značajno razlikovati između država članica.

- Za procjene adekvatnosti i fleksibilnosti EU potrebno je holističko modeliranje energetskih sustava. Modeliranje elektroenergetskih sustava u izolaciji može dati potencijalno obmanjujuće rezultate i potaknuti prekomjerna ulaganja. Spajanje sektora može smanjiti ukupne troškove sustava, potrebe za skladištenjem električne energije i ovisnost o međusobnim vezama.
- Postoje mnoge nesigurnosti pri modeliranju integriranih sustava koji imaju spajanje sektora, odgovor na potražnju, skladištenje i rezervnu proizvodnju. Suradnja je korisna, ali rezultati snažno ovise o tehnološkim pretpostavkama i metodama koje se koriste.
- Za upravljanje elektroenergetskim sustavima i tržištima s visokim postotkom obnovljivih izvora energije potrebna je kombinacija mjera fleksibilnosti. To je zato što nisu sve mjere fleksibilnosti učinkovite za sve vremenske skale (satne, dnevne, tjedne i sezonske). Dostupne mjere fleksibilnosti uključuju skladištenje, međusobne veze i koordinaciju sustava korištenjem značajki pametne mreže i pametnih brojala, zajedno s odgovorom na potražnju i rezervnom proizvodnjom.

- Snažne prekogranične međusobne veze pružaju fleksibilnost energetske sustavima, ali njihovom upotrebom mora se pravedno upravljati. One mogu pomoći u maksimiziranju iskorištavanja obnovljivih izvora energije, koji su neravnomjerno raspoređeni diljem Europe, olakšavajući primjenu tehnologija tamo gdje najbolje funkcioniraju. Međutim, mogu uzrokovati porast cijena električne energije u zemlji koja opskrbljuje jeftinom električnom energijom svog susjeda. Stoga je potrebno upravljati međusobnim vezama uz blisku suradnju i jasne sporazume o tome kako će se potencijalne ovisnosti jedne zemlje o drugoj za rezervnu opskrbu pravedno nagraditi kako bi potrošači s obje strane nacionalnih granica imali koristi.
- Bit će potrebni rezervni raspoređivani proizvodni kapaciteti. Kako se fosilna goriva postupno ukidaju, postojeće plinske turbine mogle bi se prilagoditi i/ili postaviti nove turbine za korištenje s održivim gorivima kako bi se osigurala rezervna proizvodnja kada nema dovoljno obnovljivih izvora energije ili u slučaju drugih kriza. Tržišni poticaji (npr. mehanizmi kapaciteta) ili vladine intervencije mogu biti potrebni kako bi se osigurala odgovarajuća ulaganja u rezervnu proizvodnju u nekim državama članicama.

Dekarbonizacija / Plan za tehnologije nulte emisije

Tehnologije koje čine osnovu Plana za tehnologije nulte emisije ugljika PROIZVODNJA ENERGIJE S NULTIM UGLJIKOM

Izvor: obrada The European House - Ambrosetti, 2022.

FOSILNA GORIVA & CCUS / CDR

● Izgaranje fosilnih goriva s CCUS & CDR

Tehnologije CCS zahtijevaju infrastrukturu za CO₂ kako bi učinkovito:

1. Dekarbonizirale izgaranje fosilnih goriva putem hvatanja i skladištenja ugljika (CCS)

2. Kompenzirale emisije putem tehnologija za uklanjanje ugljičnog dioksida (CDR) koje apsorbiraju CO₂ iz atmosfere

ELEKTRIČNE I TERMIČKE OBNOVLJIVE ENERGIJE

Električne obnovljive energije

- Fotonaponske
- Vjetar
- Koncentrirana solarna energija
- Geotermalna
- Hidroenergija
- Morska energija

Termičke obnovljive energije

- Solarne
- Geotermalne
- Oceani

NUKLEARNE ENERGIJE

Fisija

- IV generacija reaktora

Fuzija

- Magneto-inercijalna fuzija
- Hibridno elektrostatsko zadržavanje
- Inercijalno zadržavanje
- Netermalna laserska fuzija

Razina tehnološke spremnosti:

- Niska: 1-4
- Srednja: 5-7
- Visoka: 8-9

INFRASTRUKTURA ZA CO ₂	IZVOR CO ₂	Hvatanje	Transport	Skladištenje
Hvatanje i skladištenje ugljika (CCS) koristi se za dekarbonizaciju teško smanjivih procesa smanjenjem emisija iz izgaranja fosilnih goriva ili industrijskih procesa.	CO ₂ uhvaćen izravno iz izvora emisije umjetnim tehnikama	- Fizička apsorpcija - Kemijska apsorpcija - Adsorpcija u fluidiziranoj čvrstoj tvari - Polimerna membrana - Statička adsorpcija čvrstih tvari - Izgaranje čistog kisika - Superkritični CO₂ ciklusi	<i>Ovisno o udaljenosti i distribuciji</i>	<i>Ovisno o udaljenosti i distribuciji</i>
Uklanjanje ugljika Uhvaćeni CO ₂ može se koristiti:	CO ₂ uhvaćen iz proizvodnje bioenergija umjetnim tehnikama	Bioenergije s CCS-om (BECCS)	- Brod - Cjevovod - Kamion	- Geološka mjesta za ubrizgavanje i upravljanje CO₂ - Simulacija geološkog skladištenja - Praćenje geološkog skladištenja
- Za kompenzaciju emisija koje se ne mogu smanjiti u slučaju dugoročnog skladištenja - Za proizvodnju dekarboniziranih energetske nosača u slučaju kratkoročnog skladištenja	CO ₂ uhvaćen iz zraka umjetnim tehnikama	Izravno hvatanje CO₂ iz zraka (DACCS)	<i>Nije potrebno</i>	Drveće, biomasa
	Atmosferski CO ₂ uhvaćen prirodnim putem pomoću biomasa i silikatnih stijena	- Pošumljavanje i ponovno pošumljavanje - Biougljen	Kamion	Obradiva polja

Postojeća znanja o upravljanju rezervoarima koriste se za geomehaničko, hidrauličko i kemijsko modeliranje podzemnih rezervoara, s ciljem osiguravanja sigurnosti i stabilnosti skladištenja CO₂.



PROIZVODNJA I UPOTREBA ENERGETSKIH VEKTORA S NULTIM UGLJIKOM

Generiranje vektora

Električna energija koja dolazi iz primarnog izvora energije s nultim ugljikom (vidi posebni odjeljak)

Skladištenje

Baterija

- Redox tok
- Litij-ionska
- Krute baterije

Mehaničko

- Zamašnjak
- Pumpna hidroakumulacija
- Skladištenje energije komprimiranim zrakom
- Skladištenje energije tekućim zrakom

Toplinsko

- Latentna toplina
- Osjetna toplina

Kemijsko

- Pretvorba energije u plin
- Vodik

Električno

- Kondenzator
- Supravodljivi magneti

Prijenos, distribucija i otprema:

Otprema

- Virtualna elektrana
- Odgovor na potražnju
- Upravljanje potražnjom
- Vozilo na mrežu

Prijenos

- Ultra-visoki napon
- Fleksibilna mreža visokog napona
- Supravodljivi visoki napon
- Fleksibilni sustav prijenosa izmjenične struje
- Dinamička ocjena linije

Distribucija

- Punjenje
- Transaktivna energija

Potrošnja

Transport

- Plug-in hibrid
- Električno vozilo s gorivim ćelijama
- Električno vozilo na baterije

Zgrade

- Električne toplinske pumpe
- Električni kotlovi

Industrija

- Električna pumpa
- Izravno grijanje
- Indukcijsko grijanje

Razina tehnološke spremnosti:

- Niska: 1-4
- Srednja: 5-7
- Visoka: 8-9

Ulazni izvor

Metan

Ugljen

Električna energija
i voda

Biomasa

Energija vode i
solarna energija
Organske biljke i
sunčeva svjetlost

Bakterije i sunčeva svjetlost

Mikroalge i sunčeva svjetlost

Mikroorganizmi

Kalcinirana željezna ruda
i pirolizni plin biomase

Generiranje vektora

- Parni reforming metana
- Autotermalni reforming
- Djelomična oksidacija
- Piroliza metana
- Plinifikacija ugljena
- Alkalna elektroliza
- Polimerna elektrolitska membrana
- Mikrobna elektroliza
- Elektrolizne ćelije s čvrstim oksidima
- Piroliza biomase
- Biofotoliza
- Foto-elektrokemijska metoda
- Fotosinteza
- Fotofermentacija
- Fotofermentacija mikroalgi
- Tamna fermentacija
- Kemijska petlja s CCUS (op. prev. hvatanje, korištenje i skladištenje ugljika)

Skladištenje

- Skladištenje u slanim pećinama
- Skladišni tank
- Iscrpljena naftna i plinska polja
- Tekući organski nosač vodika

Transport

- Cjevovod
- Miješanje vodika u mrežama prirodnog plina
- Tanker za tekući vodik
- Tanker za tekući organski nosač vodika

Potrošnja

Zgrade i industrija:

- Tehnologija izgaranja čistog ili miješanog vodika

Sektor transporta (cestovni, željeznički, pomorski, zrakoplovni)

- Gorive ćelije na amonijak
- Gorive ćelije na vodik
- Vodikovi motori s unutarnjim izgaranjem (MUI)

Ulazni izvor

Biogoriva

Biomasa koja nije u konkurenciji s hranom: ostaci, nejestiva ulja, poljoprivredni i komunalni otpad, alge, otpadne životinjske masti i glicerini, mikrobiološki procesi

Potrebna su istraživanja u agritehnologiji kako bi se identificirale dodatne biomase koje nisu u konkurenciji s hranom za proizvodnju **biogoriva**

Sintetička goriva

Ugljično neutralan H_2 , CO iz DACCS ili BECCS (ili alternativno CCUS ili CDR)

Generiranje vektora

- Hidrotretirana biljna ulja (HVO) i transesterifikacija
- Anaerobna razgradnja
- Plinifikacija
- Piroлиза
- Fischer-Tropsch sinteza (FTS) i Fischer-Tropsch sintetički parafinski kerozin (FT-SPK)
- Metanizacija
- Fischer-Tropsch i hidrokreiranje
- Sinteza metanola i metanol u benzin

Skladištenje, transport, distribucija i potrošnja

Goriva s niskim udjelom ugljika mogu lako zamijeniti fosilna goriva: potpuno su kompatibilna s postojećom infrastrukturom za skladištenje, transport, distribuciju i potrošnju.

Mogu se koristiti u konvencionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem i mlaznim motorima: obični automobili, avioni i brodovi mogu se napajati sintetičkim gorivima bez potrebnih promjena ili prilagodbi.

Konkurentnost / Cjenovne regije / Interkonekcijski tokovi / OIE u regiji

Grčki kapacitetni miks

Grčka OIE je među najjeftinijima u širem J-I EU području, kako za solarne PV (zbog visokog solarnog zračenja) tako i za vjetar (zbog planinskih područja s dobrim potencijalima resursa). Grčka će postići ~80% penetracije OIE u potrošnji električne energije do 2030. godine, a daljnja proširenja kapaciteta očekuju se u 2030-im godinama.

Interkonekcijski tokovi

Visoka penetracija OIE pretvara Grčku u neto izvoznika električne energije. Međutim, čini se da tokovi slijede pravac prema sjeveroistoku (tj. opskrbljujući Bugarsku i Sjevernu Makedoniju). Italija i Hrvatska opskrbljuju uglavnom Srbiju i donekle Mađarsku. To znači da tokovi obično počinju sa sjevera i jugozapada te opskrbljuju „Centralnu J-I EU“ regiju.

Diferencijali cijena

Regija najčešće ima više cijene nego Grčka tijekom sredine dana kada je proizvodnja solarne PV energije najviša. Najveći diferencijali cijena sredinom dana opažene su u zimskim mjesecima, što sugerira da Grčka čak i zimi ima relativno snažno solarno zračenje. Oko 2030. godine, mnoge zemlje u regiji očekuje se da će imati niže cijene od Grčke tijekom noći, zbog nedostatka potpune implementacije cijena ugljika.

„Cjenovne regije“

Očekuje se da će regija biti „podijeljena“ u tri zasebne „cjenovne regije“ u sljedećih 5-10 godina, kako se može vidjeti iz ilustracije. Razumijevanje gdje se cijene najviše koreliraju (i približavaju) važno je kada se sagledava razvoj OIE izvan zemlje.

ZEMLJE SLIČNIH POKRETAČA OBLIKOVANJA CIJENA:



Po čemu se razlikuje situacija s OIE u regiji?

Razvoj OIE u široj regiji J-I EU nosi svoje izazove. Neka su tržišta podložna regulatornom riziku, a neke od zemalja J-I EU još uvijek imaju liberalizirane i/ili manje jasne energetske strategije tijekom sljedećeg desetljeća. U nekim su zemljama troškovi balansiranja visoki (npr. Rumunjska) ili one ne mogu prihvatiti daljnje zahtjeve za priključenje na mrežu (npr. Mađarska). Prilike, međutim, postoje i očekuje se da će nekoliko zemalja imati značajno povećanje kapaciteta OIE u sljedećih 7-10 godina (npr. Hrvatska (solarni PV), Mađarska (solarni PV), Rumunjska (solarna PV i vjetar), Slovenija (solarna PV)).

Kako će se OIE razvijati u regiji?

Sve zemlje u regiji implementirale su (ili najavile provedbu) shemu potpore OIE, pri čemu neke zemlje pružaju veću transparentnost u pogledu količina za koje se očekuje da će biti nabavljene. Na manjim tržištima, očekuje se da će svako povećanje kapaciteta OIE doći iz takvih programa potpore OIE. Iako su tržišta PPA prilično nezrela u većini tih zemalja, očekujemo da će se ova situacija promijeniti. Naša analiza sugerira potrebu za nabavom uravnoteženog portfelja OIE s blagim fokusom na vjetroelektrane na kopnu. U Hrvatskoj je već potpisano nekoliko PPA za kopnene vjetroelektrane. Mađarsko PPA tržište raste prilično brzo, ali privremeni prekid novih mrežnih priključaka doveo je do usporavanja. U Rumunjskoj se očekuje da će ukidanje zabrane bilateralnih PPA-ova stvoriti porast interesa za PPA-e u nadolazećim godinama.

Limiti uslijed kompleksnosti velikih elektroenergetskih sustava / izazovi

Elektroenergetski sustav u većini država i nacija jedan je od tehnološki najsofisticiranijih sustava modernog društva zbog veličine i opsega proizvodnih tehnologija i izazova upravljanja mrežom gdje isporuka energije mora samo uravnotežiti proizvodnju s potražnjom jer se električna energija ne može skladištiti.

Može se identificirati pet karakteristika mrežnih sustava:

- Za izgradnju mreže potrebni su dugi rokovi izgradnje, kako za planiranje i stjecanje prava prolaza za neprekinute tokove sustava, tako i dugo vrijeme za fizičku izgradnju sustava koji pokriva velika geografska područja.
- Mrežni sustavi su kapitalno intenzivni. Visoki fiksni troškovi ulaganja u mrežu moraju se s vremenom povratiti, a velik dio ulaganja mora se uložiti u povezivanje velikog broja dobavljača i potrošača prije nego što sustav postane posebno koristan i tržišno privlačan. Proširenje sustava mora se planirati unaprijed, a promjene često utječu na dijelove sustava daleko od gdje se promjena uvodi. Osim toga, zbog ovih problema s veličinom, proširenje se obično mora provoditi u dijelovima, osiguravajući višak kapaciteta u nekim područjima, dok se druga područja suočavaju s ograničenim kapacitetom.

- Mrežni sustavi su čvrsto povezani, i tehnološki i organizacijski. Promjene standarda u jednom dijelu sustava moraju se primijeniti na većinu ili sve dijelove sustava, a kvarovi u jednom dijelu imat će posljedice na cijeli sustav. Redundancija i alternative su neophodne kako bi se spriječilo da čvrsto povezani sustavi zakažu.
- Monopol je posebno privlačan za mrežne sustave zbog kapitalno intenzivnog i čvrsto povezanog karaktera mreže. Iako je uobičajeno da se neka preklapanja preklapaju, mrežni sustavi tvrde da ne bi trebali imati ili imati ograničenu konkurenciju kako bi opravdali trošak instalacije mreže.
- Mrežni sustavi su javni sustavi, u društvenoj funkciji i odgovornosti, ako nisu i pravno javni (npr. javno vlasništvo). Mrežni sustavi, zbog svoje široke povezanosti i zato što postaju bitni za zajednice kojima služe, imaju javnu odgovornost i interes koji nadilazi jednostavnu industrijsku odgovornost. Stoga su mrežni sustavi obično regulirani kako bi se osigurala i cijena i pouzdanost.

Veliki tehnički sustav temeljen na mreži predstavlja jedinstvene izazove u dva područja:

- Prvo, upravljanje sustavom zahtijeva tehnološke i organizacijske aranžmane koji osiguravaju kapital, pouzdanost i profitabilnost sustava. To su kratkoročna operativna pitanja koja se moraju svakodnevno rješavati da bi sustav uspio.
- Drugi izazov je dugoročno planiranje, strategija i promjena. S obzirom na veličinu sustava i njegov mrežni karakter, rad temeljen na provjerenim tehnikama i protokolima najlakši je kada se slijede testirani i provjereni protokoli.

Što ove karakteristike kompleksnosti znače za energetske sustave?

To znači da je energetske sustave vrlo teško opisati i dijelovi se često ne razumiju u potpunosti. Kod složenih sustava naša nesigurnost oko sustava često premašuje ono što je poznato i postoje iznenađenja zbog dijelova koje donositelji odluka ne razumiju.

Na primjer:

1. Energetski sustavi imaju mnogo dijelova, složene grupe dijelova, međusobne odnose i duga vremena isporuke. To je karakteristično za većinu mrežnih sustava, ali s deregulacijom opseg sustava eksponencijalno se proširio, s rastućom dvosmislenošću oko toga tko je odgovoran. Prije deregulacije, vertikalno integrirana komunalna poduzeća postupno su razvijala sustave koji su uravnotežili i stekli iskustvo u upravljanju svim različitim dijelovima svoje mreže.
2. Male razlike u početnim uvjetima dovode do ogromnih razlika u ishodima, poput skokova cijena i padova sustava. Relativno male nestašice električne energije tijekom krize od 5-10% dovele su do skokova cijena od 100 ili više puta većih od cijene električne energije prije krize.

3. Međusobna povezanost cijelog energetskog sustava uključuje ne samo mrežu, već i cijeli lanac od izvora energije do otpada. Složeni međuodnosi između cijene prirodnog plina i nekih početnih povećanja cijena električne energije ilustriraju način na koji je električna energija ugrađena u veliki i brzo promjenjivi sustav gdje je sve povezano sa svime ostalim.
4. Povratne petlje i odziv na promjene doveli su do ishoda koji su udaljeni od početnog utjecaja. Na primjer, povratne informacije i odziv sustava omogućili su manipuliranje sustavom. Što više saznajemo o strategijama koje su koristili Enron i drugi tržišni manipulatori kako bi manipulirali sustavom, to više razumijemo da nisu djelovali toliko unaprijed planiranom zavjerom, koliko činjenicom da su imali informacije o sustavu koje su im omogućile trenutnu svijest o tome da mogu pojedinačno napraviti male promjene u ponašanju, poput uskraćivanja određene moći koje bi koristile njima pojedinačno, kao i drugima koji rade istu stvar.

Ukratko, teorija kompleksnosti pomaže nam da shvatimo da kreatori politika često su u nedoumici kako upravljati sustavom, a oni koji su zaduženi griješe, te da s tako složenim sustavom kao što je energetski sustav treba očekivati da će neizvjesnosti nadmašiti točno planiranje i predvidljivost.

Načela za osiguravanje sigurnosti i konkurentnosti tijekom energetske tranzicije / za raspravu

... napredak tranzicije

Pokazatelj energetske tranzicije pruža **strukturirani prikaz** stanja **napretka energetske tranzicije** u tri makro područja.

SMANJENJE EMISIJA

Smanjenje **emisija stakleničkih plinova** među sektorima Sustava trgovanja emisijama - ETS (% promjene u usporedbi s razinama iz 2005.)

Emisije ekvivalenta CO₂ u odnosu na BDP (tCO₂eq/€)

Emisije CO₂ po proizvedenom kWh (gCO₂/kWh)

PROIZVODNJA OBNOVLJIVIH IZVORA

Kapacitet skladištenja energije (GWh)

Udio električne energije proizvedene iz OIE (% ukupno proizvedene električne energije)

Električna energija proizvedena iz solarne energije (TWh)

Instalirani solarni OIE (GW)

Kapacitet skladištenja energije na razini komunalnog poduzeća (GWh)

Električna energija proizvedena iz vjetra (TWh)

Instalirani OIE iz vjetra (GW)

DEKARBONIZACIJA I SMANJENJE POTROŠNJE

Potrošnja primarne energije kao postotak BDP-a (Mtoe/€)

Udio obnovljive energije korištene u sektoru grijanja i hlađenja (% bruto konačne potrošnje kućanstava)

Udio OIE u bruto konačnoj potrošnji (% ukupne bruto konačne potrošnje energije)

Udio obnovljive energije u prometu (% ukupne konačne potrošnje energije u promet)

● U skladu ● Malo zaostaje
● Umjereno zaostaje ● Znatno zaostaje

- Rezultati pokazuju da je **zemlja u skladu s postavljenim ciljevima** u približno **30%** analiziranih **pokazatelja**.

- Od **14 ključnih pokazatelja uspješnosti (KPI)** povezanih sa smanjenjem emisija, proizvodnjom iz obnovljivih izvora i smanjenjem potrošnje, **4** imaju status **napretka u skladu s ciljevima** ili s **ograničenim kašnjenjem**.

S obzirom na potrebu ubrzanja energetske tranzicije, sugerira se **razvoj plana do 2050.** na temelju **programske i sistemske vizije** koja uključuje **četiri ključna načela:**

I) koordinirani i sinergijski razvoj **spremnih, brzo primjenjivih i skalabilnih tehnologija** (fotonaponski sustavi, kopnene vjetroelektrane, baterije i reverzibilne hidroelektrane) te **strukturnih i strateških rješenja** za sigurnost i neovisnost sustava (pučinske vjetroelektrane, nuklearna energija i CCS);

II) **procjena optimalne kombinacije** na temelju brzine implementacije, troškova razvoja sustava, otpornosti, sigurnosti sustava i koristi za zemlju;

III) **praćenje i rekalkulacija prioriteta intervencije** na trogodišnjoj osnovi; i

IV) **uravnoteženje poticajnih mjera između potražnje i ponude.**

Konkurentnost obnovljivih izvora energije

- Hrvatski PHOIO ima znane ciljeve
- Niža konkurentnost LCOE obnovljivih izvora energije uglavnom je povezana s **dodatnim troškovima zemljišta i priključaka**. Ti dodatni troškovi rezultiraju **procjenama projekata spremnih za izgradnju** za fotonaponske sustave koji mogu biti **>20% veće od prosjeka europskih konkurenta** (Francuska, Njemačka i Španjolska).

Skladištenje i uloga crpljenja

- **Baterije** su **zrela** tehnologija pogodna za **kratkoročno skladištenje**, a **sustavi za reverzno hidroelektrane** su jedino **konsolidirano i skalabilno rješenje** za **srednjoročno i dugoročno skladištenje** potrebno za **otpornost i sistemske sigurnost**.
- Reverzibilne hidroelektrane poboljšavaju **hrvatski lanac opskrbe**, smanjuju tehnološku vezanost, imaju nisku ovisnost o kritičnim sirovinama i omogućuje **oporavak hidroenergetskih kapaciteta**.

**Spremljene,
brže
primjenjive
i skalabilne
tehnologije**

Zelena industrijska proizvodnja

- Konkretna provedba programske vizije predstavlja strateški čimbenik u **podršci konkurentnosti zelenih i niskougličnih lanaca opskrbe**.

Strukturna i
strateška
rješenja za
sigurnost i
neovisnost
sustava

"Nova nuklearna energija"

- Nekoliko **europskih zemalja** preispituje svoje energetske strategije, **integrirajući nuklearnu energiju u svoje putanje dekarbonizacije**.
- Mali modularni reaktori (SMR)**, temeljeni na **naprednim tehnologijama**, nude prednosti vezane uz **modularnost, standardizaciju i proizvodne mogućnosti**. S mogućim europskim partnerstvima temeljenim na suinvestiranju mogu jačati lance opskrbe.

Hvatanje i skladištenje ugljika (CCS)

- Globalno, **broj CCS postrojenja** porastao je sa **65 u 2020.** na **628 u 2024.**, a mnoge europske zemlje **usvajaju konkretne i strukturirane pristupe za integraciju CCS-a u svoje** industrijske i klimatske **strategije**.
- CCS je, zapravo, **ključni alat za dekarbonizaciju** teško obuzdanih **industrijskih sektora** i **povećanje sistemske fleksibilnosti**, osiguravajući eventualni rad **termoelektrana**.

- Slučaj cementa** je simboličan: U tom kontekstu, **dekarbonizirani i učinkovit energetski sustav** može se pretvoriti u **konkretnu konkurentsku prednost**.