



Sveučilište u Rijeci
TEHNIČKI FAKULTET



Kompleksnost upravljanja energetsom tranzicijom

Radionica na temu – Klimatske promjene i njihov utjecaj na gospodarstvo

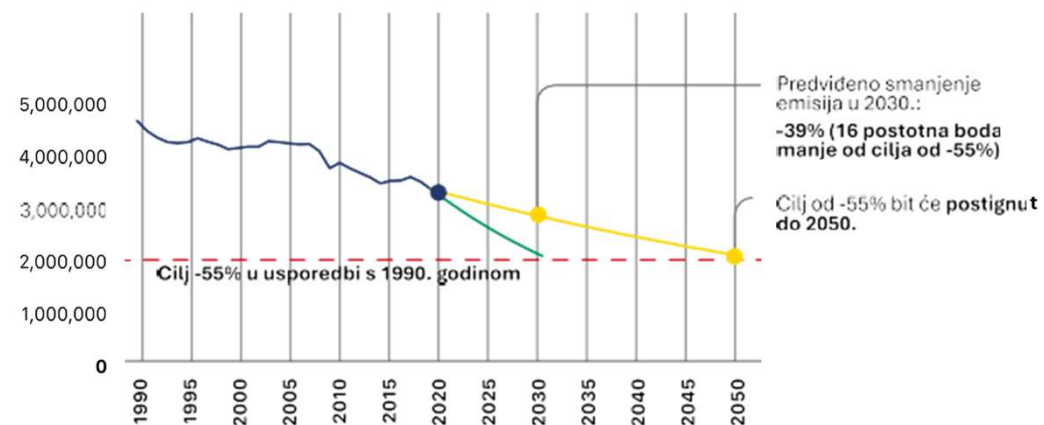
Prof. dr. sc. Alfredo Višković
Voditelj Katedre za kompleksne energetske sustave
Tehnički fakultet u Rijeci

Kompleksnost upravljanja energetsom tranzicijom

- Da bi se izbjegli nesporazumi, autor ovog teksta izjavljuje da je uvjerenja da se trebamo hitno i odlučno uhvatiti u koštac s najozbiljnijom prijetnjom u povijesti čovječanstva: zagrijavanjem Zemlje, što znači da prihvaća istinitost te tvrdnje.
- Pariški sporazum, koji je u prosincu 2015. potpisalo 196 zemalja na 21. konferenciji stranaka Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama (COP 21), predstavlja koristan politički okvir za zajedničke napore država u tom smjeru.
- Europska unija koja je ili želi biti svjetski predvodnik u borbi protiv klimatskih promjena „the greenest of the class“ izdala je tisuće novih stranica punih prijedloga Komisije koje nose naslov Clean Energy for All Europeans kojima je cilj, kako čitamo, „**upravljati tranzicijom k čistoj energiji**“.

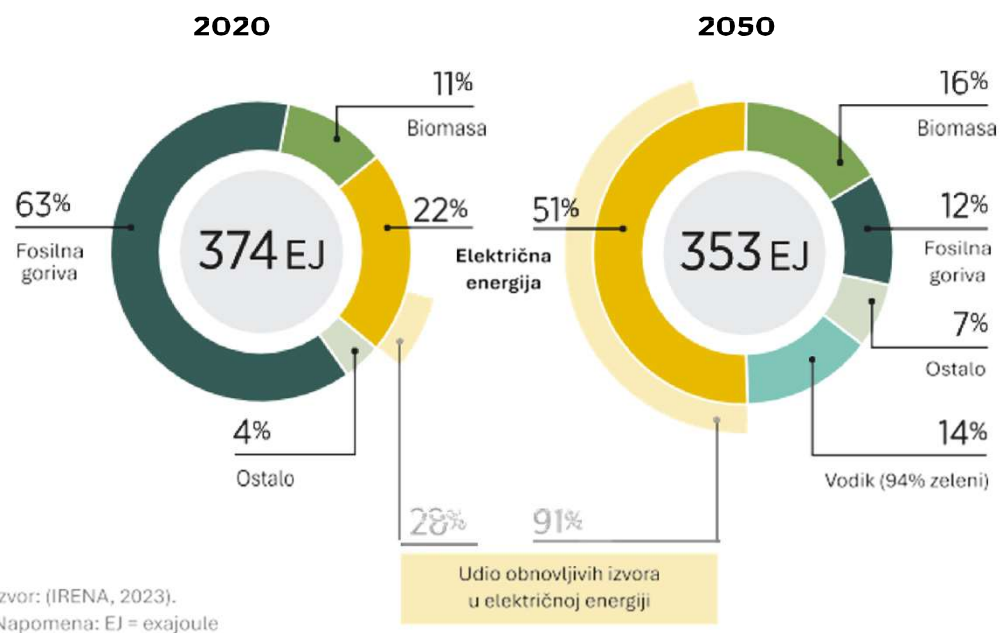
Emisije plinova koji uzrokuju klimatske promjene u Europi (MtonCO₂e), 1990 - 2019 i scenariji politika

Izvor: obrada The European House - Ambrosetti na temelju IPCC podataka, 2022.



Kompleksnost je najistaknutije obilježje pitanja klimatskih promjena, a put koji vodi do ponekog stvarno učinkovitog odgovora susreće se s mnogo većim preprekama nego što se obično misli.

Energetska tranzicija s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije rezultira sve više elektrifikacijom, decentraliziranim i digitaliziranim energetske sustavima.



Prvi iskustveni zaključak	Drugi iskustveni zaključak	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ U idealnom svijetu možda bi se i moglo pomisliti da se energetska tranzicija u smjeru zamjene fosilnih goriva može brzo i relativno lako ostvariti, Stvari ne stoje tako i nikakvo samozavaravanje to neće promijeniti. Pošto Pariški sporazum znači, da moramo, u samo nekoliko desetljeća od danas, smanjiti, i nastojati svesti na nulu, upotrebu nafte, plina, ugljena odgovornih za 70% emisija stakleničkih plinova, koji zajedno ispunjavaju oko 85% primarnih energetske potrebe, pri čemu ih moramo zamijeniti, budemo li natačili s ostracionizmom nuklearne energije, novim obnovljivim tehnologijama (ne računajući hidroenergiju), čiji je doprinos danas jednoznačenastog postotnog poena. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pogled na stvarno stanje stvari otkriva da je glavni neprijatelj okoliša siromaštvo, koje je većim dijelom, posljedica energetskog siromaštva. ▪ Boriti se protiv energetskog siromaštva isključivo uz pomoć novih obnovljivih izvora energije još je zahtjevnije, mada ponekad neizbježno, nego zamijeniti fosilna goriva u razvijenim zemljama. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dakle, morali bismo preokrenuti omjer koji je danas višestruko nepovoljan. To znači da moramo podržati velika ulaganja u ciklusima u kojima se investicije ne oploduju, da bismo zamijenili, na primjer, elektroenergetska postrojenja na fosilna goriva. ▪ Isto tako, neupitno je da su novi obnovljivi izvori u brojnim razvijenim zemljama dosegli znatan, ako ne i većinski udio u ukupnoj proizvodnji električne energije, ali je također neupitna činjenica da se to možda dogodilo upravo zahvaljujući tradicionalnim resursima koji nadopunjavaju diskontinuitete uslijed varijabilnosti proizvodnje energije iz tih izvora. Teško je razmrsiti čvor tog proturječja, posebno uzme li se u obzir učinak naftnog protuudara koji je umanjio konkurentnost novih obnovljivih izvora energije. ▪ Kako stvari sada stoje, iako smo se nadali da ćemo moći ukinuti potpore, one će ipak morati biti prisutne kako bi se dodatno povećala penetracija i naravno uz prisustvo cijene ugljičnog dioksida. Oni koji investiraju u nove tehnologije morat će oslušivati politiku više negoli tržište, a ona pak mora odgovarati potrošačima – glasačima. 	<th data-bbox="1267 719 2087 767">Treći iskustveni zaključak</th> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rad i naponi na izgradnji budućnosti bez fosilnih izvora energije ne znače da svijet nije odgovoran i dužan spriječiti nastanak „rupe u ponudi“, koja se može otvoriti u slučaju da potreba za fosilnim izvorima ne nestane te zatim izazvati snažne političke tenzije na međunarodnoj razini. ▪ Kako to pojasniti? Ako zamislimo, čisto teoretski, mada to mnogi smatraju vjerojatnim, da će svijet u roku od nekoliko desetljeća moći bez fosilnih izvora energije, tada je razumno pretpostaviti da bi svjetske industrije morale već sada ugovoriti investicije koje bi urodile plodom u tom vremenskom horizontu. ▪ Izgradnja novih rafinerija, naftovoda, brodova, elektrana podrazumijeva velike troškove i dugačke rokove, ali i radni vijek koji premašuje pola stoljeća, točku koja je zadana kao referentni rok za dekarbonizaciju energetskih sustava. 	Treći iskustveni zaključak

-
- Na kraju, prespora dinamika investicija, što rezultira dvama različitim vrstama rizika, a to su:
 - s jedne strane, da nije moguće istovremeno voditi borbu protiv klimatskih promjena i ništa manje važno borbu protiv energetske siromaštva;
 - s druge strane, da u ne baš tako dalekoj budućnosti nastane „rupa u ponudi“ fosilnih izvora energije prije nego što ih energetska tranzicija uspije na odgovarajući način zamijeniti.
 - **Upravljanje tranzicijom jedini je način da to izbjegnemo. Uspjeti u tome strahovito je teško.**
 - Presudno je upravljati energetske tranzicijom pošto nije razumno prepustiti razvoj situacije nepredvidljivoj igri tržišta ili usuglašavanju neusklađenih nacionalnih politika.
 - **Sve dok tehnologije ne dosegnu stupanje zrelosti na kojem će moći ponuditi rješenje za problem varijabilnosti koja danas karakterizira proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, staro i novo nužno će morati supostojati.**

Politike dekarbonizacije

- Politike dekarbonizacije napredovat će različiti tempom u različitim područjima i sektorima gospodarstva. Jedan dio emisija jednostavno će biti teško ili gotovo nemoguće eliminirati, barem tamo gdje neće biti moguće naći zamjenu za ugljikovodike, poput sektora kemijske proizvodnje, zrakoplovnog prijevoza, teške proizvodne industrije. Tehnologije zarobljavanje ugljika ili tehnologije „negative emissions“ – negativni procesi s negativnom ugljičnom bilancom – moći će ponuditi rješenje u rokovima koji se ipak neće moći pouzdano zacrtati ne posveti li se dovoljna pažnja razvoju i istraživanju.
- Što penetracija novih „low-carbon“ tehnologija bude veća, to će manja biti potražnja za tradicionalnim izvorima energije. Investicije koje mogu zajamčiti priljev tehnoloških inovacija i dalje će biti potrebne, mada će neizvjesnost rasti.
- Prekidi opskrbe i skokovi cijena bili su noćna mora s kojom su se suočavali „policy makers“ u svijetu nakon 1973. godine. U svijetu danas i dalje mogli bi ponovo postat normalni. Zanemarivanje uloge koju će nafta i prirodni plin još dugo morati igrati povećava rizik nestabilnosti tržišta i ugrozu energetske sigurnosti, drukčije nego u prošlosti, ali još kompleksnije.

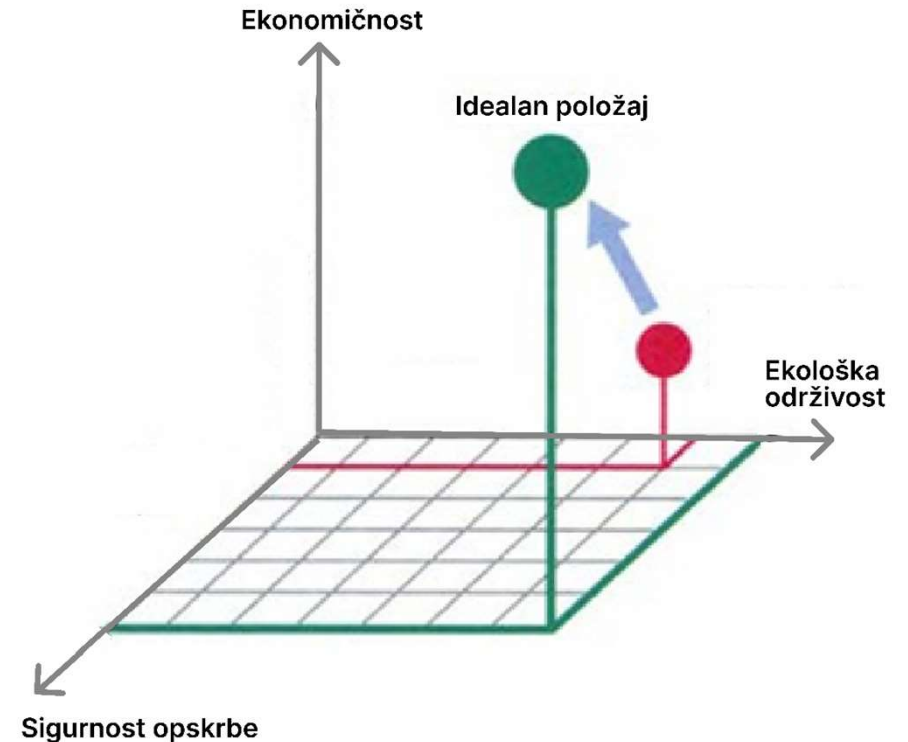
-
- Zaključak glasi da, pošto snažne klimatske politike ne jamče baš ništa što se tiče dugoročnih ishoda, posljedice obeshrabrivanja tradicionalnih investicija mogu se očitovati u vidu kraha s predviđenim velikim opsegom smanjenja (cca. od jedne trećine) u slijedećem desetljeću ili dva, a to bi ipak negativno utjecalo na tržišnu ravnotežu, cijenu energije, energetska siromaštvo. Prema tom scenariju koje se ne može isključiti, cijene bi odletjele jako visoko: u tom slučaju slom velikih naftnih kompanija bio bi s manje proizvodnje a više profita.
 - Bilo bi, dakle, bolje kad bi države, ne odričući se obaveza preuzetih u Parizu, „priznale ili oslužbenile“ da svijet još dugo neće moći bez fosilnih izvora energije, pri čemu ipak moraju odlučno raditi na tome da izgrade budućnost koja slijedi nakon toga: povećati napore u području istraživanja i razvoja, pripremiti nove industrijske platforme kao nužnu podršku za prodor novih tehnologija, usvojiti ekonomske instrumente koji pogoduju preusmjeravanju investicija iz tradicionalnih u nove tehnologije.

Neizvjesna budućnost energetike

- Iz tih razloga proizlazi apsolutna neizvjesnost budućnost energetike i pitanja klime, koja će predstavljati „temeljnu postavku“ sutrašnjice zato što je jednostavno previše varijabli u igri i previše međuovisnosti o kojima naša budućnost ovisi.
- Neizvjesnost je ta koja ne dozvoljava da se predvidi bilo kakav iole pouzdan scenarij. Nema nikakve izvjesnosti, a time ni istina za koje se treba boriti.

Energetski izazov

- Kao što se može vidjeti, razmatraju su tri varijable koje definiraju učinkovitost energetske sustava (koje je sama Europska komisija označila kao ciljeve buduće energetske politike):
 - Održivost okoliša, izražena u smislu emisije stakleničkih plinova.
 - Sigurnost, shvaćena kao energetska sigurnost i rizik opskrbe.
 - Konkurentnost, izražena u smislu troškova energije.
- Misija EPPL jest promicanje principa **tehnološke neutralnosti** u Europi u području dekarbonizacije, gdje se sinergijski i komplementarni **doprinos svih dostupnih tehnologija** treba iskoristiti za postizanje cilja nulte emisije ugljika.



Održivost okoliša, izražena u smislu emisije stakleničkih plinova

Tehnologije koje čine osnovu Plana za tehnologije nulte emisije ugljika

PROIZVODNJA ENERGIJE S NULTIM UGLJIKOM

zvor: obrada The European House - Ambrosetti, 2022.

Razina tehnološke spremnosti:
 ● Niska: 1-4
 ● Srednja: 5-7
 ● Visoka: 8-9

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

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

Termičke obnovljive energije

- Solarne
- Geotermalne
- Oceani

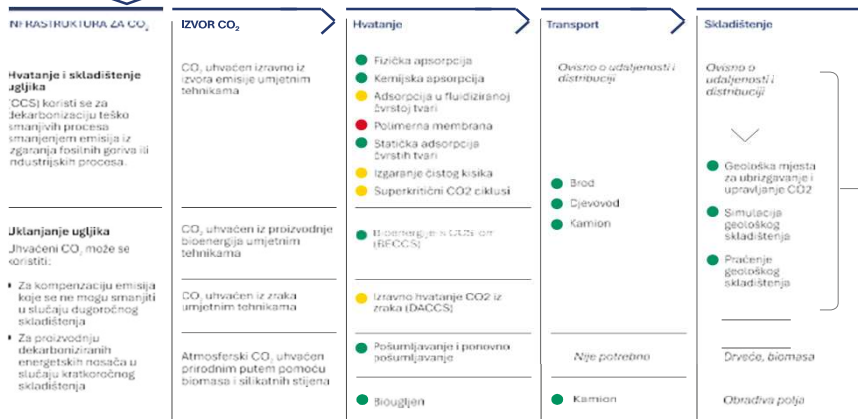
NUKLEARNE ENERGIJE

Fisija

- IV generacija reaktora

Fuzija

- Magneto-inercijalna fuzija
- Hibridno elektrostatičko zadržavanje
- Inercijalno zadržavanje
- Netormalna laserska fuzija



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

PROIZVODNJA I UPOTREBA ENERGETSKIH VEKTORA S NULTIM UGLJIKOM

Razina tehnološke spremnosti:
 ● Niska: 1-4
 ● Srednja: 5-7
 ● Visoka: 8-9

ELEKTRIČNA ENERGIJA S NULTIM UGLJIKOM

Generiranje vektora

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

Skladištenje

- Baterija**
- Redox tok
 - Litijska
 - Krute baterije
- Mehaničko**
- Zamašnjak
 - Pumpna hidroakumulacija
 - Skladištenje energije komprimiranim zrakom
 - Skladištenje energije tekucim 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
 - Transakciona 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

VODIK S NULTIM UGLJIKOM

Ulazni Izvor

- Energija vode i solarne energije**
- Organiske biljke i sunčeva svjetlost**
- Bakterije i sunčeva svjetlost**
- Mikroalge i sunčeva svjetlost**
- Mikroorganizmi**
- Katalinirana željezna ruda i proizvodi iz biomase**

Generiranje vektora

- Parni reforming metana
- Autotermalni reforming
- Djelomična oksidacija
- Piroлиза metana
- Plinifikacija ugljena
- Alkalna elektroliza
- Polimerna elektrolitička membrana
- Mikroba elektroliza
- Elektrolitne ćelije s čvrstim oksidima
- Proizva biomase
- Biotetoliza
- Foto-elektrokemijska metoda
- Fotosinteza
- Fotofementacija
- Fotofementacija mikroalgi
- Tamna fermentacija
- Kemijska petlja s CCUS (op. prev. hvatanje, korištenje i skladištenje ugljika)

Skladištenje

- Skladištenje u solanim pećinama
- Skladišni tank
- Iscripljena naftna i plinaka polja
- Tekući organski nosač vodika

Transport

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

Potrošnja

- Zgrade i industrija:**
- Tehnologija izgaranja čistog ili mješovitog vodika
- Sektor transporta** (cestovni, zračni, pomorski, trakoplovn)
- Gorivo ćelije na amonijak
 - Gorivo ćelije na vodik
 - Vodikovi motori s unutarnjim izgaranjem (MUI)

UGLJINO NEUTRALNA GORIVA

Ulazni Izvor

- Biogoriva**
- Biomasa koja nije u konkurenciji s hranom: ostaci, najestiva ulja, poljoprivredni, komunalni otpad, alge, otpadne životinjske masti i glicerol, mikrobiološki procesi
- Potrebna su istraživanja u agrotehnologiji** kako bi se identifikirale dodatne biomase koje nisu u konkurenciji s hranom za proizvodnju biogoriva
- Sintetička goriva**
- Ugljično neutralan H₂, CO₂ iz DACCS ili BECCS (ili alternativno CCUS ili CDR)

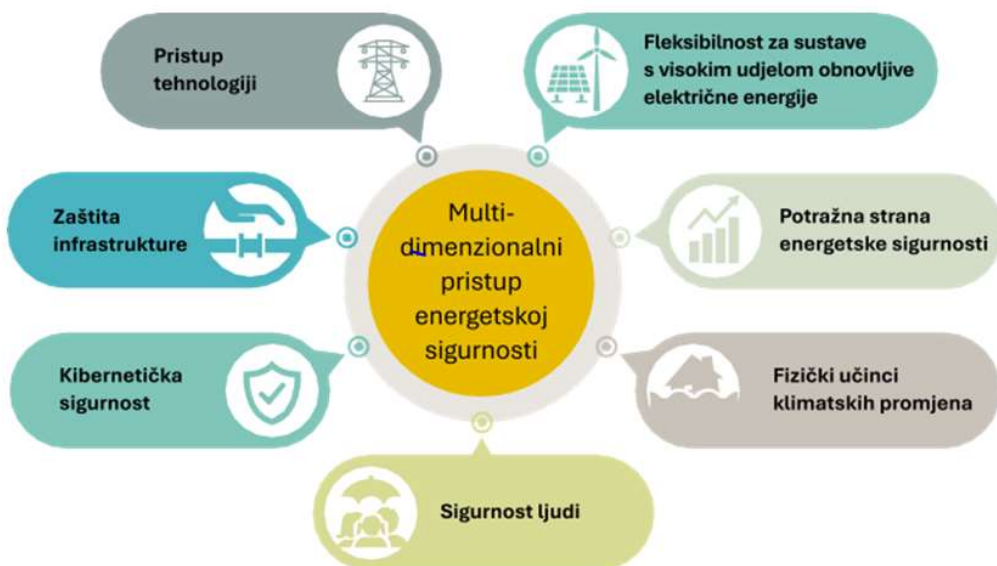
Generiranje vektora

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

Skladištenje, transport, distribucija i potrošnja

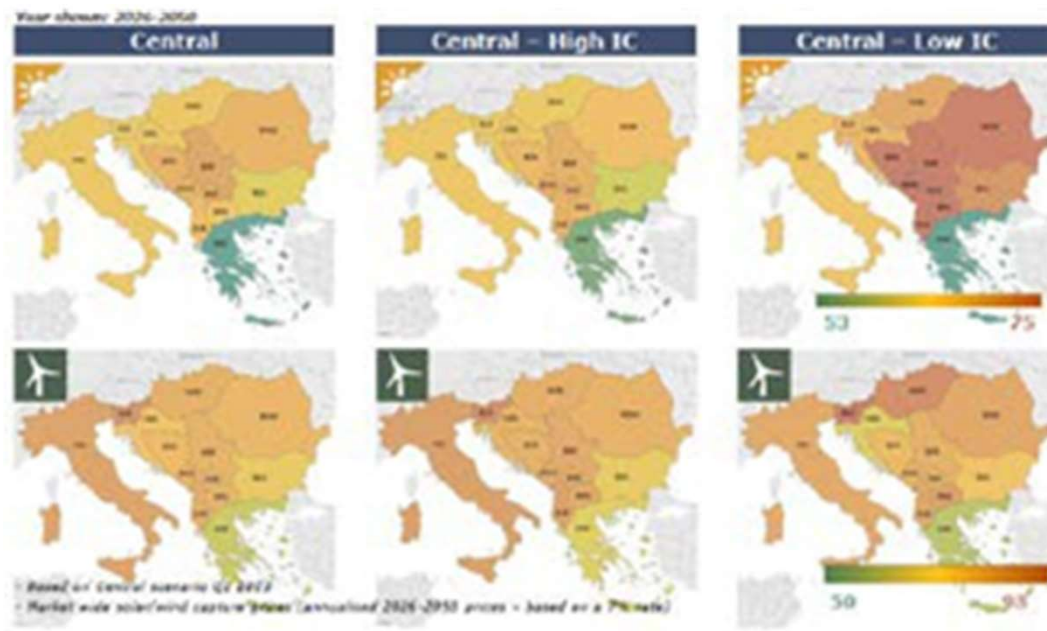
Goriva s niskim udjelom ugljika mogu lako zamijeniti fosilna goriva: potisnuta su konkurentna s postojećom infrastrukturom za skladištenje, transport, distribuciju i potrošnju. Mogu se koristiti u konvencionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem i mlaznim motorima: obični automobili, avioni i brodovi mogu se napajati sintetičkim gorivima bez potrebnih promjena ili prilagodbi.

Sigurnost, shvaćena kao energetska sigurnost i rizik opskrbe



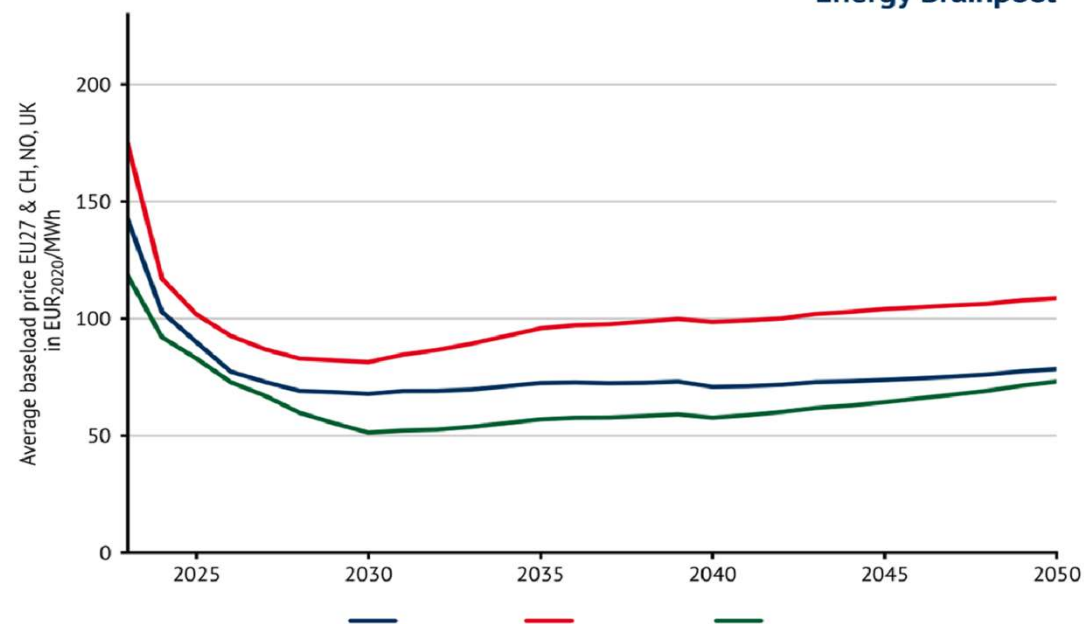
Konkurentnost, izražena u smislu troškova energije

Predviđanje cijena električne energije u RH treba tražiti u scenarijima JI Europe i Sredozemlja.



Prognoza cijena električne energije u RH do 2050.godine

	cijena el. energije		emisijske jedinice EUA(€/tCO ₂)	plin		ugljen API2(\$/t)
	DE (€/MWh)	CRO (DE + 6,25€)		CEGH (€/MWh)	TTF (€/MWh)	
2025	95.6	105.0	73.5	42.1	40.5	120.70
2026	87.3	93.6	76.0	37.0	35.0	122.95
2027	76.8	81.6	78.8	30.9	29.0	124.45
2028	72.6	78.9	81.8	27.9	25.5	124.43
2029	71.6	77.9	84.8	27.3	25.4	124.56
2030	70.2	76.5	87.9	26.8	26.0	
2031	70.8	77.1	90.9	26.2	25.7	
2032	72.2	78.5	93.9	26.5	25.4	
2033	73.7	79.9	96.2	26.8	25.1	
2034	75.1	81.4	98.6	27.1	24.8	
2035	76.6	82.9	101.1	27.4	24.5	
2036	78.2	84.4	103.6	27.7	24.2	
2037	79.7	86.0	106.2	28.0	23.9	
2038	81.3	87.6	108.9	28.3	23.6	
2039	83.0	89.2	111.6	28.6	23.3	
2040	84.6	90.9	114.4	29.0	23.1	
2041	86.3	92.6	117.3	29.3	22.8	
2042	88.0	94.3	120.2	29.6	22.5	
2043	89.8	96.0	123.2	29.9	22.2	
2044	91.6	97.8	126.3	30.3	22.0	
2045	93.4	99.7	129.4	30.6	21.7	
2046	94.8	101.1	132.7	30.9	21.4	
2047	96.2	102.5	136.0	31.3	21.2	
2048	97.7	103.9	139.4	31.6	20.9	
2049	99.2	105.4	142.9	32.0	20.7	
2050	100.6	106.9	146.4	32.0	20.4	



Obrada rezultata scenarija cijena električne energije, Bloomberg-a, IEA te EPPL-a.