

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



*Istraživanje puteva energetske tranzicije -
međuviznost "power-to-X" tehnologija,
tehnologija odgovora potrošnje i povezivanja tržišta
energijom – INTERENERGY*

*D4.5 – Izveštaj o objavljenim znanstvenim
radovima*

Zagreb, 2023. godina

Projektni tim:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Prof. dr. sc. Ingo Stadler

Prof. dr. sc. Henrik Lund

Izv. prof. dr. sc. Iva Ridjan Skov

Prof. dr. sc. Fei Wang

dr. sc. Felipe Feijoo

dr. sc. Hrvoje Dorotić

dr. sc. Stanislav Boldyryev

Antun Pfeifer, mag. ing. mech.

Luka Herc, mag. ing. mech.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	3
SAŽETAK.....	4
SUMMARY	5
1. RADOVI U ZNANSTVENIM ČASOPISIMA.....	6
2. RADOVI NA ZNANSTVENIM KONFERENCIJAMA	11

SAŽETAK

U ovom se izvještaju daje pregled objavljenih znanstvenih radova u znanstvenim časopisima kao i radova prezentiranih na međunarodnim znanstvenim konferencijama. Cilj aktivnosti objavljivanja radova bio je definiran radnim planom projekta: objavljeno ukupno 6 znanstvenih članaka u zbornicima međunarodnih znanstvenih konferencija te objavljena 3 open access rada u međunarodnim znanstvenim časopisima. Ukupno je objavljeno 6 znanstvenih radova u znanstvenim časopisima, od čega 4 rada u otvorenom pristupu. Na međunarodnim konferencijama je prezentirano 11 radova.

SUMMARY

This report provides an overview of published research in scientific journals as well as research presented at international scientific conferences. The goal of the activity of publication of papers was defined by the work plan of the project: a total of 6 scientific articles were published in the proceedings of international scientific conferences and 3 open access papers were published in international scientific journals. A total of 6 scientific papers have been published in scientific journals, of which 4 in open access. At international conferences, 11 papers were presented.

1. RADOVI U ZNANSTVENIM ČASOPISIMA

Objavljeno je 6 radova u znanstvenim časopisima. Od toga, 5 ih je objavljeno u Q1 časopisima.

1.1. Radovi prema radnom planu projekta

1. Herc, L, Pfeifer, A, Feijoo, F, Duić N. **Energy system transitions pathways with the new H2RES model: A comparison with existing planning tool**, e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, Volume 1, 2021, 100024, otvoreni pristup, <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100024>.

Sažetak:

Antropogeno uzrokovane klimatske promjene su među glavnim problemima s kojima se društvo danas suočava. Da bi ograničili porast prosječne globalne površinske temperature, nekoliko zemalja razvilo je ciljeve (npr., ciljeve Pariškog sporazuma) koji teže smanjenju njihovih razina emisija stakleničkih plinova, posebno iz energetske i transportnog sektora. Instalacija velikih kapaciteta obnovljive energije stvara nove izazove. Posebice, njihova visoka varijabilnost stvara nesigurnosti za regulatore i operatere energetske sustava u jamčenju sigurnosti opskrbe po pristupačnim cijenama. Stoga, moraju se razmotriti novi pristupi kako bi se pomoglo smanjiti nesigurnost povezanu s varijabilnom obnovljivom energijom. Tehnologije Power-to-X i odziv potražnje, koje pružaju visok stupanj fleksibilnosti energetske sustavima, mogu biti zapravo održivo rješenje.

Ovo istraživanje uspoređuje dvije metode planiranja razvoja energetske sustava. Razvijeni softver H2RES uspoređuje se s postojećim komercijalnim programom za optimizaciju konfiguracije energetske sustava PLEXOS. Istraživanje uspoređuje ove modele s obzirom na endogeno širenje kapaciteta obnovljivih izvora i opcije fleksibilnosti. Dodatno, H2RES je proširen da uključi odluke o investicijama u kapacitete za proizvodnju energije i tehnologije skladištenja energije. Dva modela se uspoređuju na slučaju Hrvatskog energetske sustava. Rezultati pokazuju da tehnologije Power-to-X pružaju potrebnu fleksibilnost kako bi se uspješno integrirale nove proizvodne kapacitete varijabilnih izvora obnovljive energije, dostižući

ekonomski optimalne i nisko-ugljične energetske sustave. Novo razvijeni softver H2RES pokazao se sposobnim za simulacije energetskog sustava, optimizaciju i planiranje investicija. Prikazane funkcionalnosti u nekim aspektima pokazale su se čak sposobnijima od uspostavljenog softvera PLEXOS s kojim se uspoređuje. Također, postoji visok prostor za poboljšanja zbog njegove prirode otvorenog koda.

2. Feijoo, Felipe ; Pfeifer, Antun ; Herc, Luka ; Groppi, Daniele ; Duić, Neven. **A long-term capacity investment and operational energy planning model with power-to-X and flexibility technologies** // Renewable and sustainable energy reviews, 167 (2022), 112781, 15. doi: 10.1016/j.rser.2022.112781 , otvoreni pristup

Sažetak:

U ovom istraživanju predstavlja se novi model dugoročnog energetskog planiranja koji uzima u obzir ulaganja u endogene kapacitete, optimizaciju pogona generatora, Power-to-X i tehnologije odgovora na potražnju. Prikazan je i temeljit pregled literature o postojećim modelima energetskog planiranja, čime se mogu prikazati karakteristične karakteristike predloženog modela. Predloženi model razmatra energetski sustav s ciljem minimiziranja ukupnih troškova ulaganja u kapacitete, kroz sve tehnologije, i operativnih troškova s kojima se suočava sustav pri zadovoljavanju potražnje za energijom. Model također razmatra veze između različitih sektora potražnje, uključujući veze između sektora proizvodnje električne energije, industrije, sektora grijanja, transporta i proizvodnje elektrogoriva (temeljenog na zelenom vodik). Predloženi model koristi se za proučavanje dekarbonizacije hrvatskog energetskog sustava prema različitim politikama povezanim s razinama OIE i ciljevima emisija CO₂. Pokazuje se da Power-to-X tehnologije zasigurno mogu pružiti fleksibilnost koja je potrebna za nova ulaganja u kapacitete u varijabilne obnovljive izvore energije, dobivajući sustave s nižim razinama kritičnog viška proizvodnje energije. Veća upotreba baterijskih sustava skladištenja i Power-to-heat tehnologija usvojene su prvenstveno za varijabilne obnovljive udjele i smanjenje CO₂ od blizu 80%, dok je ispod tih razina usvajanje takvih tehnologija ograničeno. Dodatno, opcije fleksibilnosti Power-to-heat postaju glavne tehnologije kada se nametnu ograničenja emisija CO₂ iz sektora grijanja i, posebno, kada se varijabilni udjeli obnovljive energije u sektoru električne energije približe razini od 60%.

- Herc, L, Pfeifer, A, Duić, N. **Optimization of the possible pathways for gradual energy system decarbonization**, Renewable Energy, Volume 193, 2022, Pages 617-633, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.005> , otvoreni pristup

Sažetak:

Europska unija i ostali potpisnici Pariškog klimatskog sporazuma dogovorili su ograničenje globalnog zagrijavanja na 2° Celzijeve iznad preindustrijskih razina. Prethodno objavljene studije istraživale su optimalnu strukturu energetske sustava potrebnu za postizanje ciljeva ugljične neutralnosti. Ovo istraživanje usmjereno je na rješavanje međufaza prema dekarbonizaciji. Koraci su kvantificirani kao postotni udio obnovljivih izvora energije. Cilj optimizacije je dostići unaprijed određenu razinu obnovljive energije i emisija, minimizirati smanjenje obnovljivih izvora energije, minimizirati troškove sustava i ograničiti korištenje prirodnih resursa poput biomase u energetske sektoru. Tehnologije uzete u obzir u procesu optimizacije uključuju kapacitete za proizvodnju energije, tehnologije odziva na potražnju i skladištenje energije. Rezultati takve metode odražavaju korištenje razmatranih tehnologija i prikazani su kao funkcija udjela obnovljive energije i razine emisija ugljičnog dioksida, što također predstavlja vremensku crtu dekarbonizacije od 2020. do 2050. Metoda se provodi uz upotrebu softvera za energetske planiranje EnergyPLAN i modificiranog softvera baziranog na Python programskom jeziku za optimizaciju - EPLANopt. Rezultati predstavljeni u istraživanju pokazuju nužnost kontinuirane implementacije varijabilnih kapaciteta proizvodnje kao i tehnologija odziva na potražnju, uglavnom V2G.

- Groppi, Daniele ; Feijoo, Felipe ; Pfeifer, Antun ; Astiaso Garcia, Davide ; Duić, Neven. **Analyzing the impact of demand response and reserves in islands energy planning** // Energy (Oxford), 278 (2023), 127716, 11. doi: 10.1016/j.energy.2023.127716, otvoreni pristup

Sažetak:

Mali otoci obično se oslanjaju na fosilna goriva za opskrbu energijom i suočavaju se s uobičajenim izazovima kao što su visoki troškovi energije i emisije ugljičnog dioksida. Iz tih razloga oni predstavljaju zanimljive slučajeve za analizu tranzicije prema čistom i sigurnom energetske sustavu. Unatoč tome, integracija obnovljivih izvora energije bez mogućnosti dispečera u elektroenergetsku mrežu uzrokuje probleme sa stabilnošću,

a to posebno vrijedi za otočne mreže. Takvo pitanje nije u potpunosti razmotreno u dugoročnom energetske planiranju; doista, rezerve su važan čimbenik koji treba uzeti u obzir kako bi se osigurala pouzdanost mreže. Postoje različite vrste rezervi ovisno o vremenu reaktivnosti/odgovora i trajanju usluge. U ovom su radu analizirane primarne i sekundarne rezerve kako bi se planirala dugoročna energetska tranzicija malog otoka Favignana u Italiji pomoću nove verzije H2RES-a, modela optimizacije s jednim ciljem linearnog programiranja koji može pružiti dugoročna ulaganja u kapacitete i optimizacija dispečiranja. Utvrđeno je da su generatori na biomasu favorizirani u odnosu na fotonaponske i vjetroturbine zbog svoje sposobnosti osiguravanja rezervi i smanjenja nepredvidivosti opskrbe. Baterije i elektrolizatori također se uglavnom koriste za osiguranje rezerve.

1.2. Dodatni radovi

5. Herc, L, Pfeifer A, Duić N, Wang F. Economic viability of flexibility options for smart energy systems with high penetration of renewable energy, *Energy*, Volume 252, 2022, 123739, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123739>.

Sažetak:

Od potpisivanja Pariškog klimatskog sporazuma, Europska unija je doprinijela povećanju udjela obnovljive energije u svojem energetske miksu i ograničenju globalnog zagrijavanja na 2 °C. Osim toga, Europska unija je s donošenjem "Europskog zelenog plana" postavila plan za prijelaz na ugljično neutralno gospodarstvo do 2050. godine, što se planira postići implementacijom kapaciteta za proizvodnju obnovljive energije i paralelnom implementacijom spajanja sektora, balansiranja energije i tehnologija skladištenja. Te tehnologije su potrebne kako bi se izbjeglo pojavljivanje novih problema poput smanjenja i ugrožavanja stabilnosti sustava. Primjena ovih tehnologija može varirati zbog njihovih radnih karakteristika kao i troškova povezanih s njima. Cilj ovog istraživanja je pokazati najekonomičniju dinamiku postizanja visoke penetracije obnovljive energije u kombinaciji s različitim opcijama fleksibilnosti na studiji slučaja. Primjena opcija fleksibilnosti se razmatra s ciljem održavanja kritičnog viška proizvodnje električne energije unutar 5% od ukupne potražnje za električnom

energijom. Simulacije se izvode kombinacijom softvera za planiranje energije EnergyPLAN i softvera za optimizaciju EPLANopt.

Rezultati pokazuju da su najučinkovitije tehnologije V2G, pametno punjenje, poboljšanja energetske učinkovitosti i pohranjivanje energije.

6. Pfeifer, Antun; Feijoo, Felipe; Duić, Neven. Fast energy transition as a best strategy for all? The nash equilibrium of long-term energy planning strategies in coupled power markets // Energy (Oxford), 284/2023 (2023), 1; 129109, 12. doi:

10.1016/j.energy.2023.129109

Sažetak:

Istraživanje povezuje planiranje razvoja energetskeg sustava s tržištima energije za sljedeći dan, spajanjem tržišta i integracijom obnovljivih izvora energije, s novim pristupom temeljenim na teoriji igara. Predlaže se dvostupanjska metoda za donošenje odluka o dugoročnoj energetskeg strategiji. U prvoj fazi, simuliraju se četiri hipotetičke zone koristeći model optimizacije operacija energetskeg sustava, s naglaskom na tokovima električne energije. U drugoj fazi koristi se teorija igara za odabir najbolje strategije zone spojene na tržište. Igra koja odražava dinamiku prijelaza, integraciju obnovljivih izvora i odziv na potražnju formulirana je u drugom koraku pristupa, gdje svaka od četiri zone ima dvije moguće strategije (brzi ili spori prijelaz), što rezultira s 16 skupova strategija (scenarija). Rezultati demonstriraju izvodljivost određivanja Nashove ravnoteže, poboljšavajući odlučivanje u usporedbi s prethodnim metodama. Za promatrani hipotetički slučaj, pronađena je čista Nashova ravnoteža, gdje sve zone odabiru brzu energetskeg tranziciju.

2. RADOVI NA ZNANSTVENIM KONFERENCIJAMA

Na međunarodnim konferencijama, prezentirano je 11 radova prema popisu:

1. Koričan, Marija; Herc, Luka; Pfeifer, Antun

Long-term Influence of the Gradual Naval Fleets Decarbonization on the Configuration of the Energy System // Digital Proceedings of the 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Zagreb: SDEWES, 2023

Sažetak:

Kako bi se postigao prijelaz prema ekonomiji s nultom emisijom ugljika te ostalih stakleničkih plinova kao poboljšala kvaliteta života na obalnim područjima, decarbonizacija različitih navalnih flota bit će ključna. U ovom istraživanju, provodi se istraživanje postupne decarbonizacije uz korištenje različitih hibridnih, električnih i vodikovih tehnologija za decarbonizaciju pomorskih flota koje sudjeluju u aktivnostima poput ribolova, prijevoza putnika i prijevoza tereta uz obalu. Modeliranje se provodi u vezi s konfiguracijom energetske sustava. Analiza energetske sustava te same simulacije se provode u H2RES modelu, softveru za optimizaciju konfiguracije i pogona energetske sustava. U ovom slučaju, modul sektora transporta se proširuje kako bi omogućio realno modeliranje potrošnje energije različitih pomorskih flota. To se postiže implementacijom krivulja učenja primjene različitih tehnologija koje se očekuju u pomorskom prijevozu sa svrhom zamijene starijih pogonskih sustava temeljenih na motorima s unutarnjim izgaranjem (ICE). Također, koriste se ulazni podaci u obliku krivulja koji opisuju distribucije potražnje kao i razina dostupnosti na punjenje u različitim vrstama flota (prijevoz putnika, prehrambena industrija, prijevoz tereta). Rezultati prikazuju promjene u integraciji varijabilnih obnovljivih izvora energije, pregled ekonomskih koristi implementacije navedenih tehnologija kao i smanjenje emisija.

Rezultati pokazuju da prezentirani pristup može ponuditi bolji uvid u promjene koje su potrebne u energetske sustavu temeljenom na obnovljivim izvorima energije, u slučaju detaljnog modeliranja energetske potreba koje naglašavaju različite pomorske flote i različite dinamike njihove dekarbonizacije. Internalizacijom svih troškova,

rezultirajući sustav također postiže bolje ekonomske rezultate u cjelini i s perspektive detaljnih analiza.

2. Feijoo, Felipe; Flores, Francisco; Pfeifer, Antun; Herc, Luka

Tradeoffs between economy wide future net zero and net negative economy systems: The case of Chile // Digital Proceedings of the 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Zagreb: SDEWES, 2023
Sažetak:

S obzirom na moguće ekonomske posljedice, siromašnije zemlje imaju više izazova u ispunjavanju svojih nacionalno određenih doprinosa. Kao zemlja u razvoju, Čile se obvezao postići ugljičnu neutralnost do 2050. Iako je Čile proveo nekoliko mjera ublažavanja, uključujući postupni prestanak korištenja ugljena do 2040., vrhunac emisija do 2025. i povećanje proizvodnje obnovljive energije, još uvijek se uvelike oslanja na sekvestraciju ugljika, s ciljem sekvestriranja oko 65 milijuna metričkih tona CO₂ do 2050. Srećom, Čile ima ogroman potencijal obnovljive energije, uglavnom iz solarnih, vjetrovitih i geotermalnih izvora, koji, ako se u potpunosti iskoriste, mogu zemlju usmjeriti prema kontekstu neto negativnih emisija. Napredni integrirani model (IAM), GCAM-Čile, koristi se u ovom istraživanju za istraživanje učinaka i potrebnih razina ulaganja u zelenu energiju za postizanje scenarija neto negativnih emisija. Rezultati se uspoređuju sa scenarijima koji su usklađeni s ciljem ugljične neutralnosti, istražujući i procjenjujući scenarije duboke dekarbonizacije. Rezultati istraživanja pokazuju da je postizanje neto nultih emisija do 2050. izvedivo, međutim postizanje neto negativnih emisija ovisit će o postojećem kapacitetu sekvestracije i primjeni ekonomskih poticaja za poticanje razvoja zelene energije u Čileu, kao i za poticanje takve zelene energije, u obliku električne energije ili e-goriva, u sektore krajnje potražnje koje je teško dekarbonizirati, kao što su transport, rudarstvo te industrijski sektori.

3. Herc, Luka; Pfeifer, Antun; Feijoo, Felipe

Influence of demand-side flexibility in electricity demand sectors on deployment of flexibility options - a long-term energy systems' modelling perspective // Digital Proceedings of the 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Zagreb: SDEWES, 2023

Sažetak:

Prijelaz energetske sustava prema obnovljivoj energiji predstavlja mnoštvo izazova. Ključni izazovi dolaze s aspekta upravljanja varijabilnošću proizvodnje i povezivanjem varijabilne proizvodnje s sektorima potražnje električne energije.

Ovo istraživanje ispituje rezultate implementacije sveobuhvatne fleksibilnosti potražnje na strani potrošača u energetske sustavu koji prolazi kroz energetske tranzicije. Analiza sustava i simulacije provode se u modelu H2RES. Model H2RES je linearni optimizacijski program. Uzima u obzir proširenje kapaciteta, zatvaranje i pogon jedinica u sektorima proizvodnje električne energije, grijanja, industrije i transportnog sektora. U istraživanju, fleksibilnost potražnje određuje se odabirom sektora potražnje električne energije, dozvoljenim vremenskim prozorom za fleksibilno izmicanje potražnje i dozvoljenim varijacijama u isporučenoj energiji u usporedbi s početnom distribucijom potražnje sustava. Također, elastičnost potražnje električne energije simulira se kroz mogućnost postojanja nezadovoljene potražnje.

Početni rezultati pokazuju da slučajevi s većom fleksibilnošću u izmicanju potražnje i variranju opterećenja investiraju manje u nove kapacitete proizvodnje i druge opcije fleksibilnosti. Također, sustav je povoljniji. S druge strane, kada je fleksibilnost potražnje ograničena, model ulaže manje u proizvodnju, ali više u kapacitete fleksibilnosti kako bi kompenzirao nedostatak fleksibilnosti potražnje. Također, ukupni troškovi energetske sustava s većim ograničenjima u korištenju fleksibilnosti potražnje su veći.

4. Herc, Luka; Lund, Henrik; Thellufsen, Jakob Zinck, Duić, Neven

Comparing Variable Generation and Electricity Load Distributions in EU Markets // Digital Proceedings of the 18th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. Zagreb: SDEWES, 2023

Sažetak:

Sustavi proizvodnje energije, djelujući kao temelj energetske tranzicije, moraju proći promjene kako bi mogli zadovoljiti energetske zahtjeve za dekarbonizaciju ostalih energetske sustava. Ti sustavi su odgovorni za opskrbu čistom i pouzdanom energijom sektora kao što je grijanje, industrija i prijevoz. Nadalje, energija korištena za proizvodnju različitih sirovina i goriva za druge sektore mora potjecati iz elektroenergetskog sustava. Proizvodnja električne energije iz varijabilnih izvora

obnovljive energije predstavlja izazov zbog njihove inherentne varijabilnosti na lokalnoj razini. Postizanje 100% obnovljivih energetske sustava ovisi o učinkovitom iskorištavanju ovih izvora. Ovo istraživanje istražuje podatke koji se odnose na proizvodnju električne energije iz postojećih vjetroelektrana te fotonaponskih solarnih elektrana na europskoj razini te manjim geografskim podjelama koje odgovaraju trenutnim podjelama tržišta energije. Dodatno, istraživanje uspoređuje podatke o distribuciji proizvodnje s postignutim opterećenjima u mreži. Rezultati istraživanja pokazuju da se razlike u faktorima opterećenja energije vjetra i energije sunca ublažavaju kada se promatraju na većim geografskim skalama. Također je prikazano da je proizvodnja vjetra stabilna i može se smatrati kao osnovno opterećenje na dovoljno velikoj geografskoj skali. Nadalje, istraživanje ističe da se kapaciteti potrebni za zadovoljenje svih opterećenja, čak i bez razmatranja skladištenja energije, smanjuju s proširenjem geografske skale, naglašavajući značaj širenja prijenosnih mreža. Istraživanje otkriva da je povećanje potrebnih kapaciteta instalacija uglavnom uzrokovano malim brojem sati karakteriziranih značajnim razlikama između proizvodnje i potražnje električne energije. Isključivanjem ovih podataka, istraživanje pokazuje da se većina zahtjeva za električnom energijom može zadovoljiti ovim pristupom, s ograničenim oslanjanjem na fleksibilnost s potrošačke strane, opcije fleksibilnosti i skladištenje energije.

5. Pfeifer, A, Herc, L, Feijoo F. Long-term Optimization of the Energy Systems' Configuration in the Conditions of a Coupled Electricity Market, 2022, Digital Proceedings of the 4th South East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems - SDEWES / Ban, Marko (ur.). Zagreb, 14

Sažetak:

Svake godine zajedničko tržište električne energije u Europi raste po broju korisnika i složenosti ponuđenih usluga. To će dovesti do međuzonalnih razmjena energije koje će zamijeniti lokalna tržišta, pružajući priliku za povećanje ukupnog blagostanja u trgovanju energijom kroz spajanje tržišta i cjenovno spajanje regija. U ovom istraživanju, ovaj trgovački okvir uzima se u obzir kao okruženje za dugoročno modeliranje i optimizaciju konfiguracije nacionalnog energetske sustava. Analiza sustava i simulacije provode se u modelu H2RES. Model predstavlja energetske sustav

i minimizira ukupne troškove ulaganja u kapacitete, preko svih tehnologija, i operativne troškove nastale u zadovoljavanju razina potražnje. Modelirani su i različiti sektori potražnje i njihove međusobne veze. Posebno, eksplicitno razmatramo veze između električne energije, sustava grijanja, elektro-goriva (vodik) i V2G. Sve opcije čine H2RES najdetaljnijim modelom za optimizaciju konfiguracije dugoročnog energetskeg sustava koji je dostupan u verziji otvorenog koda online. Novom metodom omogućeno je uzimanje u obzir okolnih sustava, njihovih konfiguracija i energetskih bilanci. Na ovaj način, novi modul H2RES-a može optimizirati buduću konfiguraciju nacionalnog energetskeg sustava, ovisno o konfiguracijama okolnih energetskih sustava, što je prikladan okvir za međusobno povezane i tržišno spregnute energetske sustave. Model se koristi za analizu hrvatskog energetskeg sustava pod različitim politikama dostizanja ciljanih razina udjela OIE i ciljeva smanjenja CO₂, uzimajući u obzir i uobičajene konfiguracije okolnih energetskih sustava, kao što je Slovenija između 2020. i 2050. u desetogodišnjim koracima. Rezultati pokazuju kako takav pristup nudi realističnije konfiguracije energetskeg sustava, uzimajući u obzir njegovo stvarno okruženje u usporedbi s uobičajenim pristupom s "ostatkom svijeta" kao vanjskim tržištem.

6. Herc, L, Pfeifer, A, Feijoo F. The influence of different statistical transport modelling strategies on the energy system, 2022, Digital Proceedings of the 4th South East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems - SDEWES / Ban, Marko (ur.). Zagreb, 12

Sažetak:

Svjetski transportni sustavi spadaju među glavne izvore emisije stakleničkih plinova kao i samo zagađenje. Stoga se ti sustavi postupno dekarboniziraju. Dekarbonizacija transportnih sustava postiže se uvođenjem električnih vozila ili vozila na vodik, što uključuje i sintetička goriva. Elektrifikacija transportnog sektora generira dodatnu potražnju za električnom energijom koja se također može koristiti u uslugama balansiranja energetskeg sustava. Stoga, s daljnjom integracijom transportnog sektora u elektroenergetski sektor, bilo elektrifikacijom ili korištenjem vodika, dodatni naglasak se stavlja na određivanje i planiranje potražnje za transportom.

Ovo istraživanje ispituje utjecaj različitih vozničkih ciklusa vozila dobivenih statističkom analizom na energetske sustave. Analiza sustava i simulacije provode se u modelu H2RES. Model H2RES je linearni program optimizacije. On razmatra proširenje

kapaciteta, dekomisiju u sektorima proizvodnje energije, grijanja, industrije i transportnog sektora. Potražnja za transportom dijeli se između baterijskih električnih vozila, vozila na gorive ćelije na vodik i vozila na fosilna goriva s unutarnjim izgaranjem. Svaka od opcija ima definirane tehničke i ekonomske karakteristike kao i ograničenja. Glavni očekivani utjecaj različitih krivulja odražava se kroz primjenjivost usluga balansiranja energetskeg sustava kao što su V2G i skladištenje vodika. Definiranje karakteristika primjenjivosti dane tehnologije u balansiranju energetskeg sustava je njezino razdoblje dostupnosti na mreži. Nadalje, dostupnost transportnog modula za balansiranje energetskeg sustava uvjetuje ostatak modela u različite strategije ulaganja. Početni rezultati pokazuju da model nije vrlo osjetljiv na promjene u korištenim raspodjelama potražnje za transportom i dostupnosti punjenja.

7. Herc, Luka ; Perković, Luka ; Pukšec, Tomislav. Modelling decarbonisation of transport sector with method for assessing vehicle driving cycles based on real GPS data // Digital Proceedings of the 5th SEE Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems / Ban, Marko et. al. - Zagreb : SDEWES, 2022 / Ban, Marko et. al. (ur.). Zagreb, 2022

Sažetak:

Ovo istraživanje predstavlja novu metodu za statističku evaluaciju sintetičkih voznih ciklusa za mala i srednja vozila, temeljenu na stvarnim voznim ciklusima zabilježenim putem GPS-a s rezolucijom od pet sekundi. Zabilježeni podaci se obrađuju kako bi se mogli koristiti kao ulaz za planiranje potrošnje energije električnih vozila na baterije i strategije punjenja u režimima običnih, pametnih i V2G (Vehicle-to-Grid). Početna statistička analiza pokazuje da je satna distribucija među različitim vozilima najbolje predstavljena gama distribucijom. Međutim, zbog manje količine podataka zabilježenih s GPS-a, sintetički vozni ciklusi se podudaraju s mjerenjima podataka s korelacijom od 0.5 i 0.8 za radne dane tj. za vikende. Ovaj nedostatak se može izbjeći s više podataka snimljenih tijekom istraživanja na temu i posljedičnim ponovnim podešavanjem parametara distribucije.

8. Feijoo, Felipe ; Pfeifer, Antun ; Herc, Luka ; Groppi, Daniele ; Duić, Neven. An MIP Model with Endogenous Capacity Investment for Energy Transition Pathways - Interrelation Between Power-to-X, demand Response and Market Coupling //

Proceedings of 16th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems – SDEWES / Ban, Marko et. al. (ur.). Zagreb: SDEWES, 2021

Sažetak:

Ovo istraživanje predlaže novi model dugoročnog energetskeg planiranja s endogenim ulaganjima u kapacitete i raspodjelom energije uzimajući u obzir tehnologije Power-to-X i odziv potražnje. Model predstavlja energetske sustav i minimizira ukupne troškove ulaganja u kapacitete, za sve tehnologije, kao i operativne troškove nastale u zadovoljavanju svih razina potražnje. Modelirani su i različiti sektori potražnje i njihove veze. Posebno, razmatraju se veze između proizvodnje električne energije, topline i elektro-goriva (vodik) te V2G. Model se koristi za analizu hrvatskog energetskeg sustava pod različitim politikama razina OIE i ciljeva smanjenja CO₂. Pokazuje se da Power-to-X doista pruža potrebnu fleksibilnost novim dodacima kapaciteta varijabilnih obnovljivih izvora, dosežući kompozicije sustava s nižim razinama kritičnog viška proizvodnje energije. Baterijsko skladištenje i strategije Power-to-heat se uvelike usvajaju za udjele obnovljivih izvora i uštede CO₂ oko 80%, dok su ispod takvih vrijednosti njihova usvajanja ograničena. Također, tehnologije power-to-heat postaju dominantne kada je potrebno ograničenje emisija CO₂ sektora grijanja, posebno kada udio obnovljivih izvora u električnoj energiji doseže vrijednost od 60%.

9. Herc, Luka ; Pfeifer, Antun ; Feijoo, Felipe ; Ridjan Skov, Iva Ridjan ; Mikulčić, Hrvoje The Role of Alternative Fuels in Transport Sector and Industry Sector, Examination in H2RES Energy Model // Digital Proceedings of the 17th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems / Ban, Marko et. al. (ur.). Zagreb: SDEWES, 2022

Sažetak:

Sektori prijevoza i industrije diljem svijeta među su glavnim izvorima emisija stakleničkih plinova kao i samog onečišćenja. Stoga, ti sektori moraju biti dekarbonizirani. Dekarbonizacija sektora prijevoza i industrije postiže se uvođenjem obnovljivih goriva kao i uvođenjem rješenja temeljenih na električnoj energiji. Rješenja bazirana na električnoj energiji uključuju nositelje energije stvorene upotrebom električne energije. To su vodik i elektrogotiva. Također se razmatra uloga trenutno korištenih fosilnih goriva. Stoga, istraživanje u sektoru prijevoza istražuje prijelaz sa sektora gotovo potpuno baziranog na fosilnim gorivima prema rješenjima koja koriste

električnu energiju. Slična analiza postiže se i za industrijski sektor. Sistematska analiza i simulacije provode se u H2RES modelu. H2RES model je linearni program optimizacije. On razmatra širenje kapaciteta, zatvaranje postrojenja i obvezivanje jedinica u sektorima proizvodnje energije, grijanja, industrije i sektora prijevoza. U svrhu ovog istraživanja, model je proširen kako bi uključio modeliranje elektrogoriva. Početni rezultati pokazuju da se većina sustava prijevoza prelazi na vozila na baterijski električni pogon, dok se preostali dio napaja vodikovim gorivim ćelijama i elektrogorivima. S druge strane, industrijski sektor prikazuje većinu procesa koji prelaze prema vodiku. Doprinos ovog istraživanja odražava se kroz sposobnost davanja donositeljima politika alata sposobnog za izvođenje odluka o razvoju energetskeg sustava, posebno u dijelovima sektora koji se ne mogu lako elektrificirati. Također, modeliranje dodaje razinu osiguranja u pogledu sposobnosti transformacije sektora poput industrije čak i bez ulaganja u novu opremu.

10. Herc, Luka ; Pfeifer, Antun ; Feijoo, Felipe The Management of an Energy System in the Realm of Energy Crisis and Strategies to Mitigate the Influence of Crisis, Examination in H2RES Energy Model // Digital Proceedings of the 17th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems / Ban, Marko et. al. (ur.). Zagreb: SDEWES, 2022

Sažetak:

Energetski sustav u Europi suočava se s velikim izazovima. Iako je prijelaz na obnovljivu energiju u tijeku, još uvijek značajan dio energije dolazi iz fosilnih goriva, uglavnom prirodnog plina. U drugoj polovici 2021. godine, opskrba prirodnim plinom i posljedično stopa dopunjavanja rezervi smanjila se. Oskudica prirodnog plina rezultirala je rekordno visokim cijenama energije kao i povećanjem cijena dobara. Posebno su pogođeni industrijski sektori koji ovise o prirodnom plinu, kao što je petrokemijska industrija.

Ovo istraživanje istražuje strategije ublažavanja krize u energetskeg sustavu Europske unije, dok istovremeno osigurava niske troškove energetskeg sustava i ispunjenje ciljeva energetske tranzicije. Sistematska analiza i simulacije provode se u H2RES modelu. H2RES model je linearni program optimizacije. On razmatra širenje kapaciteta, zatvaranje postrojenja i obvezivanje jedinica u sektorima proizvodnje energije, grijanja, industrije i sektora prijevoza.

Početni rezultati pokazuju da sustav teži ubrzanom ispunjenju ciljeva energetske tranzicije. Stoga se smanjuje ovisnost o stabilnoj opskrbi prirodnim plinom. Također, očekuje se da će ukupni trošak energetskog sustava s ograničenjima biti viši.

11. Pfeifer, Antun; Pavičević, Matija; Quoilin, Sylvain; Schneider, Daniel Rolph. Role of Power to Heat Systems in Energy Transition: Case Study of South East Europe // Digital Proceedings of the 4th South East European Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems - SDEWES / Ban, Marko (ur.). Zagreb, 2020. 0026, 23

U energetske sustavima u prijelazu s opskrbe energijom na bazi fosilnih goriva na sustave koji se temelje na varijabilnim obnovljivim izvorima energije, od posebnog su interesa i važnosti tehnologije koje mogu ponuditi balansiranje i skladištenje. Takve tehnologije uključuju koncept power-to-heat, nudeći mogućnost korištenja viška varijabilne proizvodnje obnovljive električne energije za transformaciju u toplinsku energiju zagrijavanjem vode u spremnicima uz kogeneracijska postrojenja. Ova uporaba je od interesa i kao izvor energije za sustave daljinskog grijanja, gdje se smanjuje potreba za upotrebom goriva. Ovo istraživanje predlaže korištenje tehnologija power-to-heat u objektima koji proizvode električnu energiju i toplinu za daljinsko grijanje, čime se nudi uravnoteženje elektroenergetskog sustava. Uloga takvih objekata u planiranju razvoja energetskog sustava istražuje se uzimajući u obzir buduće trendove u troškovima emisija CO₂. Kako bi se istražila ova uloga i kvantificirala je, u ovoj studiji korišten je pristup scenarija i optimizacija graničnog troška proizvedene energije. Za izradu modela međusobno povezanih tržišnih zona korišten je softver Dispa-SET. Područje studije slučaja jugoistočne Europe uključuje nekoliko nacionalnih energetske sustava povezanih na zajedničkom tržištu, s baznom godinom 2015. za verifikaciju i budućim scenarijem 2030. stvorenim za scenarij visoke integracije OIE i korištenje postrojenja za kombiniranu proizvodnju topline i električne energije opremljenih električnim to-heat tehnologija u zemljama jugoistočne Europe. Rezultati pokazuju broj sati u kojima su takvi objekti otpremljeni i proizvode energiju, stanje napunjenosti spremnika topline za iskorištavanje energije u toplinu i ukupnu proizvodnju iz takvih objekata, kao i brzinu promjene goriva u uvjetima različitih cijene emisija CO₂. Ovi

parametri mogu ponuditi čvrstu osnovu za zaključke o ulozi takvih objekata u energetskeim sustavima u tranziciji.