Ta prispevek je bil objavljen v Sobotni prilogi Dela, 3.6.2023 s spremenjenim naslovom:

»Jedrska energija? Čas je za temeljit pogovor«

**Sonce in veter proizvajata najcenejšo elektriko**

**Oblikovanje dolgoročne energetske politike zahteva pregledno in demokratično razpravo brez jedrske ideologije**

**Zoran Kus**

Evropa in ZDA so v zadnjih dvajsetih letih, predvsem zaradi nizke cene energije fosilnih goriv (premoga, nafte, plina), ki je ignorirala njihove ekstremno visoke emisije ogljika, popolnoma opustile in zanemarile razvojne ter tehnične kapacitete civilne jedrske industrije. To se je pokazalo na poraznih rezultatih, milijardnih dodatnih stroških in tudi do dvajset let dolgih rokih projektiranja in gradnje vseh jedrskih elektrarn tako v Franciji, na Finskem, v Združenem kraljestvu in ZDA, ki jih v tem obdobju lahko preštejemo na prste ene roke. Serijsko gradnjo jedrskih elektrarn zadnje generacije (GEN III) z zmernimi stroški in krajšim časovnim obdobjem danes obvladata zgolj Kitajska in Rusija na domačem terenu. Zaradi nove geopolitične bipolarnosti sveta, še zlasti po začetku vojne v Ukrajini, pa zahodne države niso le nenaklonjene gradnji jedrskih elektrarn s strani Kitajske in Rusije po svetu, ampak dovoljujejo zgolj gradnjo le-teh s strani Francije (EDF) in ZDA (Westinghouse), ki danes ostajata še edina, čeprav enormno draga, tehnično in tehnološko zelo slabo usposobljena, in popolnoma nekonkurenčna ponudnika na zahodnem trgu. Francosko državno podjetje Électricité de France – EDF, ki je že vrsto let v velikih finančnih težavah, je zgolj v letu 2022 zabeležilo kar 18 milijard evrov izgube, zato brez državne pomoči ne more preživeti. Ameriško jedrsko podjetje Westinghouse pa je po stečaju v letu 2018 za 8 milijard dolarjev kupilo podjetje Brookfield iz Kanade.

**Glavni kriteriji za razogljičenje energetskega sistema morajo biti: cena, čas, ogljik in trajnost**

Projekti gradnje novih jedrskih elektrarn so v primerjavi z velikimi sončnimi in vetrnimi elektrarnami nekonkurenčni in nekajkrat dražji na enoto moči (v kW) glede na vloženi evro za zeleni prehod, razogljičenje energije in zmanjševanje emisij ogljika (CO2). Izravnana cena elektrike (LCOE) iz novih jedrskih elektrarn, ki bi jih začeli graditi danes, bi bila povprečno 3 do 4 krat višja kot iz novih velikih sončnih in vetrnih elektrarn (kriterij cena). Gradnja novih jedrskih elektrarn, ki so v postopku planiranja, bi bila bistveno prepozna za nujno, pospešeno in pravočasno razogljičenje energetske industrije najkasneje do leta 2035 za dosego cilja 1,5 stopinje C Pariškega sporazuma (kriterij čas).

Celotni projekt nove jedrske elektrarne povzroči povprečno 130 gCO2/kWh (skupnih emisij ogljika na kilovatno uro proizvedene elektrike), medtem ko nove vetrne elektrarne povzročajo povprečno zgolj 11, sončne elektrarne pa povprečno 17 gCO2/kWh, kar je 12-krat oz. 8-krat manj kot jedrske elektrarne (kriterij ogljik). Jedrska (fisijska) tehnologija ni zelena in ni trajnostna, saj na naslednje generacije kot »večno jedrsko breme« v celoti prenaša reševanje in astronomske stroške odlaganja smrtonosnih visoko radioaktivnih odpadkov in nujnega nadzora (monitoringa) za več tisoč let, kar je nemoralno in v nasprotju z Ustavo (pravica do zdravega življenjskega okolja) ter z mednarodno Konvencijo o varstvu človekovih pravic in temeljnih svoboščin (kriterij trajnosti in ustavnosti). Sončne in vetrne elektrarne izpolnjujejo vse štiri glavne kriterije za razogljičenje energetskega sistema (cena, čas, ogljik in trajnost), jedrske elektrarne pa nobenega.

Nove strokovne analize, kot navedeno, kažejo (Mark Z. Jacobson, 2023), da so emisije ogljika jedrske tehnologije, ki nastanejo v celotnem življenjskem ciklu (*lifecycle emissions*), torej v času gradnje, delovanja in razgradnje elektrarne, mnogo višje kot iz sončnih in vetrnih elektrarn. Emisije ogljika za projekt jedrskega reaktorja namreč vključujejo tudi emisije iz rudarjenja, prevoza in procesiranja jedrskega goriva, ki jih pri sončnih in vetrnih elektrarnah ni. Dodatno pa jedrska tehnologija povzroča tudi »emisije oportunitetnih stroškov«, ki nastanejo v času večletnega projektiranja in nato dolgoletne gradnje jedrske elektrarne v primerjavi z mnogo krajšim časom za gradnjo vetrnih in sončnih elektrarn.

Po strokovnih analizah je v Evropi in ZDA v zadnjih dvajsetih letih časovno obdobje od planiranja do začetka delovanja novega jedrskega reaktorja 17 do 22 let. Krajše obdobje (približno 10 let) je zgolj na Kitajskem (predvsem zaradi serijske gradnje jedrskih reaktorjev zgolj na domačem terenu). Za velike vetrne in sončne elektrarne je povprečno časovno obdobje 2 do 5 let, za strešne sončne panele (PV) do 6 mesecev, za geotermalno tehnologijo 3 do 6 let, za velike hidroelektrarne pa 8 do 16 let.

**Stroški projekta nove jedrske elektrarne Krško - JEK 2 bi presegli 17 milijard evrov**

Nova analiza svetovne finančne svetovalne hiše Lazard navaja (*Levelized Cost of Energy+, Lazard, April 2023*), da so napovedani povprečni skupni stroški kapitala za gradnjo novih jedrskih elektrarn tretje generacije (GEN III / GEN III+) v rangu 8.500 do 14.000 dolarjev na kilovat - USD/kW moči, ali povprečno 11.250 USD/kW (kar predstavlja 10.400 EUR/kW po tečaju dolarja - maj 2023). Gre za skupne stroške kapitala – *total capital costs*, ki vključujejo »stroške kapitala izgradnje preko noči« - *overnight construction costs - OCC*, ter povprečne stroške financiranja - ceno kapitala za celotno obdobje gradnje jedrskega reaktorja.

Na osnovi Lazardove analize bi za 1200 megavatni (MW) jedrski reaktor (model AP1000, Westinghouse, ZDA, ki ga državno podjetje Gen energija, nosilka jedrskega programa v Sloveniji, že vrsto let navaja kot prvo izbiro za JEK2) bili povprečni skupni stroški kapitala 12,5 milijard evrov. Celotni stroški projekta (vključno z obratovalnimi, zunanjimi – *external costs* ter vsemi ostalimi stroški, in stroški razgradnje JEK2, a brez stroškov geološkega skladiščenja visoko radioaktivnih odpadkov), pa 19 milijard evrov (povprečni skupni stroški kapitala predstavljajo od 60 do 70 odstotkov celotnih stroškov projekta). Za 1600 MW reaktor (model EPR1200, EDF, Francija, katerega Gen energija vrsto let navaja kot drugo izbiro za JEK2) bi skupni stroški kapitala dosegli 16,5 milijard evrov, celotni stroški projekta pa že enormnih 25 milijard evrov. Predvidena modela za JEK2 (oba sta tip PWR) bi proizvedla približno 9 oziroma 12 teravatnih ur (TWh) elektrike na leto. Sedanji 700 MW reaktor v Krškem - NEK namreč proizvede približno 6 TWh letno, od teh polovica pripada Hrvaški.

Povprečni skupni stroški kapitala za projekt JEK2 za 1100 MW reaktor, ki ga navaja energetsko dovoljenje bivše vlade za JEK2 iz julija 2021, bi bili okrog 11,5 milijard evrov, celotni stroški projekta pa bi presegli 17 milijard evrov. Ta ocena predstavlja 3 do 5-krat višje celotne stroške, kot jih je za projekt JEK2 že pred več kot 15 leti ocenilo podjetje Gen energija (3,5 do 5 milijard evrov, ki je močno zastarela in bistveno podcenjena). Nove ocene Gen energija ne želi objaviti, med neuradnimi ocenami pa še vedno kroži mnogo prenizek strošek 5-7 milijard evrov.

Celotni stroški projekta JEK2 bi bili približno 12-krat višji kot za šesti blok termoelektrarne Šoštanj (TEŠ 6). Na enako moč v kilovatih (kW) bi bili ti stroški približno za 11-krat višji kot za nove velike komunalne (*utility scale*) sončne elektrarne; in 8-krat višji kot za nove velike vetrne elektrarne (vetrne farme ali parki na kopnem - *onshore*), oz. najmanj 3-krat višji glede na količino proizvedene elektrike (pri trenutnem faktorju zmogljivosti sončnih in vetrnih elektrarn, ki pa se hitro povečuje). Projekt JEK2, ki bi presegel 17 milijard evrov, bi bil ekonomsko nevzdržen, saj bi predstavljal več kot eno četrtino (29% v letu 2022) letnega bruto domačega proizvoda Slovenije - BDP, oz. več kot je letni proračun države. Zaradi zelo velike obremenitve državne blagajne bi bil ta projekt v nasprotju s fiskalnimi pravili Slovenije in Evropske unije. Na svetu ni države, ki bi več kot četrtino svojega letnega BDP namenila zgolj za en visoko tvegan energetski projekt. JEK2 bi zagotovo predstavljal nasedlo naložbo z velikimi finančnimi izgubami.

Tudi »nove« tehnologije (ki niso nove, saj koncepti in prototipi reaktorjev obstajajo že več desetletij), ki jih jedrska industrija danes poudarjeno najavlja (kot je četrta generacija reaktorjev – GEN IV, in tako imenovani mali modularni reaktorji – SMR *– Small Modular Reactors*), ugotovitev glede ekonomske nekonkurenčnosti jedrske industrije ne spremenijo. Celo nasprotno, celotni stroški za SMR (velikosti 50-300 MW) naj bi bili glede na megavat moči mnogo višji kot za velike jedrske reaktorje (predvsem zaradi fiksnih varnostnih stroškov, ki so enaki kot za velike, in drugih stroškov). Trenutno je na svetu v razvoju več kot 70 različnih tehnologij SMR brez medsebojnih povezav in zato brez možnosti za prevladujoče jedrske licence. Po mnenju stroke je morebitni stroškovno-učinkoviti komercialni prihod SMR na trg čez deset ali petnajst let minimalen, za pravočasno razogljičenje energije pa mnogo prepozen.

**Velika prekoračitev prve ocene stroškov in rokov izgradnje novih jedrskih elektrarn**

Vsako dodatno leto zamude pri gradnji jedrskega reaktorja nad prvo časovnico (ki je vedno preveč optimistična in nerealna) povzroči povečanje stroškov financiranja projekta približno za 500 milijonov evrov za velikost reaktorja 1000 MW. Statistika kaže, da po jedrski nesreči v Černobilu nobena jedrska elektrarna v zahodnih državah ni bila zgrajena v predvidenem roku in v okviru prve ocene stroškov pred začetkom gradnje. Med novimi reaktorji, ki so še v gradnji v ZDA in Evropi, največje povečanje stroškov za 500 odstotkov beležita reaktorja Vogtle 3 in 4 v ZDA (skupno s 6,1 na 30 milijard dolarjev); in po oceni francoskega računskega sodišča tudi reaktor Flamanville 3 v Franciji (s 3,3 na 19,1 milijarde evrov), reaktor Olkiluoto 3 na Finskem za 300 odstotkov (s 3 na 12 milijard evrov); dva reaktorja Hinkley point C v Združenem kraljestvu pa za skoraj 200 odstotkov (skupaj z 20 na 38 milijard evrov). Gradnjo reaktorja V.C. Summer v Južni Karolini v ZDA pa so zaradi enormnega povečanja prve ocene stroškov v letu 2017 dokončno ustavili, čeprav je bilo porabljenih že 9 milijard dolarjev, kar je povzročilo stečaj podjetja Westinghouse.

Čas gradnje vseh navedenih reaktorjev se je od prve lopate (brez projektiranja, umeščanja v prostor in pridobitve vseh dovoljenj, vključno s postopki javne razprave in referenduma, kar zahteva dodatnih najmanj 5-7 let) že do danes podaljšal za dodatnih več kot 5 do 10 let nad prvotno predvideno povprečno časovnico 10 let, ki je veljala pred štirimi desetletji. Reaktor francoske (EDF) tehnologije Olkiluoto 3 na Finskem so začeli graditi (prva lopata) že v letu 2005 (z rokom izgradnje 2009), reaktor Flamanville 3 v Franciji pa 2007 (z rokom izgradnje 2012). Reaktor na Finskem je bil v začetku 2023 po 18 letih od prve lopate dokončan, medtem ko gradnja reaktorja v Franciji kljub 16 letom od prve lopate še vedno poteka (predvidoma do 2024). Poleg navedenih sta danes v EU v zadnjih 20 letih v gradnji samo še dva manjša reaktorja ruske tehnologije na Slovaškem, Mochovce 3 in 4, s prekinitvami že od leta 1984 (torej sta v gradnji skupno že 39 let). Analiza Mednarodne agencije za energijo (*IEA, 2019*) navaja, da vsi ti reaktorji nikoli ne bodo generirali minimalnega povračila vloženih sredstev, ampak bodo beležili ogromne izgube.

**Cena elektrike iz novih jedrskih elektrarn je najvišja med vsemi viri energije**

Zaradi zelo visokih celotnih stroškov novih jedrskih projektov (tudi za JEK2) bi bila tudi povprečna izravnana cena električne energije (LCOE – *Levelized Cost Of Energy,* po oceniLazard, 2023) iz novih jedrskih elektrarn, ki bi jih začeli graditi danes, okrog 170 evrov na megavatno uro (EUR/MWh po tečaju dolarja – maj 2023), brez upoštevanja dodatnih stroškov za razgradnjo reaktorja in za geološko skladišče smrtonosnih visoko radioaktivnih odpadkov. Ta cena je približno 3 do 4-krat višja kot nesubvencionirana cena elektrike iz novih velikih vetrnih in sončnih elektrarn (okrog 45 oz. 55 EUR/MWh), ter že danes precej višja kot iz velikih vetrnih in sončnih elektrarn skupaj s 4 urnimi hranilniki viškov energije, ki trenutno zadostujejo za normalno delovanje energetskega sistema. Cena hranilnikov strmo pada iz leta v leto, do leta 2030 pa naj bi se zmanjšala še najmanj za polovico. Za izračun LCOE Lazard uporablja povprečno diskontno stopnjo kapitala (IRR/WACC) v višini 7,7%, ki je standardna za prikaz skupnih stroškov kapitala za dolgoročne investicije v energetiki.

LCOE je merilo povprečnih neto sedanjih stroškov (cene) proizvodnje električne energije na kilovatno oz. megavatno uro (kWh oz MWh) za proizvodno napravo v njeni celotni življenjski dobi, ki ga uporabljamo za primerjavo cen med različnimi viri energije. To merilo upošteva celoten življenjski cikel elektrarne, vključno s kapitalskimi stroški, stroški obratovanja in vzdrževanja, stroški goriva in pričakovano življenjsko dobo. LCOE merilo je nadvse pregledno, in predstavlja optimalno in dragoceno orodje za analizo dinamike stroškov obnovljive in jedrske energije, ki omogoča informirano in jasno odločanje za pravilno dolgoročno investiranje v energetskem sektorju.

**Glavni razlog zatona jedrske industrije je slaba ekonomika in ne strah pred jedrsko nesrečo**

Po katastrofalni jedrski nesreči v Fukušimi na Japonskem v letu 2011 so se skupni stroški kapitala za jedrske projekte močno povečali še zlasti zaradi dodatnih visokih varnostnih standardov. Po mnenju stroke je slaba ekonomika in nekonkurenčnost jedrske industrije v primerjavi z industrijo obnovljivih virov energijo - OVE (predvsem sonca in vetra) glavni razlog za pospešeni proces zatona jedrske industrije, in ne strah pred jedrsko nesrečo. Zato tudi nova, kontroverzna in nestrokovna razvrstitev (klasifikacija ali taksonomija) jedrske energije v EU (za prehodno obdobje) med tako imenovane »zelene in trajnostne naložbe«, zatona jedrske industrije ne more več ustaviti.

Je pa navedena razvrstitev energentov v EU vsaj prinesla tudi pozitivno zahtevo oz. dodatno pravilo, da morajo vse države z jedrskimi reaktorji v EU najkasneje do leta 2050 zgraditi svoja nacionalna dolgoročna geološka odlagališča za smrtonosne visoko radioaktivne odpadke - VRAO (strošek 5 milijard evrov za danes edino zgrajeno manjše odlagališče na svetu na Finskem, ocena 21 milijard evrov za Švico). Že danes pa morajo države EU dokazati, da bodo sredstva za celotno naložbo pravočasno zbrana. V Sloveniji že skoraj 20 let poteka relativno zelo enostaven in poceni projekt izgradnje odlagališča zgolj za nizko in srednje radioaktivne odpadke – NSRAO v Vrbini pri Krškem (razpis za izvajalca naj bi bil ponovno objavljen letos), medtem ko o dolgoročnem geološkem odlagališču za VRAO, ki je tehnično in finančno izredno zahteven projekt, pristojni organi žal še niti ne razmišljajo.

Bonitetna hiša Standard & Poor's v svoji analizi (2019) med ostalim navaja, »da se jedrska industrija danes seli v države v razvoju na osnovi političnih in vojaško strateških odločitev in ne zaradi ekonomskih razlogov« (sic!). Zaradi krepitve vojaške jedrske retorike ter pritiska vojaškega in civilnega jedrskega lobija, še zlasti po začetku vojne v Ukrajini, se razprava o možnosti ponovne gradnje jedrskih reaktorjev vrača tudi v nekatere razvite države. Ta pritisk temelji na znani »civilno-vojaški jedrski soodvisnosti«. Kot pojasnjujeta Phil Johnstone in Andy Stirling, z univerze v Sussexu v Združenem kraljestvu, je »materialna soodvisnost med civilno in vojaško jedrsko infrastrukturo že dolgo dobro dokumentirana glede jedrskih materialov, obogatitve urana in njihove ponovne predelave«. To soodvisnost potrjujejo tudi številne izjave političnih odločevalcev, na primer odkrita izjava francoskega predsednika Emmanuela Macrona, leta 2020, v javnem nastopu v državnem jedrskem gigantu Framatone, v sestavi EDF (ki zaposluje več kot 14.000 jedrskih delavcev): »Brez civilne jedrske industrije ni vojaške, in brez vojaške jedrske industrije ni civilne« (Sans nucléaire civil, pas de nucléaire militaire, sans nucléaire militaire, pas de nucléaire civil) (sic!).

Ponovna »navdušenost« političnih odločevalcev v nekaterih zahodnih državah z novim »civilnim jedrskim orožjem«, pod vplivom vojaškega in jedrskega lobija, ne odvrača pozornosti zgolj od urgentnih ukrepov za reševanje podnebne krize in razogljičenja svetovne energetske industrije, ampak pomeni namerno prikrivanje vojaško-civilne soodvisnosti jedrske tehnologije in globoko spodkopava tudi preglednost in kakovost demokratičnega oblikovanja učinkovite dolgoročne energetske politike vseh držav sveta, ki bi izpolnjevala zahtevane kriterije in resnično prispevala k pravočasnemu, stroškovno-učinkovitemu in trajnostnemu razogljičenju energetske industrije. Pri tem seveda ne gre za ideološko razpravo »za« ali »proti« jedrski (fisijski) tehnologiji in industriji, temveč za odgovornost političnih odločevalcev, energetske industrije in vseh nas za usmeritev široke demokratične razprave za naslovitev globoke podnebno-trajnostne in energetske krize sveta, razprave v kateri razlogi niso skriti, temveč odprti, ter nepristransko in multidisciplinarno preučeni in ovrednoteni.

**Odločitev o energetski prihodnosti zahteva pregledno in demokratično razpravo brez jedrske ideologije**

Za učinkovito in pravočasno reševanje podnebne in energetske krize in pripravo dolgoročne energetske politike Slovenije nujno potrebujemo demokratično javno razpravo na osnovi številk, dejstev ter referenc, brez jedrske ideologije. Za demokratično odločanje (tudi na referendumu, če bo sploh potreben) mora vlada Slovenije pripraviti celovite, strokovno nepristranske scenarije za popolno in pravočasno razogljičenje energetske industrije v Sloveniji na osnovi mednarodno priznanih referenc. Pri tem mora, kot že navedeno, upoštevati štiri glavne kriterije za razogljičenje energetske industrije: ceno, čas, ogljik in trajnost. Primerno je, da vlada navedene scenarije predstavi v dopolnitvi Nacionalnega energetsko-podnebnega načrta (NEPN), ki je že v pripravi z zakonskim rokom do 30. junija 2024 (ko ga moramo v dokončni različici posredovati Evropski komisiji v potrditev) ter v drugih strateških dokumentih.

Potrebujemo najmanj dva strateška energetska scenarija razogljičenja s 100% uporabo obnovljivih virov energije – OVE, kateremu že danes sledi tudi vrsta EU držav kot: Avstrija, Danska, Irska, Luksemburg, Španija, Nemčija. To sta scenarija z uporabo predvsem sonca in vetra, v kombinaciji s hidro, mogoče z geotermalno energijo in drugimi, toda z različnim deležem posameznih OVE (saj so finančno-tehnično-časovne razlike po strokovnih študijah lahko zelo pomembne). Dodatni scenarij pa je v kombinaciji OVE z delnim, približno 30 odstotnim deležem jedrske energije v primarni proizvodnji kot je to v Sloveniji danes (z uporabo SMR – malega modularnega reaktorja). Samostojni jedrski scenarij s prevladujočo rabo jedrske energije zagotovo ni potreben, glede na neizpolnjevanje glavnih kriterijev razogljičenja energije pa tudi ni smiseln. Pri tem je potrebno jasno poudariti, da sončna in vetrna industrija na eni ter jedrska industrija na drugi strani tehnično in finančno ne sodita v skupni - kombinirani energetski sistem. Analiza za Francijo je pokazala, da penetracija elektrike sonca in vetra v kombinirani energetski sistem z jedrsko elektriko v obsegu 10 do 50 odstotkov posledično poveča izgube poslovanja jedrske industrije v povprečju od 12 do 48 odstotkov.

Jedrska opcija bi za Slovenijo kot relativno zelo malo državo (poleg vseh že navedenih negativnih elementov) hkrati pomenila tudi enormno tveganje naslonitve na zgolj en veliki energetski vir, in zaradi velikostnega razreda stroškov, fiskalnega pravila EU, pritiska na javna sredstva, državna poroštva in kreditno sposobnost države (in drugo), tudi potencialni »finančni zlom« države. Slovenija je namreč premajhna, da bi tako kompleksen, visoko tvegan ter tehnično in finančno nadvse zahteven projekt, ki bi presegel 17 milijard evrov, in bi predstavljal več kot eno četrtino letnega bruto domačega proizvoda - BDP, sploh lahko uspešno izpeljala. Tega si jedrski lobi in vsi podporniki jedrske tehnologije ne smejo domišljati.In tega jim ne smemo dovoliti.

mag. Zoran Kus je poznavalec podnebne in trajnostne krize