

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

PRIHODNOST JEDRSKE ENERGIJE V EVROPSKI UNIJI

Ljubljana, september 2017

TINA PANCE

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Tina Pance, študentka Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtorica predloženega dela z naslovom Prihodnost jedrske energije v Evropski uniji, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem izr. prof. dr. Matejem Švigljem

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravila samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označila;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne _____

Podpis študentke: _____

KAZALO

UVOD	1
1 JEDRSKA ENERGIJA V SVETU IN V EU.....	3
1.1 Jedrska energija v svetu.....	3
1.2 Jedrska energija v EU	7
1.2.1 Stanje in pomen jedrske energije.....	7
1.2.2 Energetska unija	9
1.2.3 Energetska strategija EU	14
1.2.4 Ocena tveganja in varnosti jedrskih elektrarn	16
1.2.5 Odnos posameznih držav članic EU do jedrske energije	17
1.3 Javno mnenje	20
2 TVEGANJA IN KORISTI JEDRSKE ENERGIJE	21
2.1 Stroškovna primerjava.....	21
2.2 Emisije toplogrednih plinov	26
2.2.1 Nizkoogljična tehnologija	26
2.2.2 Energetske subvencije	28
2.3 Dobava uranove rude.....	29
2.4 Radioaktivni odpadki.....	30
2.5 Jedrske nesreče	32
2.5.1 Nesreče povezane s pridobivanjem energije	32
2.5.2 Jedrske nesreče v svetu.....	34
2.5.3 Zagotavljanje jedrske varnosti v EU	37
2.6 Uporaba jedrske energije v vojaške namene	37
3 STARANJE JEDRSKIH REAKTORJEV IN NJIHOVO NADOMEŠČANJE	38
3.1 Stanje jedrskih reaktorjev v svetu.....	38
3.2 Stanje jedrskih reaktorjev v EU.....	40
3.2.1 Podaljševanje obratovalne dobe	40
3.2.2 Nadomeščanje jedrskih reaktorjev.....	41
3.2.3 Možnosti uporabe OVE.....	43
3.3 Odnos mednarodnih institucij do novih gradenj.....	45
4 PRIHODNOST JEDRSKE ENERGIJE V EU	47
4.1 Energetske napovedi za EU	47
4.2 SWOT analiza uporabe jedrske energije v EU	49
SKLEP	53

LITERATURA IN VIRI	56
---------------------------------	-----------

PRILOGE

KAZALO TABEL

Tabela 1: Svetovna proizvodnja elektrike v TWh glede na gorivo.....	4
Tabela 2: Aktivni jedrski reaktorji in reaktorji v gradnji leta 2017	5
Tabela 3: Pregled jedrskih reaktorjev v EU	8
Tabela 4: Okoljevarstveni in energetske cilji EU	15
Tabela 5: LCOE tehnologij pri različnih obrestnih merah.....	24
Tabela 6: Število hudih nesreč med leti 1969 in 2000	34
Tabela 7: Jedrski reaktorji v EU, ki so bili zaprti zaradi nesreč, incidentov in napak	43
Tabela 8: Odvisnost EU od uvoza goriv (v %)	48
Tabela 9: Okoljevarstveni in energetske cilji EU in njihovo doseganje v prihodnosti glede na REF2016.....	48
Tabela 10: SWOT analiza uporabe jedrske energije v EU.....	50

KAZALO SLIK

Slika 1: Število reaktorjev v državah članicah EU.....	9
Slika 2: Poraba energije v EU po letih glede na vir energije	12
Slika 3: Ocenjen ogljični odtis v tCO ₂ e/GWh glede na tehnologijo pridobivanja energije	26
Slika 4: Viri uvoza urana v EU leta 2014 (v %).....	29
Slika 5: Število smrtnih žrtev na TW leto glede na vir energije od leta 1969 do leta 1996	33
Slika 6: Število jedrskih reaktorjev priključenih v omrežje od leta 1954 do leta 2011	39
Slika 7: Delež aktivnih jedrskih reaktorjev po starosti (v %)	39
Slika 8: Število zaprtih jedrskih reaktorjev v EU po obratovalni dobi v letih	42
Slika 9: Poraba energije v EU glede na vir energije od leta 1990 do 2015.....	45
Slika 10: Energetska mešanica EU v prihodnosti	49

UVOD

Električna oskrba Evropske unije (v nadaljevanju EU), ki predstavlja 28 držav in 510 milijonov energetske porabnikov, prinaša številne izzive, saj mora energetska mešanica posameznih držav članic hkrati izpolnjevati več kriterijev: zanesljivost oskrbe, čim manj izpustov škodljivih emisij in dosegati nizke stroške.

Več kot polovica (53,5 %) energije, ki jo je EU porabila leta 2014, je prišla iz uvoženih virov (European Commission, 2016), zato jedrska energija, ki se zaradi majhnega deleža goriva v celotnih stroških proizvodnje šteje kot lokalni vir energije, pozitivno prispeva k energetske neodvisnosti EU in k varnosti njene energetske oskrbe (Evropska komisija, 2007b). Ob koncu leta 2015 je bilo v EU skupno 128 jedrskih reaktorjev, ki so proizvedli 27,5 % vse proizvedene električne energije. Leta 2015 so se v EU zaprli trije reaktorji, trenutno pa so v gradnji štiri novi (Evropska komisija, 2016a). Jedrska nesreča v TEPCO Fukushima Daiichi (v nadaljevanju Fukušima) na Japonskem leta 2011 je zamajala energetske politike nekaterih držav članic EU. Medtem ko francoska vlada že od leta 1960 močno podpira uporabo jedrske energije in svojega mnenja ni spremenila tudi po nesreči v Fukušimi (Schneider, 2013), so se Italija, Nemčija in Švica odločile, da bodo v prihodnosti izključile vse jedrske reaktorje. Nemška odločitev za izklop vseh jedrskih reaktorjev do leta 2022 je močno odmevala, vendar je manj znano, da je bil izklop del načrtovane nemške politike, s katero pa so pohiteli po nesreči v Fukušimi (Matthes, 2012). Po izključitvi jedrskih reaktorjev se je Nemčija odločila za gradnjo več elektrarn na fosilna goriva, ki sedaj proizvedejo polovico vse elektrike v Nemčiji, medtem ko so Francija, Poljska in Rusija povečale svoj izvoz jedrske energije v Nemčijo (World Nuclear Association – v nadaljevanju WNA, 2017b). Švedska se je leta 2009 odločila prekiniti 30 let veljaven načrt opuščanja jedrske energije ter tako prekinila načrt zaprtja jedrskih elektrarn, ki je bil načrtovan za junij 2010 (Roßegger & Ramin, 2013).

EU se je v svoji okoljevarstveni strategiji do leta 2050 zavezala k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov za 80–95 % v primerjavi z ravnmi iz leta 1990 (Evropska komisija, 2011). Zaradi nizke cene premoga in kuponov CO₂ v EU sistemu trgovanja z emisijskimi kuponi (angl. *European Union Emissions Trading System* – v nadaljevanju sistem ETS) ter popačenja energetskega trga EU zaradi obsežnih subvencij za obnovljive vire energije (v nadaljevanju OVE) se je pojavil problem, kjer so elektrarne na lignit in premog najbolj cenovno konkurenčne na trgu, zato se je jedrsko industrijsko združenje European Atomic Forum (v nadaljevanju FORATOM) skupaj s francoskim jedrskim združenjem Société française d'énergie nucléaire (v nadaljevanju SFEN, 2016) zavzelo za vključitev jedrske energije v subvencije EU za obnovljive vire.

V preteklosti je jedrska energija veljala za energijo, ki je cenovno konkurenčna, vendar so se varnostni standardi po nesreči v Fukušimi zaostri, kar je vodilo v višje stroške gradnje in stresnih testov (Evropska komisija, 2013). Čeprav so stroški urana zelo majhen del

celotnih stroškov proizvodnje električne energije iz jedrskih reaktorjev (FORATOM, 2015a), je izgradnja jedrskih elektrarn izjemno draga, zapletena in dolgotrajna (Davis, 2012). Linares in Conchado (2013) v svoji študiji stroškovne učinkovitosti jedrskih elektrarn zaključita, da cenovna ugodnost jedrske energije v prihodnosti ne bo ena njenih konkurenčnih prednosti na energetske trgu.

Pri odločitvi za jedrsko energijo je potrebno upoštevati tudi dejavnike, ki jih težko ocenimo s številkami, kot je na primer javno mnenje o jedrski energiji. Javno mnenje prebivalcev EU kaže na to, da še vedno nismo dovolj osveščeni o prednostih in realnih tveganjih uporabe jedrske energije (Evropska komisija, 2007a). Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (angl. *Organisation for Economic Co-operation and Development* – nadaljevanju OECD, 2010) je v primerjalni študiji, v katero je bila zajeta tudi EU, ugotovil, da trenutno mnenje prebivalcev OECD ni v prid jedrski energiji in da se v odsotnosti jedrskih nesreč mnenje prebivalstva spreminja počasi, vendar v mnogih obravnavanih državah podpora jedrski energiji raste.

V začetku leta 2015 je Evropska komisija objavila vrsto predlogov, ki pozivajo k razvoju energetske unije s povečanim usklajevanjem med 28 energetskimi trgi, ki naj bi postali bolj raznoliki in energetske učinkoviti (Evropska komisija, 2015). Na novo ustanovljena Evropska energetska unija (angl. *European Energy Union*) vsaki državi članici omogoča, da se sama odloči, ali bo jedrska energija del njene energetske strategije, vendar unija jedrsko energijo vidi kot ključni vir za doseganje energetskih ciljev EU, kot so varnost oskrbe preko diverzifikacije dobave jedrskega goriva, razogljičenje sektorja proizvodnje električne energije in konkurenčne cene električne energije (Evropska komisija, 2016a). Čeprav sta postavitve in obratovanje elektrarn del nacionalne energetske strategije vsake posamezne države članice, je veliko trgovanja z elektriko opravljenega preko notranjih meja EU in tako imajo nacionalne odločitve o energetski politiki močne čezmejne vplive na sosednje države (WNA, 2017a).

Prihodnost jedrske energije v EU je negotova. Evropska javnost ostaja zadržana do jedrske energije, medtem ko Evropska komisija prepoznava jedrsko energijo kot pomemben del evropske energetske mešanice v prihodnosti. Za razvoj in napredek v jedrski industriji bo potrebno doseči soglasje med državljani EU (Evropska komisija, 2007b), saj bomo v najslabšem primeru primorani izpad jedrske energije nadomestiti s fosilnimi gorivi, kar pa nas bo še bolj oddaljilo od okoljskih ciljev EU in varne oskrbe z domačo energijo.

Namen magistrske naloge je s pomočjo strokovne literature preučiti tveganja in koristi uporabe jedrske energije v EU in analizirati potrebo po jedrski energiji v prihodnosti. Raziskala sem evropsko energetske strategije, okoljske cilje EU in javno mnenje, ki pogosto prevesi tehtnico pri odločitvah držav proti ali v prid jedrski energiji. Raziskala sem tudi, kakšne so alternative jedrski energiji, če želimo doseči okoljske cilje EU.

Cilj magistrskega dela je s pomočjo analize primarnih in sekundarnih virov potrditi ali zavrniti hipotezo, da bo v prihodnosti potrebna naložba v povečanje jedrskih kapacitet v EU, če želi ta doseči svoje energetske cilje do leta 2050. Z magistrskim delom želim tako pokazati, da je jedrska energija pomemben del energetske mešanice EU, saj pripomore k njeni energetske neodvisnosti, je cenovno primerljiva z obnovljivimi viri ter ima skoraj zanemarljive izpuste toplogrednih plinov. Pokazati želim tudi, da v bližnji prihodnosti obnovljivi viri energije ne bodo dovolj obsežni in zanesljivi za pokrivanje energetskih potreb EU.

Magistrsko delo temelji na poglobljenem pregledu literature s področja obravnavane teme, kot so dokumenti različnih pristojnih organizacij, znanstveni članki in raziskave strokovnjakov. Uporabljene metode dela so predvsem opisna metoda, primerjalna metoda in metoda kompilacije, ki omogočajo združevanje in primerjanje ugotovitev in mnenj iz različnih virov.

Magistrsko delo je sestavljeno iz štirih vsebinskih poglavij, ki so razdeljena na podpoglavja. V prvem poglavju opisujem trenutno stanje in pomen jedrske energije v svetu, nadaljujem pa s podrobnejšim opisom stanja in pomena jedrske energije v EU, opisom energetske strategije EU ter oceno tveganja in varnosti jedrskih elektrarn v EU. Na koncu prvega poglavja povzemam še javno mnenje o jedrski energiji. V drugem poglavju analiziram razloge za in proti jedrski energiji s primerjavo tveganj in koristi uporabe jedrske energije. V primerjavo sem vključila stroškovno primerjavo, emisije toplogrednih plinov, dobavo uranove rude, radioaktivne odpadke, jedrske nesreče in možnost uporabe jedrske energije v vojaške namene. V tretjem poglavju predstavljam stanje jedrskih reaktorjev v svetu in v EU. V podpoglavjih se osredotočam na podaljševanje obratovalne dobe, nadomeščanje jedrskih reaktorjev in možnost uporabe OVE. Na koncu poglavja povzemam odnos mednarodnih institucij do novih gradenj. V zadnjem, četrtem poglavju, povzemam energetske napovedi za EU in s SWOT analizo povzemam koristi in tveganja uporabe jedrske energije v EU.

1 JEDRSKA ENERGIJA V SVETU IN V EU

1.1 Jedrska energija v svetu

Jedrska tehnologija, ki omogoča pridobivanje energije preko cepljenja atomov, je bila razvita leta 1940, vendar pa je bila za čas druge svetovne vojne in vse do leta 1945 uporabljena predvsem za izdelavo atomskih bomb, ki s cepitvijo atomov posameznih izotopov urana ali plutonija sprostijo veliko količino energije. Po letu 1950 se je pozornost obrnila v miroljubno uporabo jedrske fisije, predvsem za proizvodnjo električne energije. V zadnjih desetletjih pri proizvodnji jedrske energije v ospredje stopa jedrska fuzija, ki za razliko od jedrske fisije ustvarja energijo z zlivanjem lahkih atomov, kot je vodik, pri

izredno visokem tlaku in visokih temperaturah v težja atomska jedra. Trenutno je tehnologija še v poskusni fazi. Eden najbolj obetavnih projektov je Mednarodni termonuklearni poskusni reaktor (angl. *International Thermonuclear Experimental Reactor* – ITER), eksperimentalni fuzijski reaktor na jugu Francije, katerega cilj je dokazati izvedljivost fuzije za uspešno pridobivanje energije (Evropska komisija, 2017a).

Jedrska energija je pomemben vir energije na svetovni ravni, saj so v letu 2014 jedrske elektrarne skupaj zagotavljale 10,6 % svetovne električne energije (Evropska komisija, 2016a). V Tabeli 1 je predstavljena svetovna proizvodnja elektrike v teravatnih urah (v nadaljevanju TWh) od leta 1995 do leta 2014 glede na gorivo. Jedrske zmogljivosti so zadnjih dvajset let stabilne, medtem ko so se zmogljivosti iz OVE v tem času podvojile. Kljub podnebnim spremembam in mednarodnim klimatskim dogovorom pa se je proizvodnja elektrike iz trdnih goriv povečevala in leta 2014 predstavljala kar 40,8 % vseh virov proizvedene elektrike na svetu.

Tabela 1: Svetovna proizvodnja elektrike v TWh glede na gorivo

	1995	2000	2005	2010	2014	2014 (v %)
Trdna goriva	4.992	6.005	7.335	8.665	9.707	40.8
Nafta in derivati	1.279	1.251	1.178	982	1.023	4.3
Zemeljski plin	2.022	2.753	3.706	4.828	5.155	21.6
OVE	2.637	2.837	3.291	4.205	5.323	22.3
Hidro*	2.479	2.619	2.934	3.442	3.895	16.4
Sončna/Vetrna/Drugo*	10	35	120	384	928	3.9
Biogorivo in odpadki*	131	164	223	367	493	2.1
Geotermalna*	40	52	58	68	77	0.3
Jedrska	2.332	2.591	2.768	2.756	2.535	10.6
Drugo	24	34	46	58	72	0.3
Skupaj	13.285	15.471	18.324	21.493	23.816	100

Legenda: *Kategorije prikazujejo porazdelitev proizvedene elektrike iz OVE.

Povzeto in prirejeno po Evropska komisija, Energy Pocketbook 2016a, str. 16.

V Prilogi 1 predstavljam podatke o številu aktivnih jedrskih reaktorjev na svetu in proizvedeni jedrski energiji od leta 1997 do leta 2016. Podatki Mednarodne agencije za atomsko energijo (angl. *International Atomic Energy Agency* – v nadaljevanju IAEA, 2017) kažejo, da so jedrski reaktorji v letu 2016 proizvedli 2.476,22 TWh elektrike, kar je manj kot v letih med 2001 in 2011, in kar 6,9 % pod zgodovinsko najvišjimi količinami proizvedene jedrske energije leta 2006. Delež jedrske energije glede na vso proizvedeno energijo je skozi zadnja štiri leta ostajal stabilen, vendar je iz najvišjega deleža 17,6 % leta 1996 padel na 10,7 % leta 2015 (Schneider & Froggatt, 2016).

Tabela 2: Aktivni jedrski reaktorji in reaktorji v gradnji leta 2017

Država	Število reaktorjev	Skupna neto električna zmogljivost obstoječih reaktorjev v MW	Število reaktorjev v gradnji	Skupna neto električna zmogljivost reaktorjev v gradnji v MW
Združene države Amerike	99	99.869	4	
Francija	58	63.130	1	1.630
Japonska	42	39.752	2	2.653
Kitajska	37	32.384	20	20.622
Rusija	35	26.111	7	5.520
Južna Koreja	25	23.077	3	4.020
Indija	22	6.240	5	2.990
Kanada	19	13.554		
Ukrajina	15	13.107	2	2.070
Združeno kraljestvo	15	8.918		
Švedska	10	9.740		
Nemčija	8	10.799		
Belgija	7	5.913		
Španija	7	7.121		
Tajvan	6	5.052	2	2.600
Češka	6	3.930		
Švica	5	3.333		
Slovaška	4	1.814	2	880
Finska	4	2.764	1	1.600
Madžarska	4	1.889		
Pakistan	4	1.005		
Argentina	3	1.632	1	25
Brazilija	2	1.884	1	1.245
Bolgarija	2	1.926		
Mehika	2	1.552		
Romunija	2	1.300		
Južna Afrika	2	1.860		
Armenija	1	375		
Iran	1	915		
Nizozemska	1	482		
Slovenija	1	688		
Združeni Arabski Emirati			4	5.380
Pakistan			3	2.343
Belorusija			2	2.218
Skupaj	449	392.116	60	55.796

Povzeto in prirejeno po IAEA, Power Reactor Information System (v nadaljevanju PRIS), 2017.

Prve komercialne jedrske elektrarne so začele delovati leta 1950. Tabela 2 prikazuje 449 trenutno delujočih komercialnih jedrskih reaktorjev, ki obratujejo v 31 državah, s skupnimi zmogljivostmi več kot 390.000 megavatov (v nadaljevanju MW). Trenutno je v gradnji približno 60 novih jedrskih reaktorjev, svet pa danes iz jedrske energije proizvede toliko elektrike, kot je v zgodnjih letih jedrske energije proizvedel vse energije iz vseh virov skupaj (IAEA, 2017). Jedrski reaktorji, ki so trenutno v gradnji, predstavljajo 16 % obstoječih zmogljivosti, medtem ko je več kot 160 načrtovanih, kar je skoraj polovico sedanjih zmogljivosti. Iz Tabele 2 je razvidno, da se večina jedrskih reaktorjev, ki so trenutno v gradnji, nahaja v Aziji, veliko pa jih načrtuje tudi Rusija.

Tabela 2 prikazuje število reaktorjev po državah, ki pa je zelo različno – nekatere države tako velik delež svoje celotne proizvedene energije pridobijo iz jedrske energije, medtem ko druge države sploh (še) nimajo lastnega vira jedrske energije. Pet držav, ki po količini proizvedejo največ jedrske energije – po vrsti so to Združene države Amerike (v nadaljevanju ZDA), Francija, Japonska, Rusija in Kitajska – tako ustvari skoraj 70 % vse proizvedene jedrske energije na svetu. ZDA in Francija, ki imata trenutno največje število reaktorjev, skupaj proizvedeta kar 40 % vse proizvedene jedrske energije na svetu. Od jedrskih zmogljivosti, ki so trenutno v gradnji, zmogljivosti na Kitajskem predstavljajo skoraj 40 % vseh. Približno enake zmogljivosti pa gradijo Rusija, Združeni Arabski Emirati in Južna Koreja – njihove zmogljivosti v gradnji predstavljajo približno 10 % vseh zmogljivosti, ki so trenutno v gradnji.

Poleg držav, ki svoje reaktorje že gradijo, pa še skoraj 40 držav razmišlja o gradnji svojih prvih jedrskih reaktorjev. Ker je gradnja jedrskih elektrarn kapitalsko intenzivna, je povprečen čas gradnje jedrskih elektrarn zelo različen – za zadnjih 46 elektrarn, ki so bile zagnane od leta 2006 naprej, je bil povprečen čas gradnje 10,4 leta, z odklonom od 4 do 43,6 let (International Energy Agency – v nadaljevanju IEA & Nuclear Energy Agency – v nadaljevanju NEA, 2015), kar je zelo velik odmik od povprečja.

Leta 2015 je Kitajska prehitela Južno Korejo ter tako postala četrta največja proizvajalka jedrske energije. Povečanje v Rusiji (8 %) in Južni Koreji (5,3 %) pa je nadomestilo upad na Švedskem (-12 %) in v Belgiji (-22,6 %). Proizvodnja jedrske energije v EU je leta 2015 padla na najnižjo raven od leta 1992 – znižala se je za 2,2 % (British Petroleum – v nadaljevanju BP, 2016). Globalna proizvodnja jedrske elektrike pa se je v letu 2016 povečala za 1,3 %, s tem, da je za skoraj celotno rast odgovorna Kitajska, ki je svojo proizvodnjo povečala za 24,5 % (BP, 2017).

1.2 Jedrska energija v EU

1.2.1 Stanje in pomen jedrske energije

EU je največja uvoznica energije na svetu, saj uvozi kar 53 % potrebne energije (European Commission, 2016), kar letno stane približno 400 milijard evrov (v nadaljevanju EUR), zato jedrska energija, pridobljena iz lokalnih virov, pozitivno prispeva k energetske neodvisnosti EU in k varnosti njene energetske oskrbe. Leta 2015 je bilo 27 % porabljene energije iz jedrske energije, 27 % iz premoga, 17 % iz plina, 2 % iz olja in 27 % iz OVE (več kot polovico tega je prispevala hidroenergija) (WNA, 2017a).

Pasovna (angl. *base-load*) energija je minimalna raven povpraševanja v električnem omrežju v določenem časovnem razponu, na primer v enem tednu. Viri pasovne energije so elektrarne, ki lahko ekonomično proizvedejo električno energijo, potrebno za zadostitev tega minimalnega povpraševanja. Jedrske elektrarne, elektrarne na premog in elektrarne na plin so tehnologije, ki lahko proizvajajo pasovno energijo. Čeprav je jedrska energija v 2014 predstavljal samo 12,5 % nameščenih zmogljivosti za proizvodnjo elektrike, je proizvedla 27,5 % vse elektrike, saj zaradi svoje neodvisnosti od zunanjih dejavnikov (veter, sonce ipd.) lahko neprekinjeno proizvaja pasovno energijo za razliko od energije iz OVE (Evropska komisija, 2016a).

Čeprav je jedrska energija vir nizkoogljične energije, ki omogoča visoko stopnjo zanesljivosti, energetske oskrbe in dobave ter proizvede polovico nizkoogljične energije v EU, se sektor jedrske energije še vedno srečuje z velikimi težavami. Nekatere države članice kot na primer Nemčija in Belgija so namreč močno proti jedrski energiji, trg pa je velikokrat naravnano tako, da postavlja energijo iz OVE v prednost. V obdobju do leta 2030 bo količina izgubljene jedrske energije zaradi zaprtja zastaranih elektrarn in politično motiviranih odločitev večja od količine energije, pridobljene iz na novo priklopljenih reaktorjev. To bo kratkoročno vplivalo na zmanjšanje količine proizvedene energije iz jedrskih elektrarn v EU (WNA, 2017a).

V Tabeli 3 se nahaja pregled aktivnih jedrskih reaktorjev, jedrskih reaktorjev v gradnji in načrtovanih reaktorjev v EU marca 2017. 128 jedrskih reaktorjev, s skupno zmogljivostjo več kot 119 gigavatov (v nadaljevanju GW), se nahaja v 14 od 28 držav članic EU (WNA, 2017a). Polovico vse proizvedene jedrske energije v EU proizvede ena sama država – Francija. Francija pridobi dve tretjini svoje energije iz jedrske energije, medtem ko Belgija, Češka, Finska, Madžarska, Slovaška, Švedska in Slovenija pridobijo eno tretjino ali več. Bolgarija je običajno pridobi 30 %, medtem ko Združeno kraljestvo, Španija in Romunija pridobijo petino. Med državami, ki nimajo jedrskih elektrarn, Italija in Danska pridobita 10 % svoje elektrike iz uvožene jedrske energije. V EU trenutno poteka gradnja novih reaktorjev v Franciji, na Slovaškem in na Finskem. Vsi projekti se srečujejo s povišanimi stroški in zamudami pri gradnji. Do leta 2030 pa naj bi se v omrežje priključili še jedrski

reaktorji, ki jih načrtujejo sledeče države: Bolgarija, Češka, Finska, Madžarska, Litva, Poljska in Velika Britanija (WNA, 2017a).

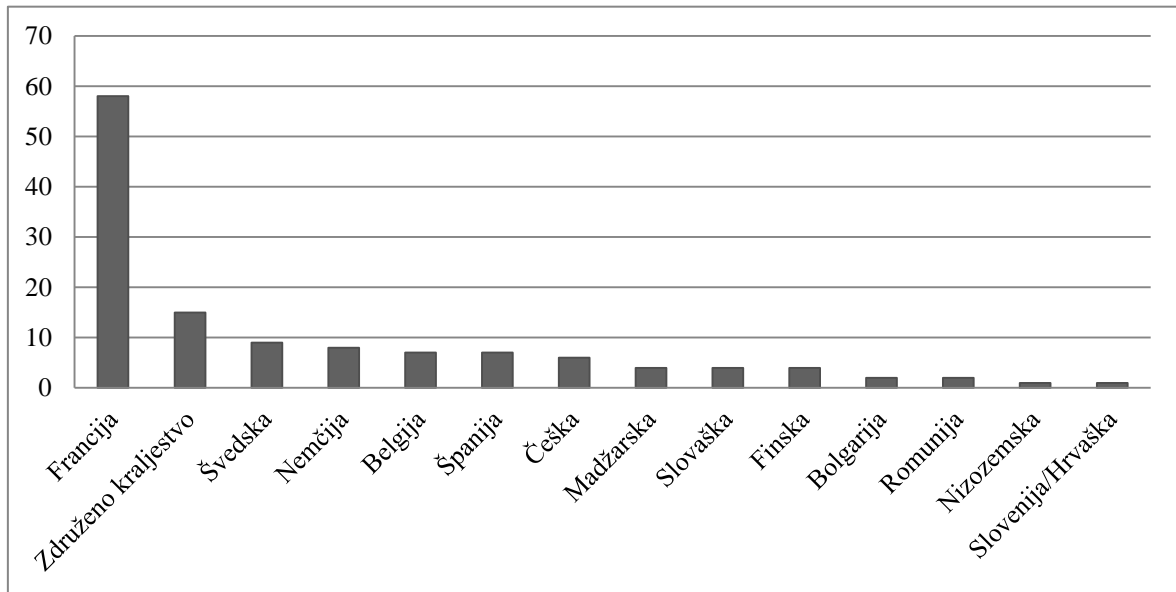
Tabela 3: Pregled jedrskih reaktorjev v EU

Država	Proizvodnja jedrske energije v letu 2015		Aktivni reaktorji		Reaktorji v gradnji		Načrtovani reaktorji	
	TWh	% jedrske energije	Število	Zmogljivost (v MW)	Število	Zmogljivost (v MW)	Število	Zmogljivost (v MW)
Belgija	24,8	3	7	5.943	0	0	0	0
Bolgarija	14,7	2	2	1.926	0	0	0	0
Češka	25,3	3	6	3.904	0	0	2	2.400
Finska	22,3	3	4	2.764	1	1.700	1	1.200
Francija	419	51	58	63.130	1	1.750	0	0
Nemčija	86,8	11	8	10.728	0	0	0	0
Madžarska	15,0	2	4	1.889	0	0	2	2.400
Litva	0,0	0	0	0	0	0	0	0
Nizozemska	3,9	0	1	485	0	0	0	0
Poljska	0,0	0	0	0	0	0	6	6.000
Romunija	10,7	1	2	1.310	0	0	2	1.440
Slovaška	14,1	2	4	1.816	2	942	0	0
Slovenija/ Hrvaška	5,4	1	1	696	0	0	0	0
Španija	54,8	7	7	7.121	0	0	0	0
Švedska	54,5	7	9	8.849	0	0	0	0
Združeno kraljestvo	63,9	8	15	8.883	0	0	11	15.605
EU	815,2	100	128	119.444	4	4.392	24	29.045

Povzeto in prirejeno po WNA, Nuclear Power in the European Union, 2017a.

Slika 1 prikazuje države članice EU glede na število njihovih jedrskih reaktorjev. Francija ima 58 jedrskih reaktorjev, kar je znatno več kot ostale države članice, sledijo pa ji Združeno kraljestvo s 15 reaktorji, Švedska z 9, Nemčija z 8, Belgija in Španija s 7 in ostale države, ki imajo 6 ali manj reaktorjev (WNA, 2017a). V letu 2015 so se v EU zaprli 3 reaktorji, in sicer v Nemčiji, na Švedskem in v Združenem kraljestvu. Vlade držav članic EU so odobrile operativno podaljšanje življenjske dobe nekaterih jedrskih elektrarn v Belgiji, Bolgariji, Franciji, Sloveniji in Združenem kraljestvu, na Švedskem pa so preklicali odločitev o opustitvi jedrske energije (Evropska komisija, 2016a).

Slika 1: Število reaktorjev v državah članicah EU



Povzeto in prirejeno po WNA, *Nuclear Power in the European Union, 2017a*.

1.2.2 Energetska unija

Energetska unija EU obsega dosedanje in prihodnje reforme na okoljevarstvenem in energetskem področju ter vključuje sistem ETS ter vzpostavitev notranjega energetskega trga. Čeprav ima EU določene energetske predpise, se v praksi uporablja 28 nacionalnih zakonodajnih okvirov, kar se bo moralo spremeniti, če želi EU doseči energetske unije in vzpostaviti integriran notranji energetski trg (Evropski ekonomsko-socialni odbor, 2016). Za energetske unije bo potrebnih še veliko investicij v čezmejno povezovanje držav, predvsem tistih na vzhodu in jugu, saj so zahodne države že dosegle dovolj dobro čezmejno povezanost. Energetska unija je pomembna za doseganje zanesljivosti oskrbe, saj v primeru izpada energije v posamezni državi članici omogoča čezmejni prenos in trgovanje z energijo (Evropska komisija, 2015).

1.2.2.1 Enoten notranji trg

Energetska unija cilja na integracijo in utrditev notranjega energetskega trga EU in ima pet prioritet, ki so bile načrtane januarja 2015:

- izboljšanje varnosti oskrbe,
- vzpostavitev enotnega energetskega trga,
- povečanje energetske učinkovitosti,
- razogljičenje gospodarstva in
- povečanje obsega raziskav in inovacij.

Cilj energetske unije, ki temelji na energetske strategiji EU, je uporabnikom zagotoviti zanesljivo, trajnostno, konkurenčno in cenovno dostopno energijo. V prihodnosti želi EU doseči integriran vseevropski energetski sistem, ki bo omogočal prost čezmejni pretok energije ter regulacijo energetskih trgov na ravni EU – države članice so energetske soodvisne in morajo pri zagotavljanju varnostne oskrbe sodelovati, da bi dosegle ta cilj (Evropska komisija, 2015). Prebivalci Združenega kraljestva so se junija 2017 na referendumu odločili, da bodo izstopili iz EU, vendar je vlada poudarila, da želi še vedno sodelovati pri mednarodnih dogovorih o energetske politiki, predvsem o jedrski energiji. Balkanske države (Srbija, Bosna in Hercegovina, Črna Gora, Albanija in Makedonija) ter Švica in Norveška so do neke mere povezane z električnim omrežjem EU, kar vpliva na uvoz in izvoz energije (WNA, 2017a).

Izboljšanje varnosti oskrbe v EU je pomembno, saj je jedrska energija prisotna v 14 od 28 držav članic in proizvede skoraj 30 % energije v EU. Jedrska energija tako pripomore k zmanjšanju odvisnosti od uvoženih fosilnih goriv, kot razvita tehnologija pa je jedrska energija dobro umeščena, da poveča energetske stabilnost EU. Z razvojem energetske unije se povečujeta energetska učinkovitost in razogljičenje gospodarstva, saj je jedrska energija zanesljiv vir električne energije v EU in proizvede več kot 50 % nizkoogljične električne energije (FORATOM, 2016).

1.2.2.2 Cene energije

Razvoj notranjega trga EU je v zadnjih letih na veleprodajnem trgu elektrike povzročil velike spremembe. Prilagodljivi in likvidni trgi omogočajo bolj učinkovito ujemanje povpraševanja s ponudbo, kar znižuje proizvodne stroške in posledično cene. Ceno energije na evropskem trgu oblikuje več dejavnikov, prihaja pa do razhajanja med gibanjem veleprodajnih in maloprodajnih cen električne energije. Medtem ko so veleprodajne cene leta 2016 po 12 letih dosegle dno, se maloprodajna cena elektrike povečuje v povprečju za 2–3 % letno. Evropske veleprodajne cene elektrike so dosegle svoj vrh leta 2008 in so, razen manjšega povišanja leta 2011, padale do danes. Cene so od leta 2008 padle za skoraj 70 % oziroma za 55 % od leta 2015 in tako v letu 2016 dosegle najnižjo točko v zadnjih 12 letih (Evropska komisija, 2016c). Nižja cena energije na veleprodajnih trgih v EU je rezultat izboljšane delovanja trga skupaj s tržnimi nepopolnostmi. Nova dobava energije in rastoča uporaba OVE sta povečali ponudbo elektrike na trgu, medtem ko so ukrepi za energetske učinkovitost in nižja poraba zmanjšali povpraševanje po elektriki ter tako povzročili znižanje veleprodajnih cen elektrike. Cena elektrike za odjemalce ni padla zaradi povišanih davkov in dajatev, ki so potrebni za financiranje investicij in politik za prehod na nizkoogljično gospodarstvo. Glede na ogromne investicije v proizvodne kapacitete, ki bodo potrebne na dolgi rok, da bo EU dosegla varno oskrbo z energijo, konkurenčnost in razogljičenje, potrebuje EU dolgoročen načrt razvoja energetskega trga in okvirno energetske strategijo, ki se naslanja

na mehanizme trga in omogoča investicije v nizkoogljične in fleksibilne proizvodnje (Evropska komisija, 2016c).

Dejavniki, ki vplivajo na cene energije, so energetska mešanica, čezmejne povezave, spajanje trgov, koncentracija ponudnikov in podnebne razmere. Vpliv na ceno energije na trgu imajo prav tako proizvodni stroški energije, ki so v primeru jedrske energije stabilni na dolgi rok, kar v primeru velikega deleža jedrske energije v energetske mešanici pripomore k stabilnim cenam na trgu. Velik del stroška energije, pridobljene iz fosilnih goriv, namreč predstavlja strošek goriva, ki posledično vpliva na ceno proizvedene energije. V primeru močnih nihanj cene fosilnih goriv se ta vpliv prenese tudi na veleprodajne cene (SFEN, 2016).

Zniževanje veleprodajnih cen elektrike se bo le počasi in delno preneslo na maloprodajne cene, zniževanje pa bo hitrejše in prihranki večji pri cenah energije za industrijske odjemalce. To kaže na to, da bi se lahko konkurenca na maloprodajnih trgih v EU še povečala (Evropska komisija, 2016c). Po drugi strani pa dvigi omrežnih tarif, davkov in dajatev večinoma zmanjšujejo prihranke, povezane s padcem veleprodajnih cen. Ta učinek na cene bi se lahko popravil z naložbami v čezmejne povezave in v pametna omrežja, ki zagotavljajo učinkovitost, delovanje notranjega trga in energetske varnost. Tako bi tudi na maloprodajnih trgih lahko odjemalcem zagotavljali nižje cene energije.

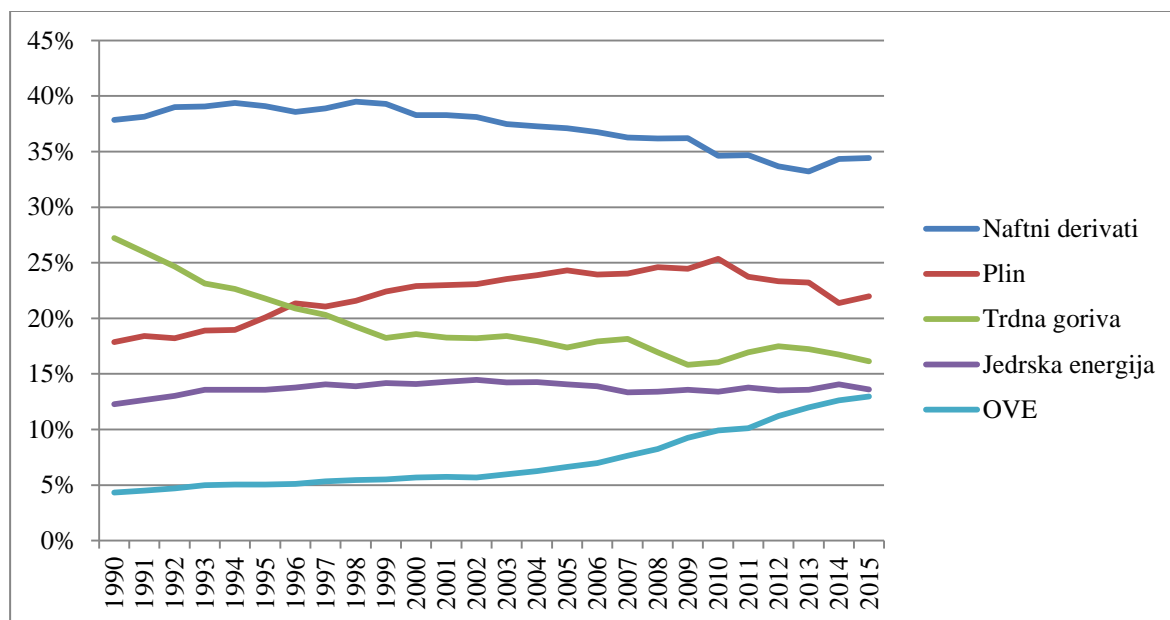
1.2.2.3 Energetske subvencije

Na Sliki 2 so predstavljeni deleži porabe energije glede na vir energije od leta 1990 do leta 2015. Poraba energije iz fosilnih goriv v EU se je v zadnjih desetletjih postopoma zmanjševala, poraba energije iz OVE se je znatno povečala, medtem ko se je poraba jedrske energije le rahlo povečala (European Commission, 2016). Sprememba porabe iz različnih virov energije odraža spremenjeno energetske politiko EU, ki je po drugi svetovni vojni morala rešiti problem povečevanja povpraševanja po energiji z razširitvijo in ojačanjem prenosne infrastrukture. V sedemdesetih letih 20. stoletja je energetska varnost postala zelo pomemben del energetske politike, jedrska energija pa se je izkazala kot zanesljiva, cenovno ugodna in čista oblika energije (Evropska komisija, 2014a).

Subvencije, ki jih EU izdaja na področju energetike, so potrebne, ker trg ne more samostojno oceniti zunanjih stroškov proizvodnje in potrošnje energije. Države članice in EU posegajo na energetske trg s subvencijami, da bi omejile eksterne stroške, ki negativno vplivajo na zdravje prebivalcev in na okolje (Evropska komisija, 2014a). Evropska komisija (2014b) je v študiji subvencij in stroškov energije v EU (angl. *Subsidies and costs of EU energy*) opravila analizo subvencij energetskega sektorja EU za leto 2012. Analiza je pokazala, da subvencije za proizvodnjo energije zavzemajo 70 % vseh subvencij v energetske sektorju, medtem ko je ostalih 30 % subvencij namenjenih podpiranju povpraševanja ter raziskavam in razvoju v energetiki. Subvencije povpraševanju so

običajno davčne olajšave na potrošnjo energije (davki na energijo, davki na dodano vrednost, drugi davki in dajatve) ali pa zajamčene cene.

Slika 2: Poraba energije v EU po letih glede na vir energije



Povzeto in prirejeno po European Commission, Energy production and imports, 2016.

Večji del subvencij za proizvodnjo energije gre za OVE. Sončna energija je bila tako leta 2012 deležna 15 milijard EUR subvencij, vetrna 11 milijard EUR, biomasa pa 8 milijard EUR. Zaradi sprememb v politiki subvencioniranja, ki so bile sprejete leta 2012, so to verjetno najvišje vrednosti subvencij, ki so jih in jih bodo OVE kdaj dobile. Pomemben delež subvencij pa gre tudi premogu in nuklearni energiji, kar vključuje finančno podporo za razgradnjo reaktorjev in odlaganje jedrskih odpadkov. Podpora za varčevanje z energijo zavzema 8 % vseh subvencij. V letu 2012 sta večino subvencij podelili Nemčija (25 milijard EUR) in Združeno kraljestvo (13 milijard EUR), po višini subvencij pa jima sledita Italija ter Španija.

Zaradi obsežnih subvencij namenjenih energiji iz OVE, se jedrsko industrijsko združenje FORATOM (2017b) skupaj s SFEN (2016) zavzema za vključitev jedrske energije v sklad subvencij EU za obnovljive vire, saj lahko države članice z jedrsko energijo zmanjšajo emisije toplogrednih plinov ob doseganju energetske in razvojne ciljeve EU. FORATOM je mnenja, da bi vse nizkoogljične tehnologije morale biti obravnavane enako, ker se samo tako lahko zagotovi pravilne cenovne signale za investicije v nizkoogljične tehnologije pridobivanja energije.

Poleg subvencij, namenjenih proizvodnji elektrike, EU podeljuje tudi subvencije, ki so namenjene raziskavam in razvoju v energetiki. 19 držav članic EU je med letoma 1974 in

2007 izdalo 87 milijard EUR subvencij za raziskave in razvoj, kar je povprečno 2,6 milijarde EUR na leto. Jedrska energija močno prednjači pred drugimi oblikami energije, saj je bilo kar 78 % subvencij namenjenih raziskavam jedrske energije, večinoma jedrski fisiji. Preostanek subvencij za raziskave in razvoj pa je skoraj enakomerno porazdeljen med OVE (12 %) in tehnologije fosilnih goriv (10 %) (Evropska komisija, 2014b).

1.2.2.4 Sistem za trgovanje z emisijami (sistem ETS)

Sistem ETS je bil vzpostavljen z namenom omejitve emisij toplogrednih plinov v gospodarstvu EU in je eno glavnih orodij za doseganje razogljičenja gospodarstva in doseganje okoljevarstvenih ciljev unije. Trg emisijskih kuponov EU je trenutno največji trg za trgovanje z emisijskimi kuponi na svetu (Evropska komisija, 2015).

Doseganje zmanjšanja emisij z emisijskimi kuponi deluje tako, da EU določi količino dovoljenih emisij v koledarskem letu, ki je razdeljena na kupone. Kupone prejmejo gospodarske družbe, ki lahko s kuponi trgujejo. Skozi leta se dovoljena količina emisij zmanjšuje, kar pomeni, da so tudi gospodarske družbe upravičene do vedno manj kuponov letno. EU želi s sistemom trgovanja z emisijami zagotoviti razumno ceno za emisije ogljika ter spodbuditi stroškovno učinkovito zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Evropska komisija stoji za odločitvijo vzpostavitve trga emisijskih kuponov, saj je zanjo sistem tehnološko nevtralen, stroškovno učinkovit in deluje kot učinkovit spodbujevalec naložb v nizkoogljicne tehnologije. Kot bom pokazala v nadaljevanju, pa se je sistem ETS zaradi prenizkih cen emisij izkazal kot neučinkovit in bo v prihodnosti deležen prenove.

V sistem je trenutno vključenih 11.000 gospodarskih družb 28 članic EU ter Norveške, Islandije in Lihtenštajna, sistem pa pokriva 45 % vseh proizvedenih emisij v EU (Evropska komisija, 2017a). Leta 2011 je bila vrednost emisijskih kuponov 112 milijard EUR, vendar je količina leta 2012 padla na 75 milijard EUR, na najnižjo raven od leta 2008 (WNA, 2017a). Od obetavnega začetka leta 2005 je cena emisijskih kuponov padla pod pričakovano raven, kar nakazuje na probleme v osnovi sistema. Ker sistem ETS trenutno zajema samo nekatere sektorje (predvsem energijsko intenzivne sektorje ter letalske prevoznike), je potrebno določiti nacionalne cilje za sektorje, ki niso vključeni v sistem ETS (Evropska komisija, 2015).

Trenutno so emisijski kuponi zelo poceni, ker se je zaradi gospodarske krize povpraševanje po njih zmanjšalo, medtem ko je ponudba ostala nespremenjena. Do leta 2013 je bilo približno dve milijardi preveč izdanih kvot v primerjavi z dejanskimi emisijami, ki se bodo lahko do leta 2020 povečale na 2,6 milijarde, če se sistem ne bo spremenil. Zaradi prevelike količine izdanih kvot podjetja niso motivirana za vlaganje v zelene tehnologije, kar ovira učinkovitost sheme in doseganje ciljev v času podnebnih sprememb. Medtem ko je minimalna ciljna cena 30 EUR na tona CO₂, je bila cena avgusta 2017 na zgodovinsko

najnižji ravni pri 5 EUR na tono. Evropska Komisija je zato predlagala reformo sistema EU ETS v četrti fazi (2021–2030) (Evropska komisija, 2015).

Predlogi Evropske komisije (2015) za izboljšanje delovanja trga emisijskih kuponov ETS so naslednji:

- pregled sistema brezplačnih kvot z osredotočenjem na sektorje z največjim tveganjem za prenos njihove proizvodnje izven EU (to vključuje okoli 50 sektorjev);
- precejšnje število brezplačnih kvot, postavljeno na stran za nove in rastoče obrate;
- bolj prilagodljiva pravila za boljšo uskladitev števila brezplačnih kvot s količino dejansko proizvedenih emisij;
- nadgradnja 52 meril, ki se jih uporablja za merjenje emisijske uspešnosti, ki odražajo tehnološki napredek od leta 2008 naprej.

Dovolj visoka cena emisijskih kuponov, ki bi vzpodbujala nove investicije v nizkoogljične tehnologije, bi bila odličen način za zmanjševanje okolju škodljivih emisij.

1.2.3 Energetska strategija EU

1.2.3.1 Okoljevarstveni cilji

Leta 2008 je Evropska komisija postavila okoljevarstvene in energetske cilje 20–20–20 do leta 2020, kar pomeni 20 % zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov glede na izpuste v letu 1990, 20 % delež OVE v vsej porabljeni energiji in 20 % izboljšanje energetske učinkovitosti (Evropska komisija, 2017b). Z doseganjem teh ciljev se bo povečala energetska varnost EU, saj energija iz OVE ni odvisna od uvoza goriva iz tretjih držav, povečalo pa se bo tudi število delovnih mest in gospodarska rast bo višja, EU pa bo postala bolj konkurenčna.

Leta 2014 je Evropski svet sprejel Klimatski in energetske okvir do leta 2030, ki se za zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov ne zanaša več toliko na OVE in tako pušča prostor za vse nizkoogljične oblike pridobivanja energije. Osredotoča se na razogljčenje gospodarstva in ne na načine, kako priti do tega cilja. Glavna točka Okvira 2030 je zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov do leta 2030 za 40 % glede na leto 1990, kar bo zahtevalo veliko predanost posameznih držav članic EU. To pomeni 43 % zmanjšanje izpustov glede na leto 2005 za izpuste ogljika, ki ga proizvedejo gospodarske družbe, ki so vključene v sistem ETS in 30 % zmanjšanje izpustov za ostale proizvajalce, ki niso vključeni v sistem. Cilj 40 % zmanjšanja je bil razdeljen na obvezujoče cilje vsake države članice EU. V Klimatskem okviru do leta 2030 si je EU tudi zadala cilj 27 % deleža OVE v energetske mešanici in 27 % izboljšanje energetske učinkovitosti. Po letu 2020 EU ne načrtuje postavljanja ciljev v količini porabljene energije iz OVE na ravni držav članic; članice si bodo lahko samostojno izbirale energetske mešanice in proizvodnjo energije

tako, da bodo dosegale zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov na dolgi rok (Evropski Svet, 2014).

V Okviru 2030 je zajet tudi predlog prenove sistema ETS. Evropska komisija meni, da bi ta sistem moral biti glavno gonilo okoljevarstvene politike EU. Dovoljene izpuste bo EU od leta 2021 naprej zmanjševala za 2,2 % na letni ravni, kar je bolj agresivno kot trenutnih 1,74 %. Brezplačni emisijski kuponi bodo med članice razdeljeni solidarno, kar pomeni, da bodo države, katerih bruto domači proizvod (v nadaljevanju BDP) ne dosega 60 % povprečnega BDP EU, lahko podeljevale brezplačne emisijske kupone do leta 2030, ostale članice pa bodo imele to pravico samo do leta 2020.

V Tabeli 4 so predstavljeni energetske in okoljevarstveni cilji EU do leta 2020, 2030 in 2050. V Klimatskem in energetske okvirju EU do leta 2050 si je EU zadala znižanje izpustov toplogrednih plinov v višini 80 % glede na leto 1990. V okviru do leta 2050 si EU ni zadala ciljnega deleža OVE v energetske mešanici in ciljnega izboljšanja energetske učinkovitosti, saj to prepušča trgu, ki naj bi sam poiskal cenovno optimalno energetske mešanico, ki bo dosegla znižanje izpustov toplogrednih plinov (Evropska komisija (2016b)).

Tabela 4: Okoljevarstveni in energetske cilji EU

	Znižanje izpustov toplogrednih plinov glede na leto 1990 (v %)	Delež OVE v energetske mešanici (v %)	Izboljšanje energetske učinkovitosti (v %)
Cilji 2020	20	20	20
Cilji 2030	40	27	27
Cilji 2050	80	/	/

Povzeto in prirejeno po Evropska komisija, EU Reference Scenario 2016 - Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, 2016b.

Z namenom spodbujanja razvoja energetske tehnologije je EU vzpostavila Strateški energetske tehnološki načrt (angl. *Strategic Energy Technology Plan* – v nadaljevanju SET-Plan), ki pripravlja energijske tehnološke politiko EU, tako da združuje več platform, s katerimi povezuje države, industrije in razvoj na ključnih področjih. Eno glavnih področij, s katerimi se ukvarja SET-Plan, je Trajnostna tehnološka platforma za jedrske energije (angl. *Sustainable Nuclear Energy Technology Platform*). Cilj platforme je pospeševanje uporabe nizkoogljicnih tehnologij in razvoj novih tehnologij ter znižanje stroškov s koordiniranim raziskovanjem in finančnim podpiranjem projektov (Evropska komisija, 2017c). Z vzpostavitvijo SET-Plana EU spodbuja razvoj čiste energetske tehnologije, h kateri spada tudi jedrske energije.

1.2.3.2 Varnost oskrbe

Zaradi negotovosti pri dobavi zemeljskega plina iz Rusije je maja 2014 Evropska komisija predlagala novo strategijo za varnost energetske oskrbe (Evropska komisija, 2017d), saj je leta 2013 kar 39 % uvoženega zemeljskega plina prišlo iz Rusije. EU iz Rusije in Norveške skupaj uvozi več kot polovico zemeljskega plina in 40 % surove nafte.

EU uvaža 53 % vse porabljene energije, in sicer (Evropska komisija, 2017d):

- 90 % surove nafte,
- 66 % zemeljskega plina,
- 42 % premoga in ostalih trdih goriv,
- 40 % urana in drugih jedrskih goriv.

Razpršitev virov uvoza, izboljšanje energetske infrastrukture, vzpostavitev notranjega energetskega trga EU ter varčevanje z energijo so glavne točke strategije za varnost oskrbe. EU namerava prav tako povečati lastno proizvodnjo energije, izboljšati prenos energije in zmanjšati svojo odvisnost od zunanjih dobaviteljev (Evropska komisija, 2017d).

V luči energetske varnosti Evropska komisija priznava, da je jedrska energija zanesljiv vir nizkoogljične energije in da igra pomembno vlogo pri zagotavljanju energetske varnosti, saj nekatere države EU že sedaj obvladajo tehnologije procesiranja in obogatitve jedrskih goriv, kar izboljšuje varnost oskrbe. Zagotovitev uvoza jedrskih goriv iz različnih virov za trenutno aktivne jedrske reaktorje in za tiste, ki se šele bodo zgradili, je naloga Evropske skupnosti za jedrsko energijo (angl. *The European Atomic Energy Community* – v nadaljevanju Euratom). Ker se jedrsko gorivo lahko shranjuje lokalno za potrebe naslednjih 10 let proizvodnje energije, se jedrska energija smatra za lokalno proizvedeno energijo (Evropska komisija, 2017d).

1.2.4 Ocena tveganja in varnosti jedrskih elektrarn

Kot odgovor na jedrsko nesrečo v Fukušimi so bile leta 2011 vse jedrske elektrarne EU podvržene celovitim ocenam tveganja in varnosti – tako imenovanim stresnim testom jedrskih elektrarn. Preverjeni so bili varnostni standardi posameznih elektrarn za obvladovanje nepričakovanih skrajnih dogodkov. Testi so merili sposobnost jedrskih objektov, da prenesejo poškodbe zaradi dogodkov, kot so potresi, poplave, teroristični napadi ali trčenja letal v objekte. Medtem ko so ugotovitve pokazale, da so varnostni standardi jedrskih elektrarn v EU na splošno visoki, so bile priporočene nadaljnje izboljšave (Evropska komisija, 2012).

Izvajanje priporočil za testiranje izjemnih situacij je nacionalna odgovornost in jo morajo zagotavljati upravljavci jedrskih obratov in nacionalni regulativni organi. Ukrepi za

povečanje varnosti elektrarn vključujejo dodatno premično opremo za preprečevanje težkih nesreč ali blažitev njihovih posledic, vgradnjo ojačane varnostne opreme ter izboljšave na področju obvladovanja težkih nesreč, skupaj z ustreznimi ukrepi za usposabljanje osebja. Komisija je ocenila stroške, ki bi nastali zaradi potrebnega dodatnega izboljšanja varnosti, na 30 do 200 milijonov EUR na reaktorsko enoto; skupni stroški za vse jedrske reaktorje, ki so delovali v letu 2012 v EU, bi tako lahko znašali med 10 in 25 milijardami EUR (Evropska komisija, 2012).

1.2.5 Odnos posameznih držav članic EU do jedrske energije

Mnenja držav članic o uporabi jedrske energije so deljena, predvsem so se polarizirala po jedrski nesreči v Fukušimi leta 2011. Medtem ko Francija podpira jedrsko energijo in večino svoje energije pridobiva iz tega vira, se je Nemčija odločila do leta 2022 izklopiti vse svoje jedrske reaktorje (Matthes, 2012).

Francija ima 58 jedrskih reaktorjev, kar je največ od vseh držav članic EU, še eden pa je trenutno v gradnji. Francija pridobi približno 75 % svoje energije iz jedrskih reaktorjev, kar temelji na dolgotrajni državni politiki varne oskrbe, 17 % energije pa prihaja iz recikliranih jedrskih goriv. Francija je zaradi nizkih stroškov proizvodnje največja izvoznica jedrske energije in letno s tem zasluži 3 milijarde EUR (WNA, 2017b).

Francoska vlada že od leta 1960 močno podpira uporabo jedrske energije in svojega mnenja ni spremenila tudi po nesreči v Fukušimi. Vendar starajoči se jedrski reaktorji predstavljajo velik izziv za francosko vlado, saj bo 80 % reaktorjev, ki proizvajajo 60 % elektrike v Franciji, zastaralo med leti 2017 in 2027. Zaradi staranja reaktorjev se delež porabljene energije iz jedrskih reaktorjev lahko že do leta 2025 zmanjša na 50 % (Schneider, 2013).

Nemčija je do leta 2011 pridobila eno četrtno svoje energije iz 17 jedrskih reaktorjev. Po nesreči v Fukušimi in izključitvi nekaterih reaktorjev sedaj iz svojih 8 preostalih delujočih reaktorjev pridobi 14 % energije, medtem ko 43 % elektrike pridobiva iz premoga, večinoma iz lignita. Nemčija ni predstavila nobenih načrtov za opustitev pridobivanja energije iz fosilnih goriv. Zaradi njene energetske politike je ena izmed držav z najnižjimi veleprodajnimi cenami energije in najvišjimi maloprodajnimi cenami (WNA, 2017b). Njena odločitev, da do leta 2022 izključi jedrske reaktorje, temelji na zakonodaji iz leta 2002. Ta je bila leta 2010 popravljena, tako da je podaljšala obratovalno dobo jedrskih reaktorjev, vendar je nemški parlament poleti 2011 to spremembo izničil, tako da je rahlo pospešil zapiranje jedrskih reaktorjev, kar pomeni, da so bili trg in proizvajalci pripravljeni na izključitev. Matthes (2012) razlaga, da je to razlog, da je bil vpliv na cene ob izključitvi 40 % nemške jedrske zmogljivosti manjši, kot so predvideli nekateri modeli. Javna podpora za izključitev je dosegla skoraj 90 %, državljani pa prav tako ne podpirajo gradnje novih reaktorjev. Zunaj Nemčije je bila odločitev za opuščanje jedrske energije po pospešenem načrtu smatrana kot nepremišljena in neodgovorna, predvsem v luči

podnebnih sprememb, ki so v ospredju politične debate. Nemčija se je tako v času podnebnih sprememb odločila za izključitev jedrskih reaktorjev, ki predstavljajo vir čiste energije (Glaser, 2012).

Švedska ima trenutno 9 aktivnih jedrskih reaktorjev, ki proizvedejo 40 % energije, ki je država porabi. Bila je prva država na svetu, ki se je zavezala k opustitvi jedrske energije. Že leta 1976, veliko prej kot v drugih državah, je politično vprašanje jedrske energije postalo zelo pomembno. Leta 1980 so se prebivalci Švedske na referendumu odločili za opustitev jedrske energije in posledično se je parlament odločil za ukinitvev jedrske energije po letu 2010. Februarja 2009 pa je desnosredinsko zavezništvo odločilo razveljaviti 30-letno prepoved jedrske energije kot del načrta za povečanje energetske varnosti in boja proti globalnemu segrevanju. Na podlagi odločitve parlamenta je Švedska preklicala zavezo o ukinitvi jedrskih elektrarn junija 2010 (Roßegger & Ramin, 2013). Leta 2015 se je vlada odločila, da bo do leta 2020 zaprla štiri starejše reaktorje. Zaradi politike opustitve jedrske energije na Švedskem še vedno obstaja davčna diskriminacija zoper jedrsko energijo – proizvajalci plačujejo približno 0,75 EUR na kilovatno uro (v nadaljevanju kWh), kar predstavlja približno tretjino obratovalnih stroškov jedrske energije. V primerjavi z jedrsko energijo sta vetrna energija in biomasa močno subvencionirani, davek na jedrsko energijo pa nameravajo ukiniti do leta 2019 (WNA, 2017b).

Združeno kraljestvo ima 15 jedrskih reaktorjev, ki trenutno proizvedejo 21 % porabljene energije. Leta 1997, ko je bila količina proizvedene jedrske energije v državi na vrhuncu, je ta predstavljala 26 % vse proizvedene energije. Skoraj polovica sedanjih jedrskih kapacitet se bo izključila do leta 2025, država pa načrtuje gradnjo 11 novih jedrskih reaktorjev, prvi med njimi pa naj bi začeli obratovati leta 2025 (WNA, 2017b).

Belgijskih 7 jedrskih reaktorjev proizvede približno polovico belgijske energije. Od leta 2003 naprej ni bilo opazne podpore vlade jedrski energiji, leta 2014 pa so uvedli davek na jedrsko energijo. Leta 2003 je belgijski senat odobril prepoved gradnje novih jedrskih reaktorjev in omejil operativno dobo aktivnih jedrskih reaktorjev na 40 let (do leta 2014 oziroma 2025). EU je belgijski vladi svetovala ponoven premislek o odločitvi za opustitev jedrske energije, saj se bo tako cena energije v Belgiji podvojila, država pa bo težko dosegla cilje zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov in povečala svojo odvisnost od uvožene energije. Opustitev jedrske energije podpira 59 % Belgijcev, ki se strinjajo z opustitvijo jedrske energije do leta 2025 (WNA, 2017b).

Poljska do leta 2015 načrtuje gradnjo 11 jedrskih reaktorjev, da bi zmanjšala močno odvisnost od premoga in uvoženega zemeljskega plina (WNA, 2017a).

Španija ima 7 jedrskih reaktorjev, ki proizvedejo 20 % njene porabljene električne energije. Španska vlada se je začela nagibati v prid jedrski energiji, saj so subvencije za energijo iz OVE postale predrage (WNA, 2017b).

Češka ima 6 jedrskih reaktorjev, ki proizvedejo približno tretjino njene porabljene električne energije. Češka vlada se je zavezala k uporabi jedrske energije v prihodnosti in jo vključila v energetska politiko, ki je bila začrtana leta 2015 (WNA, 2017b).

Slovenija od leta 1981 deli jedrski reaktor Krško s Hrvaško, dodatno povečanje zmogljivosti v prihodnosti pa je še pod vprašajem. Ferjan (2008) ugotavlja, da je izgradnja drugega reaktorja elektrarne Krško ob trendih povečevanja porabe energije nujna, če želimo doseči stabilnost dolgoročne oskrbe z energijo.

Finska ima 4 jedrske reaktorje, ki proizvedejo 30 % njene električne energije. Peti reaktor je trenutno v gradnji, še eden pa je v fazi načrtovanja (WNA, 2017a).

Bolgarija ima 2 jedrska reaktorja, ki proizvedeta približno tretjino njene električne energije. Bolgarska vlada je naklonjena jedrski energiji, oviro pa predstavlja financiranje velikih projektov. Bolgarija je v preteklosti načrtovala gradnjo novega reaktorja, vendar so načrte opustili, namesto tega pa bodo enemu izmed že obstoječih reaktorjev dodali 1.200 MW zmogljivosti (WNA, 2017b).

Madžarska ima 4 jedrske reaktorje, ki proizvedejo več kot tretjino njene porabljene energije, načrtovana pa je tudi gradnja dveh novih. Jedrska energija uživa močno podporo madžarske vlade (WNA, 2017a).

Litva je leta 2009 zaradi pritiskov s strani EU zaprla svoj zadnji jedrski reaktor, ki je proizvajal 70 % njene energije. Pred zaprtjem je električna energija predstavljala pomemben izvoz države. Trenutno je v načrtu gradnja novega reaktorja, pri kateri bodo sodelovale tudi druge baltske države, Poljska in EU. Glavni razlog gradnje jedrskega reaktorja v Litvi je zmanjšanje odvisnosti od Rusije (WNA, 2017b).

Nizozemska ima en jedrski reaktor, ki proizvaja majhen delež njene proizvedene električne energije. Predhodna politika opustitve jedrske energije je bila preklicana, predlagana pa je bila gradnja novega jedrskega reaktorja (WNA, 2017b).

Romunija ima dva jedrska reaktorja, ki proizvedeta skoraj 20 % njene električne energije. Njen drugi reaktor je bil priključen v omrežje leta 2007, v gradnji pa sta še dva (WNA, 2017a).

Slovaška ima 4 jedrske reaktorje, ki proizvedejo polovico njene električne energije, še dva sta trenutno v gradnji, jedrsko energijo pa podpira tudi slovaška vlada (WNA, 2017a).

1.3 Javno mnenje

Pri odločitvi za jedrsko energijo je potrebno upoštevati tudi dejavnike, ki jih težko ocenimo s številkami, kot je na primer javno mnenje o jedrski energiji. Javno mnenje prebivalcev EU kaže, da še vedno nismo dovolj obveščeni o prednostih in realnih tveganjih uporabe jedrske energije (Evropska komisija, 2007a).

OECD v primerjalni študiji iz leta 2010, v katero je bila zajeta tudi EU, ugotavlja, da trenutno mnenje prebivalcev OECD ni naklonjeno jedrski energiji in da se v odsotnosti jedrskih nesreč mnenje prebivalstva spreminja počasi, vendar v mnogih obravnavanih državah podpora jedrski energiji raste. Javno mnenje je zelo pomembno pri oblikovanju energetske politike, je pa vpliv lahko tudi obraten – energetska politika lahko vpliva na javno mnenje. Javnomenjska naklonjenost je običajno povezana z izkušnjami in s poznavanjem jedrske energije. Medtem ko je javnost dobro obveščena o prispevku jedrske energije k varni oskrbi z energijo, je njen potencialen doprinos k zmanjševanju podnebnih sprememb manj prepoznan. Eurobarometer (Evropska komisija, 2007a) je pokazal, da 46 % vprašanih prepoznava pozitiven vpliv jedrske energije na zmanjševanje globalnega segrevanja, 23 % vprašanih pa ni odgovorilo na vprašanje o učinku jedrske energije na globalno segrevanje, kar kaže na slabo informiranost Evropejcev o nizkem izpustu toplogrednih plinov jedrske energije v primerjavi z drugimi viri energije, kot sta premog in nafta.

Evropejci pozitivno dojemajo jedrsko energijo v smislu njenega prispevka k energetske neodvisnosti in stabilnosti cen energije. Kljub temu se vprašanim povečanje deleža jedrske energije ne zdi prava rešitev evropskih energetske izzivov, kot so vse večje povpraševanje po energiji in boj proti globalnemu segrevanju. Potencialna nevarnost, ki jo jedrska energija predstavlja, se odraža v nepripravljenosti ljudi, da jo podpre – 53 % Evropejcev meni, da tveganja, ki jih predstavlja jedrska energija, odtehtajo njene prednosti, enak odstotek državljanov pa meni, da jedrske elektrarne predstavljajo nevarnost za njih in za njihove družine (Evropska komisija, 2007a).

Na splošno je javno mnenje o jedrski energiji bolj pozitivno v državah, katere že imajo jedrske reaktorje kot pa v državah brez lokalne proizvodnje. Švedska (s 77 % pozitivnih odgovorov) in Finska (s 64 % pozitivnih odgovorov) sta državi, v katerih je obsežen del energije proizveden z jedrsko fisijo in imata največji delež državljanov, ki verjamejo v pozitivno vlogo, ki jo igra jedrska energija v boju proti globalnemu segrevanju (Evropska komisija, 2007b). Vlade držav članic, ki si želijo boljši izkoristek potenciala jedrske energije, se bodo morale potruditi javnosti ponuditi odkrite, iskrene in uravnotežene informacije. Javno mnenje se spreminja počasi, v primeru jedrskih nesreč pa se naklonjenost jedrski energiji zmanjša in se s časom zelo počasi povečuje.

2 TVEGANJA IN KORISTI JEDRSKE ENERGIJE

2.1 Stroškovna primerjava

Ocena relativnih stroškov elektrarn, ki energijo pridobivajo z različnimi vrstami tehnologije je zapletena, saj so stroški elektrike zelo odvisni tudi od lokacije elektrarne – proizvodnja elektrike iz premoga je na primer bistveno cenejša, če se blizu elektrarne nahaja rudnik premoga, kot pa če je premog potrebno uvažati. V primerjavi je gradnja jedrskih elektrarn draga, vendar je nadaljnje obratovanje jedrskih elektrarn relativno poceni (WNA, 2017g).

Pri oceni stroškov jedrske energije so upoštevani različni stroškovni dejavniki (WNA, 2017g):

- Stroški kapitala, ki vključujejo stroške priprave lokacije, gradnjo, zagon in financiranje jedrske elektrarne.
- Obratovalni stroški, ki vključujejo stroške goriva, obratovanja in vzdrževanja ter rezervacije za financiranje stroškov razgradnje elektrarne ter obdelavo in odlaganje rabljenega goriva in odpadkov. Obratovalne stroške delimo na fiksne stroške, ki nastajajo ne glede na to, ali elektrarna ustvarja elektriko, in spremenljive (variabilne) stroške, ki so odvisni od proizvodnje elektrike.
- Zunanji (eksterni) stroški, ki so v primeru jedrske energije običajno nični, v primeru jedrske nesreče pa vključujejo tudi stroške posledic nesreče.
- Drugi stroški, kot so sistemski stroški in davki na jedrsko energijo.

Jedrska energija ima precej drugačen finančni profil glede na druge konvencionalne elektrarne z visokimi začetnimi stroški gradnje, relativno nizkimi stroški goriva in z na koncu operativne dobe povečanimi stroški razgradnje in ravnanja z odpadki (Schneider & Froggatt, 2016). Poleg tega so pretekli projekti gradnje jedrskih reaktorjev pokazali, da skoraj po pravilu odstopajo od časovnih in stroškovnih okvirjev. Linares in Conchado (2013) v svoji analizi ugotavljata, da v najbolj ugodnem scenariju prekoračitev stroškov znaša vsaj 15 %. Sama obsežnost jedrskih reaktorjev pomeni, da mora biti večina sestavnih delov posebej zasnovanih in izdelanih, pogosto s strani različnih dobaviteljev po vsem svetu. Deli reaktorja, ki so izdelani na različnih lokacijah, so nato pripeljani na lokacijo gradnje in sestavljeni na mestu. Zaradi kompleksnosti reaktorjev vse faze načrtovanja, gradnje, montaže in testiranja zahtevajo visoko usposobljeno in specializirano delovno silo. Ker se zasnove reaktorjev običajno močno razlikujejo, prav tako pa h gradnji vedno prispeva veliko od okolja odvisnih dejavnikov, obstaja malo priložnosti za razpršitev projektnih in proizvodnih stroškov čez več projektov (Davis, 2012). Gradnja jedrskih elektrarn zahteva močan in razvit gradbeni sektor na nacionalni ravni in razvito težko proizvodnjo za proizvodnjo cementa, jekla, strojev in kemikalij (IAEA, 2009). Maja 2009

je bila objavljena posodobitev študije tehnološkega inštituta iz Massachusettsa (angl. *Massachusetts Institute of Technology* – v nadaljevanju MIT) o prihodnosti jedrske energije iz leta 2003. Študija trdi, da so se od leta 2003 do leta 2009 stroški gradnje za vse vrste velikih projektov, ki so bili načrtovani, drastično povečali. Predvideni stroški izgradnje jedrske elektrarne so se v takratni gospodarski recesiji (leta 2009) povečevali za 15 % na leto (MIT, 2009).

Pomemben del stroškov izgradnje in obratovanja jedrskih reaktorjev so prav tako varnostni standardi in regulatorne zahteve po ustrezni varnosti. Po nesreči v Fukušimi so se varnostni standardi za jedrske elektrarne zaostri, kar je povzročilo višje stroške gradnje in povišalo stroške obveznega varnostnega testiranja (Evropska komisija, 2014a). Posledično so stroški gradnje in obratovanja jedrskih elektrarn čez noč poskočili. V vse več državah, na primer v Belgiji, Franciji, Nemčiji, na Nizozemskem, Švedskem, v Švici ter v določenih delih ZDA, so se zgodovinsko nizki obratovalni stroški hitro starajočih se reaktorjev stopnjevali tako hitro, da so obratovalni stroški povprečne enote komaj pod in vse bolj nad povprečno ceno veleprodajne elektrike. V zadnjih petih letih je namreč na evropskih trgih prišlo do dramatičnega padca veleprodajnih cen. Leta 2015 so veleprodajne cene v Nemčiji padle za približno 40 %, na skandinavski trgovalni platformi Nord Pool pa za skoraj 30 % (Schneider & Froggatt, 2016). Del obratovalnih stroškov je tudi strošek goriva, ki pri jedrski energiji predstavlja relativno majhen delež, sploh v primerjavi z elektrarnami na fosilna goriva, kar pomeni, da je vpliv cene jedrskega goriva na stroške proizvodnje elektrike majhen (Tarjanne & Rissanen, 2000). Podvojitve cene urana bi pomenila 10–25 % povečanje obratovalnih stroškov, s tem da bi bil vpliv na stroške pri novejših elektrarnah manjši kot pri starejših. Sprememba cene goriva vpliva na operativne stroške jedrskih elektrarn, vendar je ta majhna zlasti v primerjavi z vplivom cen plina na ekonomiko plinskih elektrarn – pri teh je lahko kar 90 % mejnih stroškov samo strošek goriva. Samo v primeru, da bi se cena jedrskega goriva drastično povišala in takšna ostala daljše obdobje (kar se zdi zelo malo verjetno), bi bil vpliv na stroške proizvodnje jedrskih elektrarn precejšen. Za novejšje jedrske elektrarne pa je cena goriva še manj pomembna. Tipični stroški za jedrsko gorivo novih jedrskih elektrarn so običajno samo 15–20 % obratovalnih stroškov v nasprotju s 30–40 % pri starejših jedrskih elektrarnah. Polovico stroškov urana predstavljajo njegova predelava, obogatitev in izdelava goriva (WNA, 2017g). Pri ocenjevanju stroškov jedrske energije je potrebno upoštevati tudi upravljanje z radioaktivnimi odpadki in stroške končnega odlaganja, toda tudi z upoštevanjem teh stroškov so skupni stroški goriva jedrske elektrarne običajno samo 30–50 % stroškov elektrarn na premog in med 20–25 % stroškov elektrarn na plin.

Zunanji stroški niso vključeni v izgradnjo in obratovanje elektrarn, ne plačajo pa jih potrošniki, temveč celotna skupnost. Zunanji stroški so stroški, ki so dejansko nastali v zvezi z zdravjem in okoljem, vendar niso vgrajeni v stroške električne energije (WNA, 2017g). Primer takšnih stroškov so izpusti toplogrednih plinov, če ne obstaja sistem za trgovanje z emisijskimi kuponi, da bi proizvajalci lahko ponotranjili zunanje stroške.

Več držav članic EU na nek način obdavčuje jedrsko energijo (WNA, 2017g). V Belgiji proizvajalci jedrske energije plačujejo poseben davek, ki ga Belgija v prihodnosti še ne namerava opustiti. Prav tako na Švedskem proizvajalci od leta 2000 plačujejo davek na jedrsko energijo, vendar je Švedska z letom 2017 začela s postopnim opuščanjem davka. V Nemčiji proizvajalci plačujejo poseben davek na jedrsko gorivo, ki se obračunava na porabljen gram jedrskega goriva, proti kateremu se s pravnimi sredstvi trenutno borijo nemški proizvajalci jedrske energije (WNA, 2017g).

Izravnani stroški električne energije (angl. *levelized cost of electricity* – v nadaljevanju LCOE) so metoda, po kateri lahko poskušamo primerjati stroške proizvodnje električne energije glede na različne tehnologije proizvodnje. Gre za ekonomsko oceno povprečnih skupnih stroškov za izgradnjo in upravljanje s sredstvi, ki ustvarjajo energijo med njeno življenjsko dobo, deljeno s skupno porabo energije v tem življenjskem obdobju. LCOE lahko razložimo tudi kot povprečni najnižji strošek, katerega morajo proizvajalci pokriti s prodajo električne energije, da bi lahko skozi celotno življenjsko dobo projekta dosegali točko donosnosti (WNA, 2017g).

Raziskava OECD, IEA & NEA (2015), ki je zajela 181 elektrarn (od tega 11 jedrskih) v 22 državah, je pokazala, da so LCOE za jedrsko energijo veliko bolj odvisni od uporabljene diskontne stopnje kot pa LCOE za elektrarne na fosilna goriva (premog in zemeljski plin), saj je jedrska energija zelo kapitalsko intenzivna. V Tabeli 5 so predstavljeni LCOE v ameriških dolarjih (v nadaljevanju USD) na megavatno uro (v nadaljevanju MWh). Pri uporabljeni 3 % diskontni stopnji je jedrska energija precej cenejša kot alternative. Pri 7 % obrestni meri je jedrska energija še vedno cenejša od ostalih alternativ, vendar se LCOE energije iz zemeljskega plina in premoga zaradi povišane obrestne mere ne dvigne toliko kot LCOE jedrske energije. Pri 10 % obrestni meri je LCOE jedrske energije primerljiv s stroški energije iz premoga in plina. Pri vseh uporabljenih diskontnih stopnjah pa je jedrska energija še vedno cenejša od vetrne in sončne energije. Ker imajo jedrske elektrarne sorazmerno visok kapitalski strošek, vendar nizke obratovalne stroške, je pomembno, da jedrske elektrarne ves čas obratujejo z maksimalno zmogljivostjo in oskrbujejo sistem z zanesljivo pasovno električno energijo.

Metodi izravnanih stroškov pri primerjavi cen elektrike proizvedene z različnimi tehnologijami pa nasprotuje Paul Joskow (2010), ki dokazuje, da ta metoda ni primerna za primerjavo prekinitvenih tehnologij, kot so vetrne in sončne energije, s pasovnimi tehnologijami, kot sta jedrska energija in energija iz fosilnih goriv. Problematika metode izravnanih stroškov energije je zlasti ta, da ne upošteva časovnih učinkov, povezanih z ujemajočo proizvodnjo na zahtevo. Pri elektrarnah na fosilna goriva in jedrskih elektrarnah je nemogoče hitro povečati proizvodnjo elektrike. Kapitalsko intenzivne tehnologije pridobivanja elektrike, kot so vetrna, sončna in jedrska, so ekonomsko prikrajšane, razen če proizvajajo z največjo razpoložljivo zmogljivostjo, saj so njihovi LCOE skoraj v celoti

samo kapitalni stroški. Istočasno pa so lahko prekinitveni viri (sončna in vetrna energija) konkurenčni, če so na voljo za proizvodnjo, ko so povpraševanje in cene najvišje, kot na primer povpraševanje po sončni energiji v vročih poletnih mesecih, ko klimatske naprave predstavljajo velik del potrošnje elektrike.

Tabela 5: LCOE tehnologij pri različnih obrestnih merah

Tehnologija	LCOE ob 3 % obrestni meri (USD/MWh)	LCOE ob 7 % obrestni meri (USD/MWh)	LCOE ob 10 % obrestni meri (USD/MWh)
Zemeljski plin	61–133	66–138	71–143
Premog	66–95	76–107	83–119
Jedrska	29–64	40–101	51–136
Sončna (rezidenčna)	96–218	132–293	162–374
Sončna (komercialna)	69–142	98–190	121–230
Sončna (velike elektrarne)	54–181	80–239	103–290
Vetrna (na kopnem)	33–135	43–182	52–223
Vetrna (na morju)	98–214	136–275	167–327

Povzeto in prirejeno po OECD, IEA & NEA, Projected Costs of Generating Electricity, 2015.

Pri oceni stroškovne učinkovitosti jedrskih elektrarn pa je pomembno razlikovati med ekonomiko že delujočih jedrskih elektrarn in tistih v fazi načrtovanja. Ko stroški kapitalnih naložb postanejo nepovratni stroški (torej stroški, ki so potrebni za vstop na trg ali delovanje na njem, vendar pa se ob izstopu iz trga ne povrnejo), obstoječe elektrarne delujejo z zelo nizkimi stroški. Njihovo delovanje in vzdrževanje ter stroški goriva (vključno z rabljenim gorivom) so skupaj s hidroelektrarnami med najcenejšimi viri energije ter so tako primerni za dobavo pasovne električne energije (WNA, 2017g).

Evropska komisija je leta 1991 v sodelovanju z Ministrstvom za energijo ZDA začela projekt *ExternE*, ki je bil prvi raziskovalni projekt takšne vrste in je bil začel z namenom ocenjevanja zunanjih stroškov, ki nastanejo zaradi različnih oblik proizvodnje električne energije v EU. Pri oceni zunanjih stroškov, ki jih povzroča jedrska energija, se je upoštevalo tveganje nesreč skupaj z ocenami vpliva sevanja zaradi izkopavanja uranove rude. Rezultati projekta so pokazali, da so zunanji stroški proizvodnje jedrske energije v povprečju 0,004 EUR/kWh, kar je enako kot pri hidroenergiji; zunanji stroški energije iz premoga presegajo 0,04 EUR/kWh (rezultati so pokazali med 0,041–0,073 EUR), zunanji stroški energije iz plinskih elektrarn so 0,013–0,023 centov EUR/kWh, samo vetrna energija pa je imela boljši rezultat kot jedrska, in sicer v povprečju 0,001–0,002 EUR/kWh. Ti stroški so samo ocenjeni zunanji stroški – če bi bili ti stroški dejansko vključeni v ceno energije, bi se cena električne energije iz premoga podražila za 200 %, energija iz plina pa za 30 % (Evropska komisija, 2004). V to oceno zunanjih stroškov ni bil vključen vpliv proizvodnje energije na globalno segrevanje, ki bi bil lahko vključen kot

cena emisijskih kuponov ali pa davek na izpust CO₂ (WNA, 2017g). Ko bodo proizvajalci energije v prihodnosti morali ponotranjiti zunanje stroške s ceno emisij, bo jedrska energija v primerjavi z ostalimi viri energije, predvsem tistimi na trda goriva, postala še bolj konkurenčna.

Linares in Conchado (2013) sta v svoji študiji o stroškovni konkurenčnosti jedrske energije ugotovila, da stroškovna konkurenčnost jedrske energije na liberaliziranih trgih ni zagotovljena – njihovi rezultati so kvečjemu pokazali nasprotno. Ob pogledu na zgodovino jedrske energije in ob upoštevanju zaostrovanja varnostnih predpisov v prihodnosti zaključita, da jedrske elektrarne ne morejo biti konkurenčne izključno na ekonomski osnovi. Stroški jedrske energije tako niso ena izmed prednosti, ampak so še eden od izzivov, s katerim se srečuje jedrska industrija, kar pomeni, da argument, da bodo z ukinitvijo jedrske energije cene na trgu elektrike zrasle, ne zdrži resne presoje.

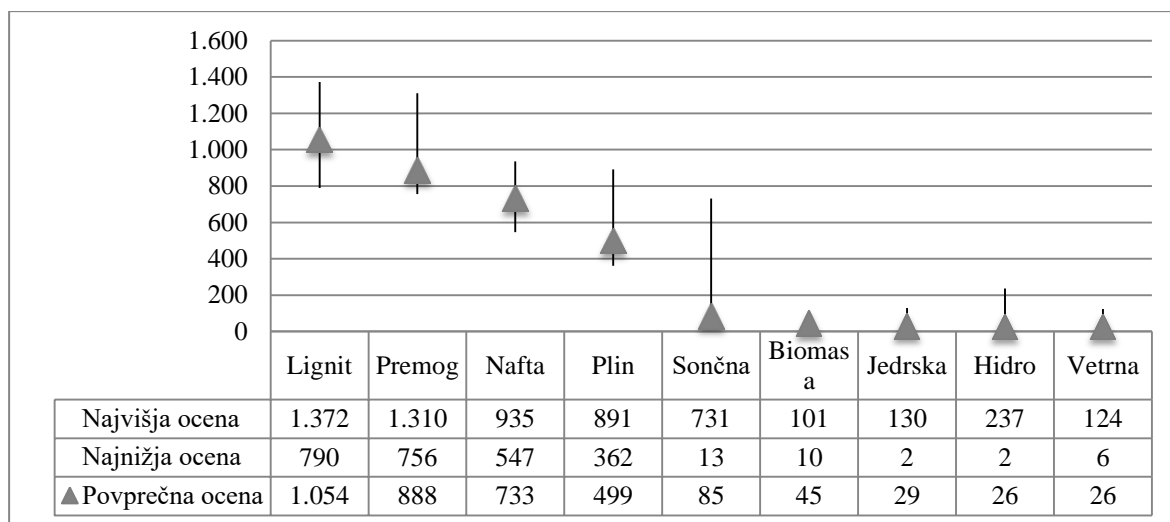
Kljub relativni stroškovni konkurenčnosti jedrskih elektrarn pa se veliko teh elektrarn in elektrarn na fosilna goriva bori s padajočimi veleprodajnimi cenami elektrike, zmanjšanjem števila odjemalcev, zmanjšano porabo elektrike, visokimi prevzetimi finančnimi obveznostmi, povišanimi stroški proizvodnje v zastaranih elektrarnah in močno konkurenco, predvsem s strani OVE. Energetski giganti, kot so Electricite de France (v nadaljevanju EDF) iz Francije, E.ON in Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk (v nadaljevanju RWE) iz Nemčije in Vattenfall iz Švedske, kot tudi javni gospodarski družbi Teollisuus Voima (v nadaljevanju TVO) iz Finske in České Energetické Závody (v nadaljevanju CEZ) iz Češke so bili v zadnjih letih vsi degradirani s strani kreditnih bonitetnih agencij. Vse javne gospodarske družbe so beležile ogromne izgube na delniškem trgu – delnice EDF so v manj kot enem letu izgubile polovico svoje vrednosti, vrednost delnic RWE pa je v letu 2015 padla za 54 %. Grafenrheinfeld reaktor v Nemčiji je bil izključen iz mreže leta 2015, šest mesecev prej kot je to zahteval zakon, saj se nadaljnje obratovanje ni več izplačalo. Na Švedskem se je leta 2015, po dveh letih dela in porabi več 100 milijonov EUR, ustavila nadgradnja reaktorja Oskarshamn-2. Reaktor Oskarshamn-1 bodo zaprli leta 2017, reaktorja Ringhals-1 in Ringhals-2 pa bosta zaprta leta 2019 in 2020. Operater Ringhalsa Vattenfall je izjavil, da gre švedska jedrska industrija skozi največjo finančno krizo od leta 1970, ko so začeli obratovati prvi komercialni reaktorji (Schneider Schneider & Froggatt, 2016). Trenutna prednost, ki bi jo vlagatelji v jedrsko energijo lahko izkoristili, pa so zgodovinsko nizke obrestne mere. Ker so gradnje jedrskih objektov kapitalsko intenzivne, nizke obrestne mere znatno pripomorejo k nižanju stroškov financiranja gradnje, zato s finančnega vidika nikoli ni bilo bolj primerne obdobja za gradnjo novih obratov.

2.2 Emisije toplogrednih plinov

2.2.1 Nizkoogljična tehnologija

WNA je leta 2011 izdal poročilo, v katerem je primerjal izpuste toplogrednih plinov glede na različne tehnologije proizvodnje elektrike (angl. *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources*). Poročilo v obliki metaštudije, ki je zajelo 21 študij, v katere je bilo skupaj vključenih 83 elektrarn, je povzelo ocenjene izpuste toplogrednih plinov ter primerjalo najvišjo, najnižjo in povprečno oceno izpustov v življenjskem ciklu posamezne tehnologije pridobivanja elektrike v tonah ekvivalenta¹ CO₂ (v nadaljevanju tCO₂e) na GW uro (v nadaljevanju GWh). Kot je predstavljeno na Sliki 3, so študije pokazale, da imajo največje izpuste toplogrednih plinov elektrarne na lignit, sledijo pa jim elektrarne na zemeljski plin in nafto. Elektrarne na biomaso, jedrsko, hidro, vetrno energijo in sončno fotovoltaiko pa imajo bistveno nižje izpuste toplogrednih plinov od virov energije na osnovi fosilnih goriv. Emisije toplogrednih plinov jedrskih elektrarn so nizke in so na podlagi življenjskega cikla primerljive z vetrnimi in hidroelektrarnami ter elektrarnami na biomaso.

Slika 3: Ocenjen ogljični odtis v tCO₂e/GWh glede na tehnologijo pridobivanja energije



Povzeto in prirejeno po WNA, *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources*, 2011.

FORATOM (2017b) izpostavlja, da jedrska energija v EU proizvede polovico nizkoogljične energije. Države članice z več kot 50 % delom jedrske energije med

¹ Da dobimo ekvivalent CO₂ moramo množiti količino posameznih toplogrednih plinov z njihovimi potenciali globalnega segrevanja. Takšen preračun nam omogoča primerjavo ogljičnega odtisa različnih tehnologij pridobivanja energije.

nizkoogljičnimi viri energije so na primer Madžarska, Francija, Belgija, Češka, Slovaška, Bolgarija, Združeno kraljestvo in Slovenija. Jedrske elektrarne proizvajajo količino CO₂, ki je primerljiva s količino, ki jo proizvaja vetrna energija, ter 30-krat manj izpustov CO₂ kot energija iz plinskih elektrarn, 65-krat manj kot energija iz elektrarn na premog in trikrat manj kot sončna energija.

Medvladna skupina za podnebne spremembe (angl. *Intergovernmental Panel on Climate Change* – v nadaljevanju IPCC, 2014) je v svojem poročilu iz leta 2014 prepoznala pozitiven doprinos jedrske energije k znižanju izpustov toplogrednih plinov. Vsako leto jedrska energija omogoča zmanjšanje izpustov CO₂, v količini, ki nastane zaradi vseh avtomobilov v Nemčiji, Španiji, Franciji, Italiji in Združenem kraljestvu skupaj. Skupina je izpostavila, da scenariji, v katerih je globalno segrevanje nižje od 2 stopinj Celzija (v nadaljevanju °C), vključujejo »hitrejše izboljšave v energetske učinkovitosti in povečevanje nizkoogljičnih virov energije iz obnovljivih virov in jedrske energije za trikrat oziroma štirikrat« (IPCC, 2014). Jedrska energija ne proizvaja nobene od škodljivih spojin, kot so dušikov oksid in žveplov dioksid, ki povzročata kisel dež in škodujeta ozonski plasti. Jedrska energija se lahko uporablja skupaj z OVE z namenom doseganja zanesljive, cenovno dostopne in nizkoogljične energetske mešanice.

V luči boja proti podnebnim spremembam IEA & NEA (2015) v skupnem poročilu zaključita, da se mora proizvodnja energije iz jedrskih elektrarn do leta 2050 več kot podvojiti, da bi ostali pod mejo dviga globalne temperature za 2 °C. Podobno tudi IEA (2013) v svojem poročilu, ki zopet govori o meji 2 °C, pravi, da bi bilo potrebno količino jedrske energije, ki je trenutno 392 GW, do leta 2030 dvigniti na 540 GW. Delež jedrske energije v proizvodnji energije se mora dvigniti na 13 % do leta 2030, to je za dve odstotni točki nad današnjim stanjem.

Glede na FORATOM (2016) je energetske sektor tisti sektor, ki ga bo najlažje razogljčiti. FORATOM meni, da mora biti 25 % delež zmogljivosti električne ponudbe iz jedrske energije referenčni cilj za leto 2050. Z manjšim deležem pa bo doseganje razogljčenja težje dosegljivo, izgubljala se bodo dragocena osnovna sredstva, zmanjšala pa se bo tudi raznolikost oskrbe, kar bo vodilo do povečane uporabe fosilnih goriv, kot se trenutno dogaja v Nemčiji. Tam je opuščanje jedrske energije vodilo do višjih stroškov in večjih izpustov toplogrednih plinov. Leta 2013 bi v Nemčiji, če jedrska energija ne bi bila na voljo in bi te zmogljivosti proporcionalno razdelili med druge elemente energetske mešanice, povišali izpuste toplogrednih plinov za okoli 50 milijonov ton na leto, kar predstavlja 15 % vseh nemških izpustov. Vendar trenutno politika opuščanja jedrske energije ni enakomerno porazdeljena med ostale vire energije – viden je močan prehod na premog, kar še povečuje izpuste toplogrednih plinov (FORAOM, 2016).

V prihodnosti ni pričakovati, da bodo države dejansko povečale svoje jedrske zmogljivosti nad tiste, katerim so se zavezale, če upoštevamo dolgotrajnost načrtovanja, licenciranja in

gradnje takšnih obratov. Čeprav je potrebno zmanjšati onesnaževanje do leta 2030, v takem časovnem roku ni mogoče znatno povečati proizvodnih zmogljivosti jedrske energije, zato bo razogljičenje močno odvisno od učinkovitosti porabe energije in OVE (Schneider & Froggatt, 2016). Nasprotno pa avtorji poročila *Global Energy Assessment Towards a Sustainable Future* (Global Energy Assessment & International Institute for Applied System Analysis, 2012) ocenjujejo, da sta opustitev jedrske energije in hkratno doseganje trajnostnih ciljev mogoča, kar pomeni, da je v rokah nacionalnih vlad, ali bodo jedrsko energijo uporabile kot orodje doseganja razogljičenja ali pa se bodo doseganja okoljevarstvenih ciljev lotile kako drugače.

2.2.2 Energetske subvencije

Vlade držav članic so z namenom usmerjanja razvoja energetskega sektorja v preteklih letih na trg posegale na različne načine. Uvedle so regulativne ali finančni ukrepe, ki vplivajo na proizvajalce energije in potrošnike, da bi tako dosegle cilje energetske politike, kot so zmanjšanje onesnaževanja in emisij toplogrednih plinov, izboljšanje zanesljivosti oskrbe z energijo in zmanjšanje stroškovnega bremena energije za revna gospodinjstva ali ranljiva podjetja. Takšni ukrepi držav članic pogosto pomenijo subvencioniranje proizvodnje in porabe energije ter lahko popravljajo cenovne signale, ki odražajo tržne nepopolnosti. Subvencije za fosilna goriva so še posebej problematične, saj pošiljajo napačne cenovne signale ter tako ovirajo prehod v nizkoogljično gospodarstvo (Evropska komisija, 2016c).

Leta 2014 je Evropska komisija (2014b) naročila obsežno študijo o energetskih subvencijah v EU in ugotovila, da je bilo leta 2012 od subvencij v višini 113 milijard EUR namenjenih energetskemu sektorju (izključujoč transport) 17,2 milijarde EUR namenjenih neposredni podpori proizvodnji elektrike in toplote iz fosilnih goriv. EU se je takrat zato, da bi trg postal bolj konkurenčen in da bi lahko cenovni signali izboljšali alokacijo virov v skladu z EU zavezami v boju proti globalnemu segrevanju, zavezala k ukinitvi subvencioniranja fosilnih goriv. Evropska komisija ob zmanjšanju subvencij energetskemu sektorju meni, da bo padec veleprodajnih cen elektrike v zadnjih letih omehčal odstranitev davčnih olajšav in drugih cenovnih subvencij.

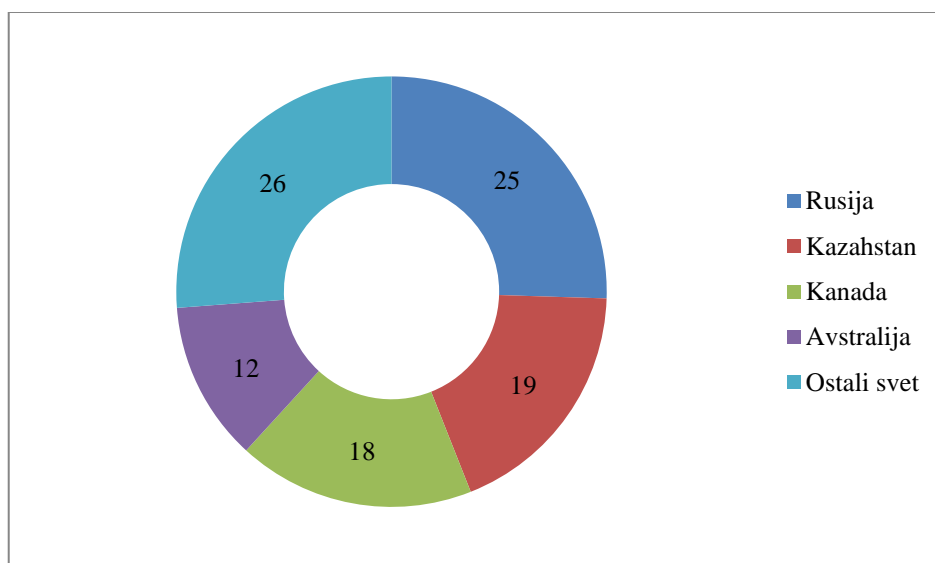
Določen del podpore EU je namenjen tudi raziskavam in razvoju v energetskem sektorju. Študija je pokazala, da so skupni izdatki za raziskave in razvoj v energetiki, ki so jih prijavile države članice EU v obdobju od leta 1974 do leta 2007, znašali 108 milijard EUR. Od tega je bilo 87 milijard EUR namenjenih za tehnologije oskrbe z energijo, kar vključuje tudi jedrsko fuzijo. Zgodovinsko gledano je jedrski sektor dobil približno 78 % sredstev, od katerih je bila večina namenjena jedrski fisiji. Preostali izdatki za raziskave in razvoj so bili enakomerno razdeljeni med obnovljive vire energije (12 %) in fosilna goriva (10 %) (Evropska komisija, 2014b).

2.3 Dobava uranove rude

Zagotavljanje zanesljive oskrbe z gorivom za nemoteno proizvodnjo jedrske energije je, poleg varnosti, glavna skrb operaterjev jedrskih reaktorjev, saj jedrska energija proizvaja skoraj 30 % energije v EU in je zato varnost oskrbe z gorivom zelo pomembna. Najpomembnejši ukrep za izboljšanje varnosti oskrbe z energijo je razpršenost virov in dobaviteljev goriva – ne samo za jedrsko energijo, temveč za vse vire energije, ki niso popolnoma lokalni. Na Sliki 4 je prikazan uvoz uranove rude v EU glede na vir uvoza. EU je leta 2014 uvozila večino urana iz štirih glavnih virov: 25,6 % iz Rusije, 18,5 % iz Kazahstana, 17,8 % iz Kanade in 12 % iz Avstralije. Leta 2015 je bila cena urana 8 % nižja kakor leta 2013, skupno pa se je v 28 držav članic EU uvozilo 15.990 ton urana, kar vključuje tudi uran, ki se uporablja v druge namene (WNA, 2017a).

Euratom, ki nadzira trg jedrskega goriva v EU, z zagotavljanjem razpršenih virov dobave goriva za EU proizvajalce jedrske energije skrbi, da ti ne postanejo preveč odvisni od enega zunanjega dobavitelja, saj bi to lahko ogrozilo varnost oskrbe na srednji in dolgi rok. Da bi lahko ocenili tveganja, ki so povezana s stabilnostjo proizvodnje energije, je v primerih, ko so posamezne EU gospodarske družbe popolnoma odvisne od zunanjih dobaviteljev jedrskega goriva, potrebno vzeti v račun del jedrske energije v energetske mešanici države članice, potencial države članice za izvoz energije v ostale države članice ter njene zmogljivosti za uvoz elektrike. Euratom je odgovoren za zgodnje odkrivanje tržnih trendov, ki bodo verjetno vplivali na srednjeročno in dolgoročno varnost dobave jedrskih goriv (Euratom, 2016).

Slika 4: Viri uvoza urana v EU leta 2014 (v %)



Povzeto in priljubeno po WNA, *Nuclear Power in the European Union*, 2017a.

Trenutno samo 10 % jedrskega goriva uporabljenega v EU reaktorjih prihaja iz držav članic, kar pomeni, da je lokalna proizvodnja urana v EU omejena, vendar se viri naravnega urana v različnih državah članicah lahko smatrajo kot potencialno dolgoročen vir goriva. Poleg tega obstaja velik potencial za povečanje uporabe obdelanega urana in plutonija, če bi se cena urana povišala. Kot dodatno rezervo ima EU veliko shranjenega osiromašenega urana, ki je lahko obogaten ali uporabljen skupaj s plutonijem kot mešani oksid, če nepričakovano pride do pomanjkanja goriva (Euratom, 2016).

Uran, čeprav uvožen, predstavlja manjšo odvisnost od uvoženih goriv kot pa v primeru energije iz fosilnih goriv, saj se jedrsko gorivo veliko lažje shranjuje. Transport urana je enostaven, hramba pa ne zahteva veliko prostora – zaloga urana, ki zadošča za več let, se lahko hrani v relativno majhnem prostoru. Običajna praksa proizvajalcev je, da gorivo za več let hranijo blizu lokacije proizvodnje. Za primerjavo: hramba plina je v EU trenutno zadovoljivo dobra, vendar bi bile brez neprekinjene dobave oziroma v primeru fizične prekinitve zaloge izčrpane v zelo kratkem času (FORATOM, 2015a). Zaloge urana, ki jih ima EU, bi trenutno zadostovale za prihodnjih 10 let – to vključuje velike zaloge urana, ki bi jih lahko mobilizirali, kadar je to potrebno, sveže zaloge naravnega urana, ki so v lasti javnih gospodarskih družb, zaloge iz šibkega napajanja in ponovno obogateni deli in zaloge goriva od leta 1971 do danes, ki se lahko ponovno uporabijo kot mešani oksid ali obogateni uran (WNA, 2017d).

2.4 Radioaktivni odpadki

Dejstvo, da jedrska energija proizvaja radioaktivne odpadke, ki se običajno odlagajo v globoka geološka odlagališča, kjer odpadki ohranijo svojo radioaktivnost več sto let, slabša javno mnenje o jedrski energiji. Javnost pa mnogokrat ni seznanjena z drugo možnostjo uporabe jedrskih odpadkov – osiromašeno jedrsko gorivo se lahko predela in obogati tako, da se gorivo lahko ponovno uporabi za obstoječe in prihodnje jedrske obrate (Euratom, 2016). Industrijsko recikliranje jedrskih odpadkov je tako osnovano na dveh visoko prefinjenih procesih: odlaganju odpadkov v globoka geološka odlagališča in izdelavi goriva iz mešanega oksida.

Globoko geološko odlagališče je odlagališče jedrskih odpadkov, izkopano globoko v stabilnem geološkem okolju (običajno pod 300 m). Odlagališča so primerno izolirana in oblikovana tako, da ne potrebujejo dolgoročnega vzdrževanja. Švedska, Finska in Francija so se odločile za odlaganje jedrskih odpadkov v globoka geološka odlagališča in so v fazi predkonstrukcije geoloških odlagališč za skladiščenje gorivnih elementov v bakrenih kapsulah z granitno podlago (Moratilla Soria, Uris Mas, Estadieu, Villar Lejarreta, & Echevarria-López, 2013). Kot edine države članice imajo izbrane lokacije za gradnjo odlagališč, ki naj bi bila končana med 2022 in 2030. EU problem odlaganja radioaktivnih odpadkov rešuje z direktivo iz leta 2011, ki od držav članic zahteva pripravo nacionalnih programov za dolgoročno odlaganje jedrskih odpadkov, vzpostavitev regulatornega telesa

in določitev kje in kako bodo zgradili in upravljali odlagališča (Evropska komisija, 2011). Tudi države članice, ki nimajo lastnih jedrskih reaktorjev, uporabljajo radioaktivne snovi v medicini in drugih industrijskih procesih in zato potrebujejo program varnega upravljanja z radioaktivnimi odpadki (FORATOM, 2016).

Proizvajalci, ki se namesto za odlaganje odločijo za predelavo goriva, predelujejo uporabljeno gorivo tako, da z mešanjem urana in plutonija iz osiromašenega goriva proizvajajo mešani oksid. Uporaba mešanega oksida vpliva na učinkovito in varno delovanje reaktorja, zato morajo biti reaktorji prilagojeni za to vrsto goriva, obenem pa morajo za to pridobiti dovoljenje za obratovanje (Evropska komisija, 2016a). Mešani oksid se obnaša podobno (vendar ne enako) kot obogateno gorivo, ki temelji na uranu in je uporabljeno v večini reaktorjev. Glavni razlogi za uporabo mešanega oksida so možnost uporabe plutonija, pridobljenega iz izrabljenega goriva, omejevanje širjenja jedrskega orožja in prihranki pri gorivu. Predelava izrabljenega goriva in recikliranje jedrskih odpadkov povečuje razpoložljivost jedrskega materiala, nadomešča proces obogatitve in prispeva k varnosti oskrbe v EU (Euratom, 2016). Reciklirano gorivo prav tako omogoča prihranek do 25 % naravnega urana (MIT, 2003). Material, ki ostane po reciklaži goriva, je končni odpadni produkt, ki se ga vitrificira², zdrobi in stisne s stiskalnico, ki omogoča zmanjšanje njegove prostornine, nazadnje pa se ga odloži v posode iz nerjavečega jekla, da se optimizira njegovo končno upravljanje v geoloških odlagališčih. Ti odpadki, ki ostanejo po predelavi goriva, predstavljajo 20 % prostornine prvotnega goriva in samo 10 % toksičnosti, ker končni odpadni proizvod ne vsebuje visoko radiotoksičnega plutonija. Države, ki se poslužujejo takega postopka reciklaže jedrskega goriva, so Francija, Nizozemska in Združeno kraljestvo (Moratilla Soria et al., 2013).

Recikliranje goriva in njegova ponovna uporaba zmanjšujeta odvisnost EU od uvoza urana, kar izboljšuje varnost oskrbe z energijo. Kljub temu, da nekaj držav članic predeluje radioaktivno gorivo, večina ostalih držav uporabljeno gorivo še vedno dojema kot odpadek in ne kot potencialen vir goriva. Do sedaj je bilo v EU od skupnih 290.000 ton proizvedenih radioaktivnih odpadkov predelanih približno 90.000 ton uporabljenega goriva iz komercialnih reaktorjev. Letna zmogljivost za predelavo goriva je sedaj približno 4.500 ton na leto, vendar se za predelavo ne izkorišča vseh obstoječih zmogljivosti (Euratom, 2016).

Da bi stroškovno primerjali izbiro med globokim geološkim odlaganjem in ponovno uporabo radioaktivnih odpadkov, je potrebno primerjati ceno urana, stroške hrambe odpadkov v globokih odlagališčih in stroške recikliranja uporabljenega goriva. Moratilla Soria et al. (2013) so v poročilu iz leta 2013 za ugotavljanje najbolj učinkovite metode upravljanja z jedrskimi odpadki primerjali šest študij, narejenih med leti 1985 in 2011. Prišli so do zaključka, da so rezultati študij zelo različni in težko primerljivi zaradi velikih

² Pretvorba snovi v steklo.

negotovosti pri oceni stroškov globokega geološkega odlaganja v prihodnosti in negotovega napovedovanja napredka tehnologije za predelavo goriva. Ugotovili so tudi, da čeprav se stroški povezani z globokim geološkim odlaganjem zaradi naraščajočih negotovosti povezanih s tehnologijo s časom povečujejo, se stroški za ponovno uporabo iz istega razloga sčasoma znižujejo – tehnologija predelave jedrskega goriva se dosledno izboljšuje z raziskavami in razvojem, kar pa hkrati povzroča nižje cene predelave.

Moratilla Soria et al. (2013) navajajo dodatne dejavnike, ki so pomemben faktor pri odločitvi za enega od procesov, vendar pa jih je težko oceniti skozi stroške:

- Predelava in recikliranje prihranita do 25 % uranove rude in zmanjšata količino jedrskih odpadkov na 20 % prvotne količine.
- Recikliranje in ponovna uporaba jedrskega goriva ponujata nesporno dodano vrednost v primerjavi z dolgoročnim odlaganjem z vidika javnega mnenja.
- Ločevanje plutonija od izrabljenega jedrskega goriva v fazi predelave in kasnejše recikliranje v mešani oksid preprečujeta širjenje jedrskega orožja, ker je plutonij izrabljenega mešanega oksida manj primeren za uporabo v jedrskem orožju.
- Z vitifikacijo se čas sevanja radioaktivnih odpadkov skrajša za približno petsto let.

Odločitev za dolgoročno globinsko odlaganje ali predelavo jedrskega goriva poteka na državni ravni vsake posamezne države članice. Ob odločitvi bi države članice morale poleg stroškovnega vidika upoštevati tudi okoljski vidik, saj predelava goriva ponuja trajnostno rešitev, ki znatno zmanjša obseg in toksičnost končnega odpadnega proizvoda, ki ga je potrebno odlagati, podedovale pa ga bodo prihodnje generacije (Moratilla Soria et al., 2013). Če bi se EU tako odločila, bi lahko države članice spodbujala k trajnostni predelavi jedrskega goriva z različnimi sredstvi, kot so na primer subvencijame, davčne olajšave in davki.

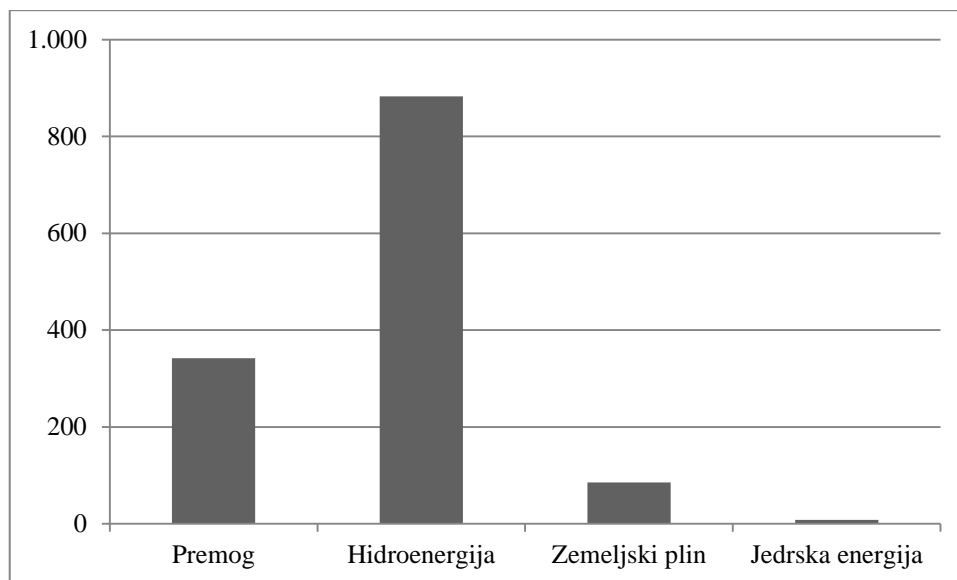
2.5 Jedrske nesreče

2.5.1 Nesreče povezane s pridobivanjem energije

Poročilo inštituta Paul Scherrer (angl. *Paul Scherrer Institut*) iz leta 1998 (Hirschberg, Spiekerman, & Dones, 1998) temelji na podatkih 4.290 nesreč, povezanih s pridobivanjem električne energije, ki so se zgodile med letom 1969 in 1996. Od vseh obravnavanih nesreč je bilo 1.943 nesreč ocenjenih kot hujših, kar pomeni, da so povzročile vsaj 5 neposrednih smrtnih žrtev. Poročilo je analiziralo smrtne žrtve glede na vir pridobivanja električne energije in je poročalo o 15.000 smrtnih žrtvah, povezanih z nafto, več kot 8.000 povezanih s premogom in 5.000 s hidroenergijo. Da bi bili podatki bolj primerljivi, so opravili tudi primerjavo števila smrtnih žrtev na teravatno (v nadaljevanju TW) leto. Podatki o smrtnih žrtvah na teravatno leto so prikazani na Sliki 5, iz katere je razvidno

določeno število žrtev na teravatno leto glede na naštetih viri energije: premog 342, hidroelektrarne 883, plin 85 in jedrske elektrarne 8 smrtnih žrtev.

Slika 5: Število smrtnih žrtev na TW leto glede na vir energije od leta 1969 do leta 1996



Povzeto in prirejeno po S. Hirschberg et al., Severe Accidents in the Energy Sector, 1998.

OECD & NEA (2010) sta v svoji študiji posledic hudih nesreč, ki so neposredno povezane s pridobivanjem električne energije, ocenila, da vsako leto zaradi teh nesreč umre približno 2.500 ljudi, ta številka pa se z leti zaradi povečanih potreb po energiji povečuje. V to oceno niso zajete posredne smrtne žrtve, ki nastanejo zaradi onesnaženosti okolja. V Tabeli 6 je prikazano število smrtnih žrtev med letoma 1969 in 2000, ki so posledica hudih nesreč, povezanih s pridobivanjem energije, ki so povzročile vsaj 5 smrtnih žrtev. Skupaj je tako od leta 1969 do leta 2000 pridobivanje energije terjalo 81.258 neposrednih smrtnih žrtev. Najhujša nesreča v zgodovini se je zgodila na Kitajskem leta 1975, ko je umrlo približno 30.000 ljudi – zaradi ekstremne količine padavin je jez Banqiao ni več zadrževal vode in je povzročil poplavo. Med fosilnimi viri energije je največ smrtnih žrtev pri energiji iz premoga, sledita pa nafta in zemeljski plin. Število nesreč z vsaj petimi smrtnimi žrtvami se močno razlikuje glede na vir energije, saj je bilo takih nesreč pri premogu 1.221 in le ena pri jedrski energiji (Černobil). V Tabeli 6 so ocenjene tudi smrtne žrtve na teravatno leto – ko primerjamo države članice in nečlanice OECD, vidimo, da je v državah članicah OECD bistveno nižja stopnja smrtnosti na enoto proizvedene energije kot v državah nečlanicah OECD.

Smrtne žrtve v Tabeli 6 so samo neposredne smrtne žrtve in ne zajemajo posrednih smrtnih žrtev zaradi kasnejših posledic nesreče kot na primer onesnaženja. Pri nesreči v Černobilu je bilo 31 neposrednih smrtnih žrtev, pri čemer so posredne smrti v naslednjih 70 letih

ocenjene med 9.000 in 33.000 (OECD & NEA, 2010). Avtorji dodajajo, da je, upoštevaje jedrsko tehnologijo, ki je bila uporabljena v Černobilu, primerjanje z današnjo tehnologijo jedrskih elektrarn neprimerno, saj države OECD sedaj uporabljajo dokazano varnejše tehnologije upravljanja pod strožjimi regulativnimi režimi.

Tabela 6: Število hudih nesreč med leti 1969 in 2000

	Države OECD		Ostale države	
	Smrtnih žrtev	Smrtnih žrtev/TW na leto	Smrtnih žrtev	Smrtnih žrtev/TW na leto
Premog	2.259	157	18.000	597
Zemeljski plin	1.043	85	1.000	111
Hidroenergija	14	3	30.000	10.285
Jedrsko energija	0	0	31	48

Povzeto in prirejeno po OECD & NEA, Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources, 2010.

Glede na to, da so elektrarne na premog prva alternativa jedrskim elektrarnam za zagotavljanje pasovne električne energije, je pomembno upoštevati tudi posredne učinke na zdravje pri izgorevanju fosilnih goriv. OECD (2008) ocenjuje, da je leta 2000 onesnaženje zraka zaradi drobnih delcev povzročilo približno 960.000 prezgodnjih smrti, 30 % tega onesnaženja pa pripisujejo energetskega virom. Zaradi tega avtorji trdijo, da je število posrednih smrti, ki so nastale kot posledica nesreče v Černobilu, dokaj nizko v primerjavi s tistimi, ki so posledica drugih virov energije, predvsem izgorevanja fosilnih goriv. Na splošno je število neposrednih smrtnih žrtev nezgod, povezanih s proizvodnjo energije, veliko manjše od tistih, ki so posledica emisij fosilnih goriv, vendar pritegnejo večjo pozornost medijev in javnosti (OECD, 2008).

2.5.2 Jedrske nesreče v svetu

Najbolj odmevne nesreče v zgodovini so se zgodile na Otoku treh milj (angl. *Three Mile Island*) leta 1979, v Černobilu leta 1986 in v Fukušimi leta 2011. Čeprav je prežgodaj za merjenje dolgoročnih posledic Fukušime, primerjava izpustov radioaktivnih snovi v okolje po nesreči v Černobilu in Fukušimi pokaže, da je bila nesreča v Černobilu kar petkrat hujša od nesreče v Fukušimi.

Jedrsko nesreča na Otoku treh milj v ZDA se je zgodila 28. marca 1979 v ameriški zvezni državi Pensilvanija. Nesreča se je začela z zataknjenim ventilom, skozi katerega je začela puščati reaktorska hladilna voda. Operaterji niso pravilno ocenili nezgode in so izklopili dobro delujoč varnostni sistem za zasilno hlajenje sredice, izguba reaktorskega hladila pa je povzročila taljenje sredice. V zadrževalni hram je ušel le majhen del radioaktivnih snovi, nesreča pa ni imela radioloških učinkov na okolje in prebivalstvo.

To je bila najpomembnejša in največja nesreča jedrske elektrarne v ZDA. Po mednarodni lestvici jedrskih in radioloških dogodkov IAEA je bila nesreča ocenjena s 5 od 7 (WNA, 2017c). Lestvica jedrskih in radioloških dogodkov razvršča dogodka v sedem stopenj: stopnje od 1 do 3 imenuje »nezgode«, stopnje od 4 do 7 pa »nesreče«. Resnost dogodka je na vsaki naslednji stopnji lestvice približno desetkrat večja (Uprava republike Slovenije za jedrsko varnost, b.l.).

Jedrska nesreča v Černobilu v Ukrajini se je zgodila 26. aprila 1986 med tehnološkim testiranjem enega od jedrskih reaktorjev. Nesreča je bila označena z oceno 7 (najvišja ocena) po mednarodni lestvici jedrskih in radioloških dogodkov IAEA. Požari v ostankih reaktorja so v zrak dvignili oblak prahu in pare, ki je odnesel radioaktivne delce, onesnaženje in žlahtne pline visoko v atmosfero. Težji delci so večinoma padli na tla v radiju 5 kilometrov od elektrarne, lažje delce (vključno z jedrskimi delci in žlahtnimi plini) pa je odpihnilo in so tako znatno onesnažili več kot 40 % evropskega območja (WNA, 2017c).

Do konca julija je zaradi neposrednih posledic nesreče umrlo 30 ljudi. Zaradi nesreče in območja, ki je bilo onesnaženo, je bilo vzpostavljeno območje evakuacije v obsegu 2.800 kvadratnih kilometrov. Združeni narodi (angl. *United Nations*) so leta 2004 poročali, da je bilo kot posledica jedrske nesreče v Černobilu preseljenih 400.000 ljudi. Onesnaženje, ki so ga požari prinesli v atmosfero, sta odnesla veter in dež čez Evropo in sčasoma čez severno poloblo. Najbolj prizadete države so bile bivše članice Sovjetske Zveze – Belorusija, Rusija in Ukrajina. Ostale najbolj prizadete države so bile bivša Jugoslavija, Finska, Švedska, Bolgarija, Norveška, Romunija, Nemčija in Avstrija (Schneider & Froggatt, 2016).

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (v nadaljevanju UNESCAR, 2014) je poročal, da šest milijonov ljudi še vedno živi na onesnaženem območju Belorusije, Rusije in Ukrajine. Več kot pol milijona delavcev, ki so odstranjevali posledice nesreče, je bilo izpostavljenih velikim odmerkom sevanja. Zaradi jedrske nesreče v Černobilu je po letu 1990 prišlo do epidemije raka ščitnice v Belorusiji, Ukrajini in Rusiji – do sedaj je bilo odkritih več kot 6.000 primerov raka ščitnice, v prihodnjih desetletjih pa se pričakuje še 16.000 primerov. Fairlie in Sumner (2006) ocenjujeta, da se bo v naslednjih 50 letih pojavilo 40.000 neozdravljivih primerov raka ščitnice, kar je osemkrat več kot je pričakovanih primerov raka ščitnice zaradi posledic nesreče v Fukušimi leta 2011. Novi dokazi v njunem poročilu kažejo na povečano število srčno-žilnih obolenj, kapi, mentalnih posledic, prirojenih napak in raznih drugih posledic sevanja v večini onesnaženih držav.

Po velikem potresu 11. marca 2011 je 15-metrski cunami onemogočil oskrbo z električno energijo in ustavil hlajenje treh reaktorjev v elektrarni Fukušima na Japonskem, zato je prišlo do taljenja jedrske sredice. V času nesreče so bili trije jedrski reaktorji, ki so tudi del

elektrarne, izključeni zaradi izpraznitve oziroma zaradi mirovanja za načrtovano vzdrževanje. Nesreča je bila zaradi visokih radioaktivnih izpustov v prvih šestih dneh od nesreče tako kot nesreča v Černobilu ocenjena s stopnjo 7 (najvišja ocena) po mednarodni lestvici jedrskih in radioloških dogodkov IAEA. Po dveh tednih so bili trije reaktorji stabilni s prilivom hladne vode, do julija 2011 pa so jih hladili z reciklirano vodo iz nove čistilne naprave. Sredi decembra je bil napovedan uraden izklop ohlajenih reaktorjev. Po hlajenju je bila glavna naloga preprečevanje sproščanja radioaktivnih snovi, zlasti onesnažene vode, iz treh reaktorjev v ocean. V juniju 2015 je japonska vlada že tretjič pripravila srednjeročni in dolgoročni načrt za razgradnjo elektrarne. V tistem času je še vedno pritekalo približno 800 kubičnih metrov vode na dan iz bližnje gore v elektrarno Fukušima; polovica te vode se je iztekala v objekt in polovica v ocean. V javnosti se v zadnjih letih pojavlja dvom v odkritosti japonske vlade pri poročanju o količini radioaktivnih snovi spuščeni v ocean, vendar vlada zagotavlja, da je voda, ki je izpuščena iz zamejitvenih bazenov, pred tem testirana za stopnjo sevanja. Zaradi nesreče v Fukušimi zaradi zastrupitve s sevanjem ni umrl noben delavec, bilo pa je nekaj smrti, ki so bile posledica potresa in cunamija, ki je prišel za potresom. Šele leta 2015 je japonsko Ministrstvo za zdravje, delo in socialne zadeve (angl. *Ministry of Health, Labour and Welfare*) prepoznalo primer levkemije pri delavcu, ki je sodeloval pri razgradnji elektrarne, in označilo levkemijo kot posledico poklicne izpostavljenosti sevanju. S koncem junija 2015 je bilo 113 ljudi diagnosticiranih z rakom na ščitnici, vendar v teh primerih ne morejo potrditi povezave z nesrečo, saj je bila raziskava narejena prezgodaj po nesreči, onesnaženje pa je bilo znatno manjše kot onesnaženje po nesreči v Černobilu (WNA, 2017c).

Čeprav nesreča v Fukušimi ostaja zelo resna, je po nekaterih kriterijih (v primerjavi z nesrečo v Černobilu leta 1986) dokaj mila. Japonsko ministrstvo za znanost pravi, da je nesreča v Fukušimi onesnažila 30.000 kvadratnih metrov Japonske, Černobil pa je onesnažil območje v obsegu 1.437.000 kvadratnih kilometrov Evrope, kar je 50-krat večje območje. Japonsko ministrstvo za znanost je prav tako dejalo, da je bilo onesnaženih 8 % Japonske, medtem ko je bilo leta 1986 onesnažene 37 % Evrope. Povprečna količina sevanja v Belorusiji in Ukrajini je bila približno 20-krat večja kot na območju Fukušime, ker je bil izpust kontaminiranih delcev v Černobilu veliko večji kot v Fukušimi ter zato, ker so vetrovi po ocenah odnesli 80 % onesnaženja v Fukušimi nad morje (Schneider & Froggatt, 2016).

Leta 2014 je UNSCAR (2014) objavil poročilo o radioaktivnih posledicah nesreče v Fukušimi, ki je zaključilo, da so bili radioaktivni izpusti med 10 % in 20 % izpustov nesreče v Černobilu. Nobena smrtna žrtev ni povezana s preveliko izpostavljenostjo sevanju, čeprav je nekaj ljudi v elektrarni umrlo zaradi potresa in cunamija.

2.5.3 Zagotavljanje jedrske varnosti v EU

EU je na področju zagotavljanja varnosti jedrske energije zelo proaktivna – leta 2011 je sprejela Direktivo o vzpostavitvi okvira Skupnosti za odgovorno in varno ravnanje z izrabljenim gorivom in radioaktivnimi odpadki, ki ji je leta 2013 sledila Direktiva o določitvi temeljnih varnostnih standardov za varstvo pred nevarnostmi zaradi ionizirajočega sevanja, leta 2014 pa je bila sprejeta Direktiva o spremembi direktive iz leta 2009 o vzpostavitvi okvira Skupnosti za varnost jedrskih objektov. Ti dokumenti predstavljajo najbolj napreden, pravno zavezujoč in izvršljiv regionalni pravni okvir o jedrski varnosti in sorodnih vprašanjih na svetu. Poleg teh dokumentov pa obstajajo še številne pomembne agende strateškega raziskovanja, strategije uvajanja, časovni načrti in raziskovalni programi, ki jih EU pripravlja z ali pod okriljem vrste ključnih interesnih skupin, tehnoloških platform in mednarodnih organov (Evropska komisija, 2017e).

Čeprav EU naredi veliko za varnost jedrske energije, so jedrske nesreče še vedno v mislih javnosti, ko se govori o koristih in nevarnostih jedrske energije. Nesreča v Fukušimi je še vedno aktualna in vpliva na mnenje javnosti o varnosti jedrske energije, čeprav nesreča ni neposredno povzročila nobene smrtne žrtve zaradi radioaktivnega sevanja (WNA, 2017c). Pomisleki glede varnosti jedrskih elektrarn so vodili do manjše javne podpore jedrskim obratom in k spremembam energetske politike v nekaterih državah.

2.6 Uporaba jedrske energije v vojaške namene

Jedrsko orožje je eksplozivna naprava, njena destruktivna sila pa izvira iz verižne jedrske reakcije, ki sprosti velike količine energije iz relativno majhne količine snovi. Jedrsko orožje je orožje za množično uničevanje, njegova uporaba in nadzor pa sta vse od druge svetovne vojne med najpomembnejšimi temami mednarodnih odnosov. Do danes je bilo jedrsko orožje v vojaške namene uporabljeno samo na Japonskem leta 1945. Medtem ko obstoj jedrskih reaktorjev ni razlog za skrb pri proizvodnji jedrskega orožja, so tehnologije za obogatitev in predelavo radioaktivnih jedrskih odpadkov lahko uporabljene za širjenje jedrskega orožja z nedovoljeno ali nezaščiteno uporabo (WNA, 2017c).

Pogodba o neširjenju jedrskega orožja (angl. *Nuclear Non-proliferation Treaty* – v nadaljevanju NPT) je mednarodna pogodba, katere namen je preprečitev širjenja jedrskega orožja in tehnologije, spodbujanje sodelovanja pri miroljubni rabi jedrske energije in doseganje jedrske razorožitve. Pogodba je s podpisom petih držav (ZDA, države bivše Sovjetske zveze, Združeno kraljestvo, Francija in Kitajska), ki so v preteklosti že uporabile jedrsko orožje, stopila v veljavo leta 1970. Do danes jo je podpisalo 189 držav, podpisu pogodbe pa so se odrekli Izrael, Indija in Pakistan. Severna Koreja je bila podpisnica, vendar je leta 2003 izstopila iz sporazuma. Podpisnice pogodbe so se zavezale, da njihovi reaktorji ali materiali ne bodo predelani za izdelavo jedrskega orožja. Države, ki niso

hotele biti del dogovora, so bile izključene iz mednarodnega sodelovanja in trgovanja z jedrsko tehnologijo (WNA, 2017c).

Režim neširjenja jedrskega orožja je veliko več kot samo NPT, čeprav je to najbolj pomembna pogodba na tem področju. Režim vključuje pogodbe, konvencije in skupne (dvo- in večstranske) dogovore o varnosti in fizičnem varovanju, nadzor nad izvozom, prepoved jedrskih poskusov in proizvodnje cepljivih snovi. Mednarodna skupnost lahko izvaja pritisk na države nepodpisnice NPT, da storijo vse potrebno, da bi izpolnjevale pogoje za celoten obseg mednarodnih norm neširjenja jedrskega orožja, ki sestavljajo ta režim. OECD (2010) je v svojem poročilu o javnem mnenju o jedrski energiji ugotovil, da so dejavniki, ki nižajo javno podporo jedrski energiji: terorizem, odlaganje radioaktivnih odpadkov in zloraba jedrskih materialov (navedeni po vrstnem redu). Zaskrbljenost glede terorizma je še vedno močna, tudi dolgo po terorističnih napadih leta 2001.

IAEA je bila leta 1954 ustanovljena kot avtonomna organizacija, njen namen pa je širjenje miroljubne rabe jedrske energije in preprečevanje širjenja jedrskega orožja. Programi IAEA spodbujajo miroljubno rabo jedrskih tehnologij, zagotavljajo mednarodne zaščitne ukrepe proti zlorabi jedrske tehnologije in jedrskih snovi ter spodbujajo jedrsko varnost in upoštevanje standardov jedrske varnosti. IAEA ima 168 držav članic, podpis in ratifikacija NPT pa ni pogoj za priključitev države IAEA. Obstajajo tudi številne druge pogodbe in sporazumi za zmanjšanje tveganja uporabe civilne jedrske energije za jedrsko orožje (WNA, 2017c).

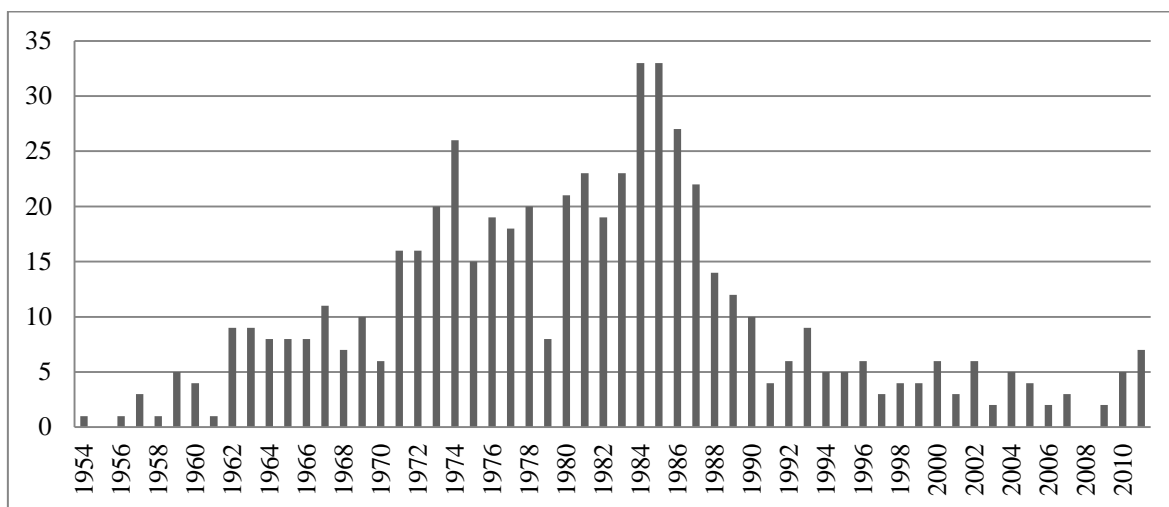
3 STARANJE JEDRSKIH REAKTORJEV IN NJIHOVO NADOMEŠČANJE

3.1 Stanje jedrskih reaktorjev v svetu

Od počasnih začetkov gradnje jedrskih reaktorjev leta 1954, ko je bil v omrežje priključen prvi jedrski reaktor, je bilo do leta 2011 zgrajenih in v omrežje priključenih 578 jedrskih reaktorjev. Na Sliki 6 vidimo, da je bilo med leti 1971 in 1989, med zlato dobo gradnje jedrskih reaktorjev, vsako leto v omrežje priključenih v povprečju 20 novih enot (IAEA, 2017).

Od leta 1990 se je gradnja jedrskih reaktorjev upočasnila, kar je povzročilo zmanjšanje svetovnih jedrskih zmogljivosti. Globalna proizvodnja jedrske energije je leta 2013 padla za 2.478 TWh, kar je 10 % zmanjšanje v primerjavi z letom 2010. Zmanjšanje proizvodnje je rezultat dokončnega zaprtja osmih reaktorjev v Nemčiji in nedelovanja japonskih reaktorjev večino leta 2013 – 48 operativnih reaktorjev na Japonskem ni delovalo med septembrom 2013 in skozi celotno leto 2014. Število novogradenj se je iz 10 v letu 2013 zmanjšalo na samo 3 v letu 2014 (OECD & NEA, 2013).

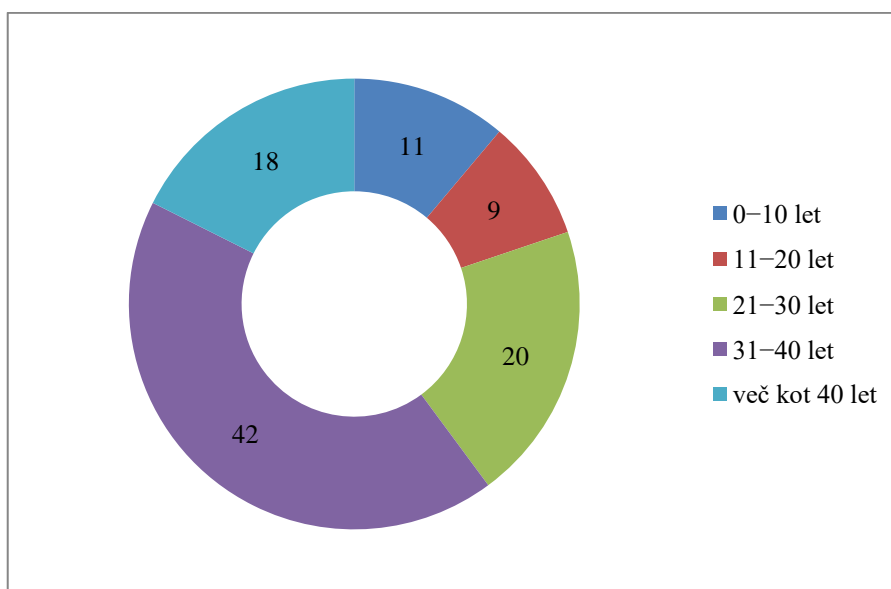
Slika 6: Število jedrskih reaktorjev priključenih v omrežje od leta 1954 do leta 2011



Povzeto in prirejeno po IAEA, PRIS, 2017.

Na Sliki 7 je predstavljeno število aktivnih jedrskih reaktorjev glede na starost v letu 2017. Zaradi pospešene gradnje v sedemdesetih in osemdesetih letih dvajsetega stoletja je največ aktivnih reaktorjev starih med 30 in 40 let, kar pomeni, da se približujejo koncu pričakovane obratovalne dobe.

Slika 7: Delež aktivnih jedrskih reaktorjev po starosti (v %)



Povzeto in prirejeno po IAEA, PRIS, 2017.

Življenjske projekcije omogočajo ocenitev števila reaktorjev in količine energije, ki bi morala biti ustvarjena v naslednjih desetletjih, da bi izravnala zapiranje reaktorjev in ohranjala enako število reaktorjev in enake proizvodne zmogljivosti. Čeprav je bila ob

gradnji jedrskih reaktorjev običajno predvidena obratovalna doba 40 let, se obratovalne dobe podaljšujejo – leta 2016 je bilo na svetu 79 aktivnih reaktorjev starejših od 41 let (IAEA, 2017). Gradnja novih jedrskih zmogljivosti trenutno ne dohiteva staranja obstoječih enot in tudi če upoštevamo vse gradnje, ki bi morale biti priključene v omrežje do leta 2021 (v zmogljivostih 10,5 GW na leto), bodo jedrske zmogljivosti na svetovni ravni do leta 2020 padle za 1,7 GW. Da bi ohranili trenutne zmogljivosti bi bilo potrebno do leta 2030 v omrežje priklopiti 187 novih jedrskih reaktorjev s skupno zmogljivostjo 175 GW (Schneider & Froggatt, 2016). Ker je za ohranitev trenutnih zmogljivosti v prihodnosti potrebnih toliko novih enot, sproti pa se izklapljujejo starejši reaktorji, bo število reaktorjev v prihodnosti stagniralo ali pa celo padlo v naslednjih letih. Stanje bi se lahko popravilo, če bi podaljševanje obratovalne dobe reaktorjev nad 40 let postalo običajna praksa, vendar je tako vsesplošno podaljšanje po nesreči v Fukušimi manj verjetno. Tudi IEA in NEA (2015) poudarjata, da bi moralo biti za doseganje okoljevarstvenega cilja dviga globalne temperature za manj kot 2 °C vsako leto do leta 2025 na novo zagnanih 12 GW jedrskih zmogljivosti.

MIT v poročilu iz leta 2009 analizira, kakšne zmogljivosti jedrske energije bi bile potrebne za ohranitev jedrske energije kot pomembne možnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in za zadovoljevanje naraščajočih potreb. Analiza temelji na scenariju rasti jedrske energije na svetovni ravni, po katerem bi do leta 2050 povečali sedanje svetovne zmogljivosti za proizvodnjo jedrske energije za skoraj trikrat, na 1.000 milijard vatov. Tolikšna količina jedrske energije bi nam omogočila, da se izognemo 1,8 milijardam ton emisij CO₂ letno iz elektrarn na premog.

3.2 Stanje jedrskih reaktorjev v EU

Leta 2015 je bila približno polovica od 128 reaktorjev v EU starejših od 30 let, veliko operaterjev pa načrtuje in investira v dolgoročno obratovanje in nadgradnje. Regulatorji ocenjujejo vsak primer podaljšanja obratovanja za dodatnih 10 let individualno. Veliko reaktorjev bo izključenih in razstavljenih v naslednjih desetletjih, najverjetneje pa bo teh več kot bo novogradenj, kar bo zmanjšalo delež jedrske energije glede na vso proizvedeno energijo v EU. Ta pasovna energija bo delno nadomeščena z obnovljivimi viri energije, delno pa tudi z večjo proizvodnjo energije iz fosilnih goriv, kar bo povzročilo večje emisije CO₂ (IEA & NEA, 2015).

3.2.1 Podaljševanje obratovalne dobe

Večina jedrskih elektrarn je imela prvotno načrtovano življenjsko dobo od 25 do 40 let, vendar so podrobni pregledi in ocene teh elektrarn pokazale, da lahko te elektrarne obratujejo dlje. Nekateri operaterji jedrskih reaktorjev si obetajo življenjsko dobo reaktorjev daljšo od 40 let oziroma tudi do 60 let ali 80 let. V Franciji, kjer se je prva jedrska elektrarna odprla leta 1977, morajo reaktorji zaradi zakonskih zahtev čez podrobne

preglede in testiranja vsako desetletje. Francoski reaktorji so zgodovinsko v povprečju obratovali 31,4 leta, trenutno najstarejši pa so že v procesu pridobivanja dovoljenja s strani francoskega organa za jedrsko varnost (franc. *Autorité de sûreté nucléaire* – v nadaljevanju ASN), ki za delovanje nad dobo 30 let oceni vsak reaktor posebej. Proces ocenjevanja traja več let in samo nekaj jedrskih reaktorjev je postopek uspešno prestalo. Če se reaktorjem odobri podaljšanje obratovalne dobe, bodo lahko delovali do svojega 40. leta, kar je bila tudi pričakovana obratovalna doba ob gradnji. EDF pa je jasno izrazil, da iz gospodarskih razlogov daje prednost podaljševanju obratovalne dobe reaktorjev pred vlaganjem v novogradnje (Schneider & Froggatt, 2016). Leta 2009 je ASN na podlagi splošne ocene 34 reaktorjev odobril prošnjo EDF za podaljšanje obratovanja njihovih enot s skupno močjo 900 MW na 40 let. Načrtujejo, da bodo reaktorjem podaljšali obratovalno dobo na 60 let, kar pa bo vključevalo velike dodatne naložbe. V ZDA je več kot 75 reaktorjev prejelo odobritev za podaljšanje licence za obratovanje, ki je podaljšala njihovo operativno dobo iz prvotnih 40 let na 60 let. Pričakuje se, da bodo upravljavci ostalih jedrskih elektrarn prav tako prosili za podaljšanje obratovalne dobe. Ruska vlada podaljšuje dobo obratovanja večini svojih reaktorjev s prvotnih 30 let na 45 let oziroma za 55 let v primeru novejših enot, skupaj s pomembnimi posodobitvami (WNA, 2017b).

Čeprav morajo jedrske elektrarne ob podaljšanju zamenjati oziroma posodobiti različne komponente, se je to vseeno izkazalo za dobičkonosno. Nadomeščanje elektrarn, če bi se te zaprle, bi bila namreč velika naložba, ki v očeh javnosti ni tako sprejemljiva kot pa podaljšanje in posodabljanje že obstoječih enot. Na drugi strani pa so gospodarske, regulatorne in politične odločitve vodile v prezgodnje zapiranje nekaterih reaktorjev, ki se jim še ni iztekla operativna doba. Zaprtja so se zgodila predvsem v ZDA, kjer je število reaktorjev padlo iz 110 na 99, nekaj takih zaprtij pa je prav tako bilo v vzhodni Evropi, v Nemčiji in na Japonskem (Lovins, 2013).

Ne moremo predvidevati, ali bodo reaktorje, ko se jim bo iztekla licenca, res zaprli, ker podaljševanje obratovalne dobe postaja običajna praksa. WNA (2017a) meni, da se na svetovni ravni število reaktorjev, ki se zapirajo, izravnava s številom novih reaktorjev, priključenih v omrežje. Med leti 1996 in 2015 se je zaprlo 75 reaktorjev, 80 pa jih je bilo zagnanih prvič. Ocenjujejo, da se bo vsaj 60 enot zaprlo do leta 2030, večina teh pa so majhne enote. WNA (2017a) predvideva zaprtje 132 reaktorjev do leta 2035, če upoštevamo zelo konzervativno politiko podaljševanja licenc, v omrežje pa naj bi jih bilo priključenih 287, kar vključuje predvsem enote na Kitajskem.

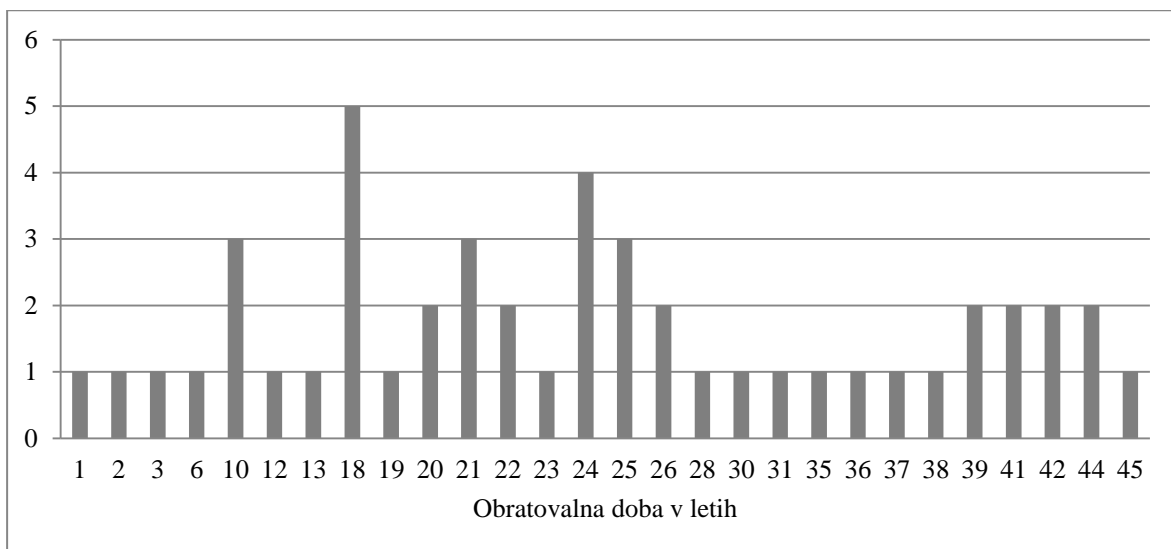
3.2.2 Nadomeščanje jedrskih reaktorjev

Nadomeščanje zaprtih jedrskih reaktorjev je dolgotrajen proces, saj je gradnja zelo zahtevna, poleg tega pa so nekateri projekti zaradi finančnih težav opuščeni še pred dokončanjem. O dolgotrajnosti gradnje pričajo reaktorji, ki so v fazi gradnje že več kot desetletje: na primer dva reaktorja na Slovaškem (Mochovce 3 in 4), ki sta v fazi gradnje

že 30 let, in reaktor Olkiluoto 3 na Finskem, ki je v gradnji že 12 let. Schneider in Froggatt (2016) ugotavljata, da je opaziti svetovni trend podaljševanja trajanja gradnje jedrskih reaktorjev. Medtem ko so gradnje v letih 1970 do 1990 trajale približno enako dolgo, sedaj čas gradnje močno variira od projekta do projekta. Povprečen čas gradnje desetih reaktorjev, ki so bili dokončani leta 2015, je bil 8,2 leti, s tem da je bil eden od ruskih reaktorjev zgrajen po 31 letih.

Zaradi visoke cene gradnje se veliko projektov na svetovni ravni tudi prekine ali odpove. Leta 1976 se je začelo graditi kar 44 jedrskih reaktorjev, od katerih jih je bilo 11 pozneje opuščeni. Leta 2010 se je začelo graditi 15 enot, od tega 10 na Kitajskem, kar je najvišje število po letu 1985. Število novogradenj se je leta 2014 spustilo na 3 enote, s tem da Kitajska tistega leta ni začela nobenega novega projekta. Od leta 2006 do leta 2015 se je začela gradnja 79 reaktorjev, kar je več kot dvakrat toliko, kot je bilo začetih gradenj v desetletju pred tem, ko se je začela gradnja 33 enot, od katerih so bile tri opuščene (Schneider & Froggatt, 2016).

Slika 8: Število zaprtih jedrskih reaktorjev v EU po obratovalni dobi v letih



Povzeto in prirejeno po World Nuclear Association, Decommissioning Nuclear Facilities, 31. maj 2017d.

Na Sliki 8 je predstavljeno število jedrskih reaktorjev v EU glede na leta obratovalne dobe ob zaprtju. Vsi ti reaktorji so bili zaprti zaradi izteka obratovalne dobe, ali pa ker niso bili več dobičkonosni za obratovanje. Glede na te podatke je napoved, da bodo sedaj obratujoči reaktorji obratovali 40 let, nekoliko preveč optimistična, saj je bila povprečna starost 48 reaktorjev v EU (prikazano na Sliki 8) le 25 let (WNA, 2017d). Priloga 2 vsebuje seznam reaktorjev, ki so se zaprli predčasno zaradi političnih odločitev³, njihova povprečna starost ob zaprtju pa je bila 25 let.

³ Ta podatek ne zajema reaktorjev, ki so se zaprli v Nemčiji leta 2011.

V Tabeli 7 so navedeni štirje reaktorji v EU, ki so bili zaprti zaradi nesreč, incidentov in napak. Ti reaktorji so se zaradi različnih vzrokov zaprti med letom 1977 in 1990, njihova povprečna obratovalna doba pa je bila 8 let.

Tabela 7: Jedrski reaktorji v EU, ki so bili zaprti zaradi nesreč, incidentov in napak

Država	Reaktor	Leta obratovanja	Leto zaprtja	Razlog zaprtja
Nemčija	Greifswald 5	<1	1989	Delna stopitev jedra
	Gundremmingen A	10	1977	Napaka v zaustavitvi
Slovaška	Bohunice A1	4	1977	Poškodba jedra zaradi napake v napajanju
Španija	Vandellos 1	18	1990	Požar v turbini

Povzeto in prirejeno po WNA, Decommissioning Nuclear Facilities, 31. maj 2017d.

Po jedrski nesreči v Fukušimi se porajajo novi dvomi o smiselnosti podaljševanja obratovanja jedrskih reaktorjev v EU. Jedrski reaktorji v Fukušimi so bili priključeni v omrežje med leti 1971 in 1974, licenca za obratovanje reaktorja 1 pa je bila podaljšana za dodatnih 10 let v februarju 2011, kar je en mesec pred potresom, ki je povzročil jedrsko nesrečo. Štiri dni po nesreči je japonska vlada naročila izključitev sedmih jedrskih reaktorjev, ki so bili zagnani pred letom 1981. Reaktorji so ostali zaprti do danes. Edini kriterij za odločitev japonske vlade za izključitev teh reaktorjev je bila njihova doba obratovanja (Schneider & Froggatt, 2016).

Petko (2013) zaključuje, da Nemčija ne bo zmožna nadomestiti izpada proizvodnje elektrike zaradi izklopa jedrskih elektrarn s cenovno primerljivimi viri energije, kar bo povzročilo zviševanje cen energije na trgu, oteženo pa bo tudi njeno doseganje okoljevarstvenih ciljev. Nemčija bo tako v prihodnosti primorana povečati uvoz energije iz drugih držav, saj ne bo zmožna sama pokriti izpada jedrske energije.

3.2.3 Možnosti uporabe OVE

Podatki za EU zaradi povečanega deleža OVE kažejo na upad pomembnosti jedrske energije: med letoma 1997 in 2014 je vetrna energija proizvedla dodatnih 303 TWh in sončna energija 109 TWh, medtem ko je proizvodnja jedrske energije padla za 65 TWh. Podatki iz leta 2015 kažejo, da OVE uživajo neprekinjeno hitro rast, medtem ko se proizvodnja jedrske energije (razen na Kitajskem) v svetovnem merilu zmanjšuje (Schneider & Froggatt, 2016). Ocene kažejo, da so se med letoma 2000 in 2015 zmogljivosti vetrnih elektrarn povečale za 129 GW, plinskih elektrarn za 99 GW in sončne energije za 96 GW, medtem ko so se zmogljivosti jedrske energije zmanjšale za 14,8 GW, energije iz fosilnih goriv za 28,3 GW in energije iz kurilnega olja za 28,2 GW (European Wind Energy Association, 2017).

Na svetovni ravni OVE predstavljajo največji del nove proizvodnje energije na trgu. Leta 2015 je bilo dodanih 147 GW energije iz OVE, kar je bilo največje letno povečanje do sedaj. Leta 2015 so OVE prispevali več kot 60 % vse nove dodane energije na trgu. Vetrna in sončna energija sta dosegli rekordno visoke količine proizvedene energije. Vendar če pogledamo količino proizvedene energije glede na nameščeno zmogljivost, vidimo, da letno jedrske elektrarne proizvedejo več energije na MW nameščene zmogljivosti kot pa OVE, kar daje jedrski energiji prednost pred OVE, saj jedrske elektrarne večinoma obratujejo blizu polnih zmogljivosti (Schneider & Froggatt, 2016).

Države v EU z največjim deležem OVE v letu 2015 (European Wind Energy Association, 2017) so bile:

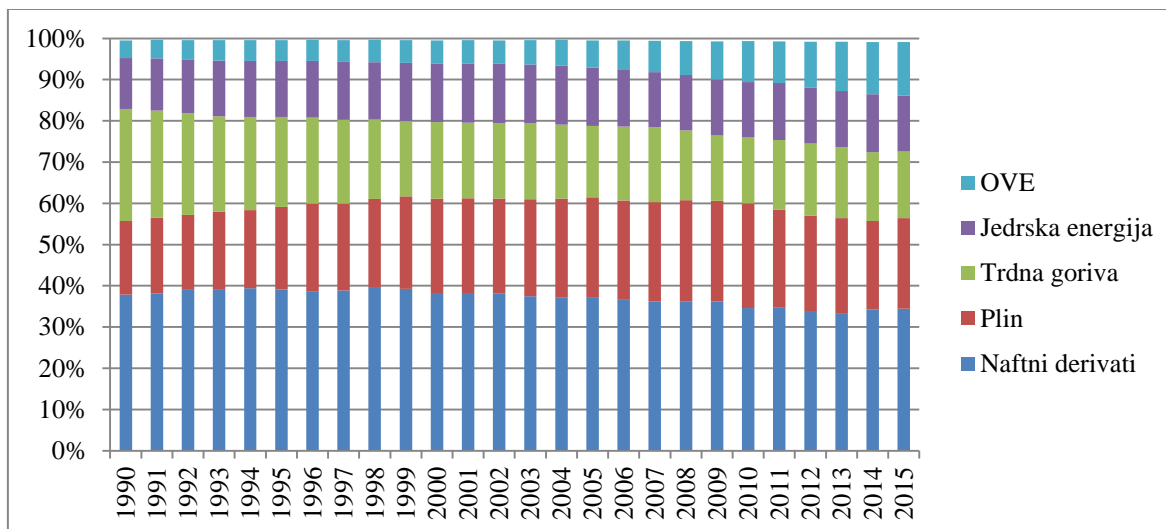
- Nemčija: OVE (sončna, vetrna, hidro in biomasa) so proizvedle 30,1 % bruto državne porabe elektrike.
- Danska: proizveden je bil rekordno velik delež porabljene elektrike iz vetrne energije, in sicer 42 %.
- Španija: več energije je bilo proizvedene iz sončne in vetrne energije kot iz jedrske, medtem ko so vsi OVE proizvedli več energije kot pa zmogljivosti na fosilna goriva.
- Združeno kraljestvo: delež elektrike proizvedene iz OVE (vključno s hidroenergijo) se je v letu 2014 povečal iz 19,1 % na 24,7 %. Skupaj je bilo proizvedenih 83,3 TWh energije iz OVE v primerjavi s 63,9 TWh (18,9 %) iz jedrske energije.

Schneider in Froggatt (2016) trdita, da se je od leta 1997, ko je bil podpisan Kjotski protokol, pa do leta 2015 v EU namestilo za 300 TWh vetrne energije in za 108 TWh sončne energije, medtem ko je proizvodnja energije iz jedrskih zmogljivosti padla za 80 TWh. Pričakujejo rast OVE tudi od leta 2020 naprej, saj se je EU na Podnebnem dogovoru v Parizu decembra 2015 obvezala, da bo do leta 2030 imela vsaj 27 % OVE v svoji energetske mešanici. Za doseg tega cilja bi potrebovali pospešitev gradnje kapacitet iz OVE, medtem ko ciljni delež jedrske energije v energetske mešanici ne obstaja in se tudi delež jedrske energije že desetletja zmanjšuje. Nasprotno pa podatki Eurostata (European Commission, 2016) v Sliki 9 kažejo, da je delež jedrske energije v energetske mešanici EU že desetletja stabilen. Delež OVE se res povečuje, postopno pa se zmanjšujejo deleži naftnih derivatov, plina in trdnih goriv.

Padajoči proizvodni stroški (stroški sončne energije so padli za 80 % od leta 2008) in posledično nižji operativni stroški OVE (stroški kopenske vetrne energije so padli za 50 % od leta 2009) znižujejo ceno energije na trgu, kar se močno opazi v Evropi, kjer proizvajalci nižanja cene ne vidijo kot ciklični trend ampak kot novo stalnico (Schneider & Froggatt, 2016). Priklop velikih količin OVE v omrežje je povzročilo upad veleprodajnih cen, kar vpliva na dobičkonosnost jedrskih reaktorjev. To predstavlja izziv prihodnjim investicijam in postavlja pod vprašaj dobičkonosnost jedrske tehnologije. Cene energije so

padle tudi zaradi visokih subvencij sektorju OVE s strani EU, kar povzroča nekonkurenčnost ostalih energentov (IEA, 2016).

Slika 9: Poraba energije v EU glede na vir energije od leta 1990 do 2015



Povzeto in prirejeno po European Commission, Energy production and imports, 2016.

Mnoge oblike OVE imajo prednostni dostop do omrežja in/ali nižje stroške poslovanja od konvencionalnih virov, kar pomeni, da ko proizvajajo energijo, njihova električna energija vstopa v omrežje prva. Zaradi vedno večjih zmogljivosti OVE imajo v določenih obdobjih tudi večji delež na trgu, torej zmanjšujejo prodajo električne energije iz drugih virov, kar se dogaja predvsem v zahodni Evropi, kjer tudi povpraševanje po energiji upada. V Nemčiji je bilo 15. maja 2016 za nekaj ur več kot 80 % električne energije v državi proizvedeno iz OVE – v državi z 10,8 GW jedrske zmogljivosti in 48 GW zmogljivosti iz fosilnih goriv (Schneider & Froggatt, 2016).

EU je porabila več kot 120 milijard EUR na leto za posredne ali neposredne energetske subvencije OVE ter v Okvirni strategiji za trdno energetske unijo iz leta 2015 (Evropska komisija, 2015) priznala, da te subvencije pogosto niso bile upravičene. Da bi EU popravila škodo, ki jo je naredila na trgu s takimi neupravičenimi subvencijami, bo Komisija sodelovala z državami članicami, da bi zagotovila podporo OVE, ki ne izkrivlja notranjega energetskega trga. Okolju škodljive subvencije se bodo postopno ukinjale, pri popraviljanju trga pa bo imel pomembno vlogo preoblikovan sistem trgovanja z emisijami.

3.3 Odnos mednarodnih institucij do novih gradenj

Medtem ko se EU noče opredeliti do jedrske energije, je jedrsko industrijsko združenje v EU FORATOM (2015b) predlagalo cilj postavitve 100 novih jedrskih reaktorjev med letoma 2025 in 2045 z namenom ohranitve vsaj sedanjih jedrskih zmogljivosti do leta 2050

in poudarilo, da bi nižji delež jedrske energije v energetske mešanici držav članic EU povzročil težje doseganje razogljičenja in zmanjšal raznolikost ponudbe, kar bi vodilo v večjo porabo fosilnih goriv, kot se to trenutno že dogaja v Nemčiji (FORATOM, 2016).

IEA in NEA (2015) v svojem poročilu zaključita, da bi se morale svetovne jedrske kapacitete do leta 2020 več kot podvojiti, če želimo ostati pod 2 °C globalnega segrevanja. Podobno IEA (2016) v svojem poročilu, ko govori o cilju največjega dviga 2 °C, pravi, da bi morale svetovne jedrske kapacitete doseči 540 GW (trenutno jih je 392 GW) v letu 2030 in da bi se moral delež pridobljene energije iz jedrske energije do leta 2030 zvišati na 13 %, kar je dve odstotni točki nad današnjim deležem. Na srednji do dolgi rok možnosti za jedrsko energijo ostajajo pozitivne. Skupno je bilo na začetku leta 2014 v gradnji 72 reaktorjev, kar je najvišje število v zadnjih 25 letih. Glede na cilj dviga temperature za manj kot 2 °C bo Kitajska odgovorna za največjo rast jedrskih kapacitet iz 17 GW v 2014 na 250 GW leta 2050. Leta 2050 pa bo jedrska energija proizvedena na Kitajskem predstavljala 27 % svetovnih jedrskih zmogljivosti. Drugi trgi z rastočim deležem jedrske energije so Indija, Srednji vzhod in Rusija (IEA & NEA, 2015). Na drugi strani pa skrbi glede globalnega segrevanja pozivajo k bolj energetske osveščeni Evropi ter k bolj raznovrstnim in učinkovitejšim oblikam proizvodnje energije. Sredi te razprave poteka tudi razprava o prihodnosti jedrske energije, ki pozitivno prispeva k energetske neodvisnosti EU in kvarnosti njene energetske oskrbe. Hkrati pa uporaba jedrske energije proizvaja le zanemarljive količine CO₂, kar pripomore v boju proti podnebnim spremembam in s tem prispeva k ciljem trajnostnega razvoja (Evropska komisija, 2007b).

Marca 2013 se je 12 držav EU združilo z namenom spodbujanja vloge jedrske energije v energetske mešanici EU. Države, ki so podpisale sporazum, so Združeno kraljestvo, Bolgarija, Češka, Finska, Francija, Madžarska, Litva, Nizozemska, Poljska, Romunija, Slovaška, Španija in Češka, ki tudi koordinira to skupino. V skupni izjavi je navedeno, da so "zavezane k sodelovanju na področju varnosti in ustvarjanju večje gotovosti za vlagatelje v nizkoogljične infrastrukturne projekte." Zavezali so se, da bodo nadaljevali z uvajanjem nizkoogljičnih tehnologij, vključno z jedrsko energijo, OVE ter zajemanjem in shranjevanjem ogljika. Poleg skupne izjave sta Združeno kraljestvo in Francija obljubila, da bosta investirala 12,5 milijona britanskih funtov (angl. *Great Britain Pound* – GBP) v financiranje raziskovalnega reaktorja Jules Horowitz z močjo 100 MW v Franciji. To je projekt v vrednosti 500 milijonov EUR, katerega polovico je financiral Komisariat za alternativne energije in atomsko energijo, 20 % pa so financirali raziskovalni inštituti EU. Julija 2014 je pismo Evropski komisiji v imenu teh držav in Slovenije zahtevalo enake konkurenčne pogoje za jedrsko energijo med drugimi viri z nizkimi emisijami v EU, da bi lahko igrala večjo vlogo pri zagotavljanju energetske varnosti, trajnostnega razvoja in zmanjševanja emisij (WNA, 2017a).

Zaprtje jedrskih elektrarn v času podnebnih sprememb, kot sta to naredili Nemčija in Japonska, je po mnenju Monbiota (2016) popolnoma nerazumno. Zaprtje jedrskih

reaktorjev povzroča nadomeščanje izpada energije z energijo iz fosilnih goriv in tako prispeva k slabšanju stanja podnebja. Opozori na izjavo Davida Mackaya, glavnega znanstvenika na oddelku prejšnje vlade Velike Britanije za področje podnebnih sprememb, da bi jedrski reaktorji, delujoči samo na jedrske odpadke, lahko proizvajali energijo za celotno Veliko Britanijo nadaljnjih 500 let.

4 PRIHODNOST JEDRSKE ENERGIJE V EU

Prihodnost jedrske energije v EU je negotova, saj EU nima enotnih priporočil glede jedrske energije, države članice pa se same odločajo, ali bodo v svojo energetske mešanico vključile jedrsko energijo ali ne. Vlade držav članic se ob tej odločitvi opirajo na koristi in tveganja jedrske energije, v obzir pa morajo na koncu vzeti tudi zelo pomembno javno mnenje, ki običajno prevesi tehtnico.

V nadaljevanju predstavljam energetske napovedi za EU glede na trenutno stanje in zastavljene okoljevarstvene in energetske cilje, nato pa sledi analiza prednosti (angl. *strengths*), slabosti (angl. *weaknesses*), priložnosti (angl. *opportunities*) in nevarnosti (v nadaljevanju SWOT analiza), s katero analiziram uporabo jedrske energije v EU.

4.1 Energetske napovedi za EU

Različni viri ob napovedovanju porabe energije in energetske mešanice v prihodnosti v obzir jemljejo različne dejavnike, kot so gospodarska rast držav, povezava med gospodarsko rastjo in porabo energije, tehnološki napredek, dosegljivost virov energije, cene energije v prihodnosti, energetske politike držav in fizične, okoljske ter gospodarske omejitve ter tako pridejo do različnih napovedi.

Evropska komisija je leta 2016 objavila svojo najnovejšo napoved *EU Reference Scenario 2016* (v nadaljevanju REF2016), ki predvideva trende v zvezi z energijo, prometom in emisijami toplogrednih plinov v EU do leta 2050 (Evropska komisija, 2016b). REF2016 je projekcija, v katero smer nas vodijo trenutne politike in tržni trendi, scenarij pa analizira dolgoročne gospodarske, energetske, podnebne in prometne priložnosti. Na podlagi REF2016 lahko Evropska komisija prilagaja politike za doseganje podnebnih in energetskih ciljev, če se izkaže, da je to potrebno.

V Tabeli 8 je predstavljena odvisnost EU od uvoženih goriv, ki pa se je v zadnjih dveh desetletjih povečala (Evropska komisija, 2017a), REF2016 pa predvideva, da se bo v prihodnosti zmanjšala domača proizvodnja fosilnih goriv, kar bo vodilo v povečanje neto uvoza goriva. Leta 2014 je EU uvozila 53,4 % porabljene energije, pričakuje pa se, da se bo do leta 2050 ta delež povečal na 58 %. Poraba energije bo po letu 2005, ko je bila poraba energije na vrhuncu, upadala do leta 2040, ko se bo stabilizirala.

Tabela 8: Odvisnost EU od uvoza goriv (v %)

	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Trdna goriva	21,5	30,6	39,4	39,5	44,1	45,6
Nafta in derivati	74,1	75,7	82,1	84,5	87,4	87,4
Zemeljski plin	43,4	48,9	57,1	62,2	65,2	67,4
Skupaj	43,1	46,7	52,2	52,6	53,1	53,5

Povzeto in prirejeno po Evropska komisija, *Energy Pocketbook, 2016b, str. 24.*

REF2016 kaže, da bo EU uspešna pri razogljčenju energetskega sektorja, vendar ne bo dosegla dogovorjenih dolgoročnih podnebnih ciljev. V Tabeli 9 so predstavljeni EU cilji do leta 2020, 2030 in 2050 in ocene doseganja ciljev iz REF2016. Vidimo lahko, da trendi kažejo, da s sedanjimi politikami in v trenutnih tržnih razmerah EU ne bo dosegla cilja za leto 2030, prav tako pa ne bo dosegla svojega dolgoročnega cilja do leta 2050, ki je zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za 80 % glede na leto 1990. Avtorji pojasnjujejo, da se bo predvsem zaradi energetskih politik energetska učinkovitost izboljševala do leta 2020, kasneje pa zaradi trendov v tehnologiji in na trgu energetike.

Tabela 9: Okoljevarstveni in energetski cilji EU in njihovo doseganje v prihodnosti glede na REF2016

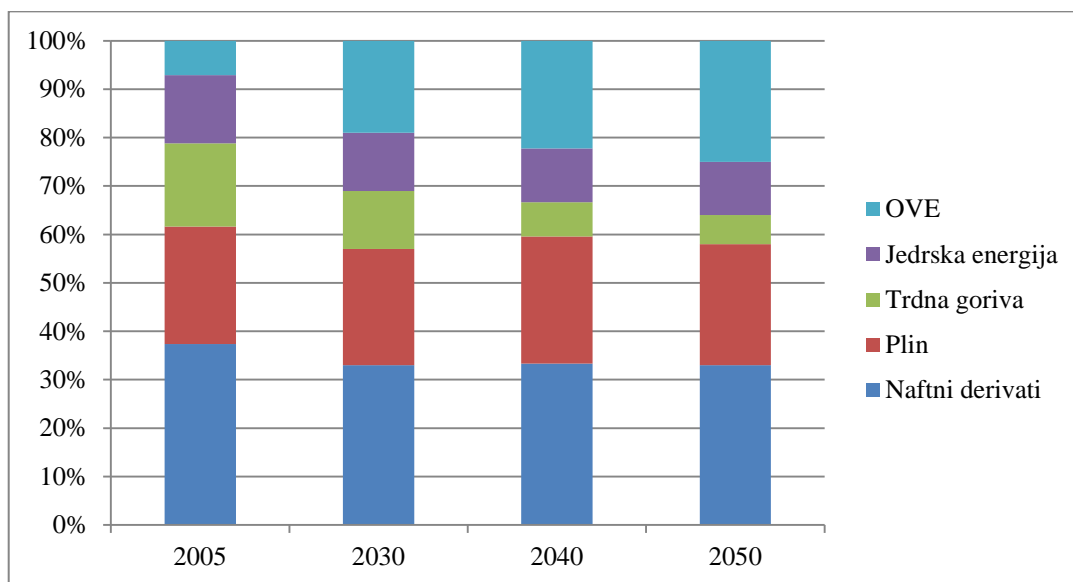
	Znižanje izpustov toplogrednih plinov glede na leto 1990 (v %)	Delež OVE v energetske mešanici (v %)	Izboljšanje energetske učinkovitosti (v %)
Cilji 2020	20	20	20
REF2016 do leta 2020	26	21	18
Cilji 2030	40	27	27
REF2016 do leta 2030	35	24	24
Cilji 2050	80	/	/
REF2016 do leta 2050	48	31	ni podatka

Povzeto in prirejeno po Evropska komisija, *EU Reference Scenario 2016 – Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, 2016b.*

Energetska mešanica proizvodnje električne energije v EU se bo bistveno spremenila v korist OVE, EU pa bo skoraj dosegla svoje zastavljene cilje glede deleža OVE v energetske mešanici. Napovedano energetske mešanice za leto 2030, 2040 in 2050 v primerjavi z dejansko mešanico v letu 2005 vidimo na Sliki 10. REF2016 napoveduje, da se bo delež OVE znatno povečal, medtem ko bodo deleži jedrske energije in naftnih derivativov ostali stabilni, delež trdnih goriv v energetske mešanici pa se bo znatno zmanjšal. EU v ciljih do leta 2050 ni postavila ciljnega deleža OVE v energetske mešanici in cilja o končni energetske učinkovitosti, saj je mnenja, da bo trg sam dosegal razogljčenje gospodarstva

na najbolj cenovno učinkovit način. Avtorji menijo, da bodo naložbe v jedrske zmogljivosti do leta 2030 večinoma namenjene podaljševanju obratovalnih dob, dolgoročno pa bodo naložbe v jedrsko energijo namenjene novogradnjam, ki so že napovedane v nekaterih državah članicah.

Slika 10: Energetska mešanica EU v prihodnosti



Povzeto in prirejeno po Evropska komisija, EU Reference Scenario 2016 – Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050, 2016b.

4.2 SWOT analiza uporabe jedrske energije v EU

SWOT analiza je strukturirana metoda načrtovanja, s katero lahko ocenimo prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti uporabe jedrske energije v EU. Vključuje opredelitev notranjih in zunanjih dejavnikov, ki so ugodni in neugodni za povečanje jedrskih zmogljivosti v EU in jih povzemam v Tabeli 10. V naslednjih podpoglavjih so dejavniki podrobneje pojasnjeni.

Tabela 10: SWOT analiza uporabe jedrske energije v EU

S - Prednosti	W - Slabosti
<ol style="list-style-type: none"> 1. Stroškovno konkurenčna energija. 2. Nizek izpust CO₂. 3. Nizek strošek goriva. 4. Manjša odvisnost od neprekinjene dobave goriva. 5. Možnost predelave in ponovne uporabe goriva. 6. Zanesljiva pasovna energija. 7. Možnost podaljševanja obratovalnih dob reaktorjev. 8. Obsežna proizvodnja po stabilnih cenah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dolgotrajne in kapitalsko intenzivne gradnje reaktorjev. 2. Povprečna starost zaprtih reaktorjev v EU je samo 24 let. 3. Shranjevanje in obdelava jedrskih odpadkov. 4. Večina goriva je uvoženega iz držav izven EU. 5. Jedrsko gorivo ohrani svojo radioaktivnost več tisoletij.
O - Priložnosti	T - Nevarnosti
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nadomeščanje energije iz fosilnih goriv in zagotavljanje potrebne zanesljive pasovne energije. 2. Cenejša od energije iz OVE. 3. Velik potencial obdelave že uporabljenega goriva. 4. Povečanje stabilnosti in zanesljivosti oskrbe z energijo. 5. Konkurenčna energiji iz OVE kot nizkoogljična energija. 6. V prihodnosti se bo povpraševanje po čisti energiji povečevalo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nizke veleprodajne cene elektrike. 2. Liberalizacija trga in nepripravljenost investorjev vlagati v kapitalsko zahtevne projekte. 3. Podpore v OVE izkrivljajo trg energije. 4. Jedrske nesreče. 5. Oster nadzor in visoki varnostni standardi. 6. Nevarnost uporabe jedrske energije v vojaške namene. 7. Jedrska energija ni subvencionirana. 8. Neinformirana javnost in posledično slabše javno mnenje.

S – Prednosti

1. Jedrska energija je stroškovno konkurenčna drugim oblikam proizvodnje električne energije, razen kadar imajo elektrarne na fosilna goriva neposreden dostop do poceni goriv. Jedrska energija je konkurenčna tudi ko so v celoti upoštevani razgradnja in stroški odstranjevanja odpadkov. Pri nizkih diskontnih stopnjah je jedrska energija tudi cenejša od vetrne in sončne energije.
2. Jedrske elektrarne proizvajajo količino CO₂, ki je primerljiva s količino, ki jo proizvaja vetrna energija in je veliko manjša od izpustov, ki jih proizvaja sončna energija. S tem jedrska energija pripomore k doseganju energetske in okoljevarstvenih ciljev EU glede zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov.
3. V primerjavi z energijo, pridobljeno iz fosilnih goriv, strošek jedrskega goriva predstavlja majhen delež stroškov proizvodnje energije. Pri proizvodnji elektrike iz jedrske energije se porabi veliko manj goriva kot pri proizvodnji elektrike iz drugih goriv, zato je cena energije tudi bolj stabilna, saj ni odvisna od nihanja cene goriva.

4. Uran, čeprav uvožen, predstavlja manjšo odvisnost od uvoženih goriv, ker se jedrsko gorivo veliko lažje shranjuje in proizvodnja – v nasprotju s fosilnimi gorivi – ni odvisna od neprekinjene dobave goriva. Transport urana je enostaven, hramba pa ne zahteva veliko prostora – zaloga urana, ki zadošča za več let, se lahko hrani v relativno majhnem prostoru, EU pa ima trenutno zaloge jedrskega goriva za nadaljnjih 10 let.
5. Predelava izrabljenega goriva in recikliranje jedrskih odpadkov povečujeta razpoložljivost jedrskega materiala, nadomeščata proces obogatitve in prispevata k varnosti oskrbe v EU.
6. Jedrska energija zagotavlja zanesljivo pasovno energijo, ki ni odvisna od zunanjih dejavnikov (sonce, veter ipd.) in je tudi zaradi tega zmožna proizvajati energijo z dolgoročno stabilno ceno.
7. Podaljševanje obratovalne dobe reaktorjem, ki se jim je iztekla pričakovana obratovalna doba, je cenejše in manj kapitalno intenzivno od gradnje novih reaktorjev.
8. Jedrska energija omogoča obsežno in dolgotrajno proizvodnjo elektrike po nizkih in stabilnih cenah.

W – Slabosti

1. Gradnja jedrskih reaktorjev je dolgotrajen in kapitalno intenziven proces, zato so nekateri projekti opuščeni že tekom gradnje. Dva reaktorja na Slovaškem sta v fazi gradnje že 30 let, reaktor, ki je v gradnji na Finskem, pa se gradi že 12 let.
2. Zgodovinski podatki o starosti reaktorjev ob njihovem zaprtju nakazujejo na to, da si ne moremo obetati, da bodo trenutno aktivni reaktorji obratovali v povprečju 40 let. Jedrski reaktorji v EU, ki so izpolnili svoj namen ali pa niso bili več gospodarni, so v povprečju obratovali 24 let, reaktorji, ki pa so se zaprli zaradi incidentov in napak, pa so se v povprečju zaprli že po 8 letih obratovanja.
3. Sektor jedrske energije se srečuje z vprašanjem shranjevanja in obdelave jedrskih odpadkov, ki jih EU rešuje z Direktivo o vzpostavitvi okvira Skupnosti za odgovorno in varno ravnanje z izrabljenim gorivom in radioaktivnimi odpadki iz leta 2011. Načrtovanje dolgoročnih odlagališč je kapitalno intenzivno in zahteva veliko prilagajanja, saj lokalne skupnosti večinoma nasprotujejo gradnji odlagališč v svoji okolici, ter slabša javno mnenje o jedrski energiji. Rešitev upravljanja reaktivnih odpadkov bi bila njihova predelava, ki zmanjšuje obseg končnih odpadkov in izboljšuje javno mnenje.
4. EU 90 % jedrskega goriva uvozi iz držav, ki niso del Unije. Tako je odvisnost od uvoza goriva velika, viri uvoza pa so maloštevilni.
5. Jedrsko gorivo skoraj vso svojo radioaktivnost ohrani tisočletja, vendar je raven radioaktivnosti zelo nizka, z upravljanjem radioaktivnih odpadkov pa je poskrbljeno, da sevanje ne ogroža nikogar.

O – Priložnosti

1. Ker se bo delež OVE v energetske mešanici še povečal, bo jedrska energija tista, ki bo lahko zagotavljala potrebno zanesljivo pasovno energijo, ki jo trenutno zagotavlja tudi energija iz fosilnih goriv.
2. Obnovljivi viri energije, kot sta energija na sonce in veter, imajo visoke stroške na enoto proizvodnje – primerjava LCOE je pokazala, da je jedrska energija ne glede na uporabljeno diskontno stopnjo še vedno občutno cenejša od energije iz OVE.
3. V EU obstajajo še neizkoriščeni potenciali predelave osiromašenih goriv. S povečanjem predelave uporabljenih goriv bi se zmanjšala odvisnost od uvoženih goriv, zmanjšala pa bi se tudi količina jedrskih odpadkov, ki so namenjeni dolgoročnemu odlaganju.
4. Povečanje deleža jedrske energije v energetske mešanici bi izboljšalo stabilnost in uravnoteženost enotnega energetskega trga ter izdatno pripomoglo k stabilni in zanesljivi oskrbi z energijo.
5. Ob zmanjšanju subvencij OVE bi se jedrska energija lahko izkazala kot primeren in dolgoročno cenovno ugoden nadomestek, ki bi dosegal enake ali boljše učinke z vidika zmanjševanja izpustov toplogrednih plinov.
6. Povpraševanje po čisti energiji se bo v prihodnosti povečalo, povpraševanje po električni energiji pa narašča dvakrat hitreje kot celotna poraba energije in se bo verjetno povečalo za več kot dve tretjini do leta 2035 (WNA, 2017f).

T – Nevarnosti

1. Nizke veleprodajne cene elektrike slabšajo dobičkonosnost jedrske energije, ki težko dohaja visoko subvencionirane OVE. Nestabilne cene elektrike in CO₂ na trgu predstavljajo negotovost, s katero se srečuje jedrska energija.
2. Zaradi liberalizacije trga energije države ne vlagajo več v jedrske projekte, ampak to prepuščajo trgu. Zasebne družbe pa se redkokdaj odločijo za tako kapitalsko intenzivno naložbo, ki je podvržena strogemu nadzoru in visokim varnostnim standardom. Da bi zagotovili raznolik in zanesljiv sistem oskrbe z električno energijo, bi na trgu potrebovali spodbude za dolgoročne, velike kapitalske naložbe na dereguliranih trgih, ki pa so trenutno pod vplivom kratkoročnih cenovnih signalov in ne spodbujajo naložb v jedrsko energijo.
3. EU podpora OVE izkrivlja energetske trg in podaja napačne investicijske signale. Čeprav se podpore OVE znižujejo, ne moremo napovedati, kdaj se bodo cene na trgu popravile.
4. Kljub ostremu nadzoru in varnostnim ukrepom se jedrske nesreče še vedno dogajajo. Situacije, ki niso bile predvidene niti v najhujših scenarijih, kot na primer nesreča v Fukušimi, lahko povzročijo taljenje jeder in veliko okoljsko ter finančno škodo.
5. Oster nadzor in izpolnjevanje strogih varnostnih standardov povzročajo jedrski energiji višje stroške obratovanja in jo s tem delajo nekonkurenčno.

6. Vedno obstaja nevarnost uporabe jedrskih tehnologij v vojaške namene. Tehnologije jedrskih reaktorjev so lahko uporabljene za izdelavo jedrskih konic, kot je to predvidoma naredil Izrael (WNA, 2017e). Čeprav obstaja sporazum NPT, ki omejuje uporabo jedrske tehnologije v vojaške namene, se lahko zgodi, da države vseeno odstopijo od sporazuma – primer je Severna Koreja, ki je bila podpisnica NPT, a je leta 2003 vseeno odstopila od sporazuma.
7. Jedrska energija nikjer na svetu ni subvencionirana, kot so na primer subvencionirani OVE. V nekaterih državah je jedrska energija še dodatno obdavčena.
8. Javnost je v glavnem precej neinformirana o prednostih in slabostih jedrske energije in je zato dokaj nenaklonjena jedrski energiji. Vsak incident, ki je povezan z jedrsko energijo, za dlje časa ustavi napredek pri ozaveščanju javnosti o dobrotah in prednostih jedrske energije.

Na podlagi SWOT analize uporabe jedrske energije v EU lahko zaključim, da mnoge koristi jedrske energije v primerjavi z ostalimi viri energije pretehtajo nad njenimi tveganji. Največja nevarnost, s katero se srečuje razvoj jedrske energije v prihodnosti, je javno mnenje, ki lahko namesto racionalnih ocen o koristih in tveganjih tega vira energije povzroči čustveno motivirano odločitev držav proti jedrski energiji. Na podlagi analize menim, da bo jedrska energija v prihodnosti pomemben del energetske mešanice EU, s katero se bo EU lahko približala svojim energetskim in okoljevarstvenim ciljem.

SKLEP

Jedrska energija predstavlja pomemben vir energije za EU, saj proizvede skoraj tretjino vse porabljene elektrike, kjub temu pa na ravni EU ni nobenih smernic oziroma podpore za razvoj jedrskih zmogljivosti v prihodnosti. Jedrska energija lahko proizvaja zanesljivo pasovno energijo, ki je v nasprotju s pasovnimi energijami iz fosilnih goriv vir nizkoogljične energije. Čeprav so se v zadnjih desetletjih zmogljivosti OVE podvojile, ne morejo zagotavljati potrebne pasovne energije, EU pa bo zaradi povečanih potreb po energiji v prihodnosti potrebovala zanesljivo energijo iz pasovnih tehnologij, ki zagotavljajo stabilno ponudbo in stabilne cene energije.

Odnos držav članic EU do jedrske energije je zelo različen. Medtem ko se je Nemčija zavezala k opustitvi jedrske energije, Francija načrtuje gradnjo novih jedrskih zmogljivosti, Švedska pa je razveljavila načrtovano opustitev jedrske energije. Čeprav želi Nemčija zmanjšati svojo odvisnosti od jedrske energije, je leta 2011 povečala uvoz jedrske energije iz Francije za 10 %. Države članice EU povezuje notranji energetski trg, ki po potrebi omogoča prost pretok energije med državami članicami. Če so države tesno energetsko povezane, pa imajo odločitve o energetski politiki posamezne države članice vpliv na vse sosednje države. EU se je v svojih energetskih in okoljevarstvenih ciljih do leta 2050 zavezala k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov, ni pa določila ciljnega deleža OVE v energetski mešanici in tako pušča prostor za vse nizkoogljične tehnologije pridobivanja

energije. V preteklosti je bila energija iz OVE močno subvencionirana, EU pa priznava, da subvencije mnogokrat niso bile upravičene, zato se je politika podeljevanja subvencij po letu 2012 spremenila, šele v prihodnosti pa bomo lahko videli vpliv spremembe politike subvencioniranja na razvoj energetske mešanice in njen vpliv na cene energije. Različna evropska združenja za jedrsko energijo se zavzemajo za vključitev jedrske energije na seznam prejemnikov subvencij za čisto energijo, saj so emisije toplogrednih plinov jedrskih elektrarn nizke in so na podlagi življenjskega cikla primerljive z vetrom, hidroelektrarnami in biomaso.

EU uvozi kar polovico potrebne energije, zato jedrska energija, pridobljena iz lokalnih virov, pozitivno prispeva k energetske neodvisnosti EU in k varnosti njene energetske oskrbe. Evropska komisija priznava, da je jedrska energija zanesljiv vir nizkoogljične energije in da igra pomembno vlogo pri zagotavljanju energetske varnosti. Stroškovne primerjave energije iz različnih virov kažejo, da je jedrska energija stroškovno konkurenčna drugim oblikam energije oziroma je, čeprav je kapitalsko intenzivna, veliko bolj ugodna od energije iz OVE. Del obratovalnih stroškov je tudi strošek goriva, ki je pri jedrski energiji relativno majhen v primerjavi z elektrarnami na fosilna goriva, kar pomeni, da je vpliv cene jedrskega goriva na stroške proizvodnje elektrike majhen, kar pripomore k stabilnosti cen elektrike na trgu. Slabost jedrske energije je, da je EU zelo odvisna od zunanjih dobaviteljev goriva, saj 90 % goriva uvozi iz držav izven EU, vendar se viri naravnega urana, ki so locirani v različnih državah članicah, lahko smatrajo kot potencialen in dolgoročen vir goriva. Slabost jedrskih elektrarn v primerjavi z ostalimi viri energije je tudi ta, da so gradnje jedrskih elektrarn kapitalsko močno intenzivne in dolgotrajne. Strošek kapitala močno vpliva na stroškovno učinkovitost jedrske energije skozi njen celoten življenjski cikel, zato so gradnje elektrarn bolj ugodne, ko so obrestne mere na finančnih trgih nizke. Visoki varnostni standardi še dodatno zvišujejo obratovalne stroške jedrskih elektrarn, ki so morale po stresnih testih opraviti še zahtevane varnostne nadgradnje. Jedrski odpadki so zelo pomemben vidik proizvodnje jedrske energije, ki močno vpliva na javno mnenje. Države oziroma proizvajalci imajo za upravljanje z jedrskimi odpadki na voljo dve možnosti: globoko geološko odlaganje in izdelavo mešanega oksida iz odpadnega goriva. Recikliranje že uporabljenega goriva in izdelava mešanega oksida imata več prednosti: prihranek pri uvozu goriva, pozitiven vpliv na javno mnenje, preprečevanje širjenja jedrskega orožja, z vitrifikacijo odpadnega dela materiala pa se dolgotrajnost sevanja radioaktivnih odpadkov skrajša za približno petsto let. Nekatere države članice že sedaj obvladajo tehnologije procesiranja in obogatitve jedrskih goriv, kar izboljšuje varnost oskrbe z energijo v EU. Pomemben vpliv na javno mnenje pa imajo tudi odmevne jedrske nesreče. Neposrednih smrtnih žrtev zaradi nesreč pri proizvodnji jedrske energije je v primerjavi z ostalimi viri pridobivanja energije zelo malo. Če v obzir vzamemo tudi dolgoročne posledice sevanja in onesnaženja okolja zaradi jedrskih nesreč, vidimo, da so te ocenjene smrtne žrtve še vedno veliko manjše od ocenjenih smrtnih žrtev zaradi onesnaženja zaradi energije iz fosilnih goriv.

Ker bi bila za ohranitev zdajšnjih zmogljivosti v prihodnosti potrebna gradnja velikega števila novih jedrskih enot, obenem pa se izklapljujejo starejši reaktorji, bo število reaktorjev v prihodnosti stagniralo ali pa celo padalo. Čeprav si nekateri operaterji v EU obetajo podaljšanje življenjske dobe reaktorjev, zgodovinski podatki kažejo, da je bila povprečna starost do sedaj zaprtih reaktorjev v EU samo 25 let. V obdobju do leta 2030 bo količina izgubljene jedrske energije zaradi zaprtja zastaranih elektrarn in političnih odločitev večja od količine energije, pridobljene iz na novo priklopljenih reaktorjev, kar bo kratkoročno vplivalo na zmanjšanje količine proizvedene jedrske energije v EU. EU si je postavila visoke okoljevarstvene cilje, ki jih bo le težko dosegla brez novih jedrskih zmogljivosti, ki bi nadomestile energijo iz fosilnih goriv. Ker je odločitev držav članic za vlaganje v jedrsko energijo odvisna od mnogih dejavnikov, zelo širok razpon ocen stroškov hudih jedrskih nesreč pa onemogoča celovito analizo stroškov in koristi jedrske energije, na končno odločitev o oblikovanju energetske politike držav članic močno vpliva javno mnenje prebivalcev. Javno mnenje prebivalstva se v odsotnosti jedrskih nesreč spreminja počasi, potrebna pa bi bila boljša ozaveščenost prebivalcev o prednostih in slabostih jedrske energije, saj ozaveščenost izboljšuje javno mnenje.

Da bi EU lahko v prihodnosti dosegla svoje energetske in okoljevarstvene cilje, bi potrebovala enotno politiko razvoja jedrske energije, saj bomo v najslabšem primeru primorani izpad jedrske energije nadomestiti s fosilnimi gorivi, kar pa nas bo še bolj oddaljilo od okoljskih ciljev EU in varne oskrbe z domačo energijo. Glede na močno povezanost držav članic na energetskem trgu EU bi države članice morale doseči soglasje glede prihodnosti jedrske energije v EU.

LITERATURA IN VIRI

1. BP – British Petroleum. (2016). *Statistical Review of World Energy*. Najdeno 5. septembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>
2. BP – British Petroleum. (2017). *Statistical Review of World Energy*. Najdeno 5. septembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>
3. Davis, W. L. (2012). Prospects for Nuclear Power. *Journal of Economic Perspectives*, 26(1), 49–66.
4. Euratom – Evropska skupnost za jedrsko energijo. (2016). *Euratom Supply Agency Annual Report 2015*. Luxembourg: Evropska komisija.
5. European Commission. (2016). *Energy production and imports*. Najdeno 23. novembra 2016 na spletnem naslovu http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports
6. European Wind Energy Association. (2017). *Wind in power – 2016 European statistics*. Najdeno 9. avgusta 2017 na spletnem naslovu <https://windeurope.org>
7. Evropska komisija. (2004). *ExternE: Externalities of Energy, Methodology 2005 Update*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
8. Evropska komisija. (2007a). *Special Eurobarometer – Europeans and Nuclear Safety*. Bruselj: Evropska komisija.
9. Evropska komisija. (2007b). *Special Eurobarometer – Energy Technologies*. Bruselj: Evropska komisija.
10. Evropska komisija. (2011). *Energy Road map to 2050*. Sporočilo Komisije Svetu, Evropskemu parlamentu, Evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in Odboru regij. Bruselj: Evropska komisija.
11. Evropska komisija. (2012). *Sporočilo Komisije Svetu in Evropskemu parlamentu o celovitih ocenjevanjih tveganja in varnosti („stresni testi“) jedrskih elektrarn v Evropski uniji in z njimi povezanih dejavnosti*. Bruselj: Evropska komisija.
12. Evropska komisija. (2013). *2030 Framework for Climate and Energy Policies*. Najdeno 22. novembra 2016 na spletnem naslovu http://ec.europa.eu/smart-regulation/impact/planned_ia/docs/2013_clima_007_energy_climate_framework_en.pdf
13. Evropska komisija. (2014a). *EU Energy, transport and GHG emissions trends to 2050 – Reference Scenario 2013*. Luxembourg: Evropska komisija.
14. Evropska komisija. (2014b). *Subsidies and costs of EU energy. Final report*. Najdeno 20. julija 2017 na spletnem naslovu http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ECOFYS%202014%20Subsidies%20and%20costs%20of%20EU%20energy_11_Nov.pdf

15. Evropska komisija. (2015). *A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy*. *Sporočilo Komisije Svetu, Evropskemu parlamentu, Evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru, Odboru regij in Evropski investicijski banki*. Bruselj: Evropska komisija.
16. Evropska komisija. (2016a). *Energy Pocketbook 2016*. Najdeno 20. julija 2017 na spletnem naslovu https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pocketbook_energy-2016_web-final_final.pdf
17. Evropska komisija. (2016b). *EU Reference Scenario 2016 – Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050*. Bruselj: Evropska komisija.
18. Evropska komisija. (2016c). *Energy prices and costs in Europe. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions*. Bruselj: Evropska komisija.
19. Evropska komisija. (2017a). *Nuclear Energy*. Najdeno 18. julija 2017 na spletnem naslovu <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/nuclear-energy>
20. Evropska komisija. (2017b). *Climate Action*. Najdeno 25. junija 2017 na spletnem naslovu https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en
21. Evropska komisija. (2017c). *Imports and secure supplies*. Najdeno 20. junija 2017 na spletnem naslovu <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies>
22. Evropska komisija. (2017d). *Strategic Energy Technology Plan*. Najdeno 25. junija 2017 na spletnem naslovu <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/strategic-energy-technology-plan>
23. Evropska komisija. (2017e). *Strategic Energy Technologies Information System*. Najdeno 15. junija 2017 na spletnem naslovu <https://setis.ec.europa.eu/>
24. Evropski ekonomsko-socialni odbor. (2016). *Sporočilo Komisije: Usmeritveni jedrski program, posredovano v mnenje Evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru v skladu s členom 40 Pogodbe Euratom*. Najdeno 3. novembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.eesc.europa.eu/?i=portal.en.ten-opinions.39257>
25. Evropski Svet. (2014). *2030 Climate and Energy Policy Framework*. Najdeno 20. julija 2017 na spletnem naslovu http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/145356.pdf
26. Fairlie, I., & Sumner, D. (2006, 6. april). *The Other Report on Chernobyl*. Najdeno 22. novembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.chernobylreport.org/>
27. Ferjan, M. (2008). *Pomen jedrske energije v Sloveniji: primer izgradnje drugega bloka nuklearne elektrarne Krško* (diplomsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
28. FORATOM – European Atomic Forum. (2015a). *Ensuring Europe's Security of Energy Supply – the Role of Nuclear*. Bruselj: European Atomic Forum.
29. FORATOM – European Atomic Forum. (2015b). *Response to the EC Public Consultation on a New Energy Market Design*. Bruselj: European Atomic Forum.

30. FORATOM – European Atomic Forum. (2016). *Position Paper on Nuclear Power – a Key Contributor to a Decarbonized European Union*. Bruselj: European Atomic Forum.
31. FORATOM – European Atomic Forum. (2017a). *Pocket Guide*. Najdeno 1. maja 2017 na spletnem naslovu <https://www.foratom.org/facts-figures/>
32. FORATOM – European Atomic Forum. (2017b). *FORATOM reacts to the “Clean Energy for All Europeans” package*. Izjava za javnost. Bruselj: European Atomic Forum.
33. GEA – Global Energy Assessment & International Institute for Applied Systems Analysis (2012). *Global Energy Assessment Towards a Sustainable Future*. London: Cambridge University Press.
34. Glaser, A. (2012). From Brokdorf to Fukushima: The long journey to nuclear phase out. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(6), 10–21 .
35. Hirschberg, S., Spiekerman, G., & Dones, R. (1998). *Severe Accidents in the Energy Sector. Project GaBE: Comprehensive Assessment of Energy Systems*. Villigen: Paul Scherrer Institut.
36. IAEA – International Atomic Energy Agency. (2009). *Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea*. Austria: International Atomic Energy Agency.
37. IAEA – International Atomic Energy Agency. (2015a). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates by 2050. Reference Data Series No. 1, 2015 Edition*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
38. IAEA – International Atomic Energy Agency. (2015b). *Nuclear Safety Review for 2015. Nuclear Safety and Security Programme*. Austria: International Atomic Energy Agency.
39. IAEA – International Atomic Energy Agency. (2017). *PRIS – Power reactor Information System*. Najdeno 5. maja 2017 na spletnem naslovu <https://www.iaea.org/pris/>
40. IEA – International Energy Agency. (2013). *World Energy Outlook 2013*. Paris: OECD/IEA.
41. IEA – International Energy Agency. (2016). *World Energy Balances 2016*. Paris: OECD/IEA.
42. IEA – International Energy Agency & NEA – Nuclear Energy Agency. (2015). *Technology Roadmap for Nuclear Energy*. Paris: OECD/IEA & OECD/NEA.
43. IEA – International Energy Agency, NEA – Nuclear Energy Agency & OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. (2015). *Projected costs of generating electricity – 2015 Edition*. Najdeno 6. avgusta 2017 na spletnem naslovu: www.oecd-nea.org
44. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.

45. Joskow, P. L. (2010). Comparing the Costs of Intermittent and Dispatchable Electricity Generating Technologies. *The American Economic Review*, 101(3), 238–241.
46. Linares, P., & Conchado, A. (2013). The economics of new nuclear power plants in liberalized electricity markets. *Energy Economics*, 40, 119–125.
47. Lovins, A. B. (2013). The Economics of a US Civilian Nuclear Phase-out. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 69(2), 44–65.
48. Matthes, F. C. (2012). Exit economics: The relatively low cost of Germany's nuclear phase-out. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(6), 42–54.
49. MIT – Massachusetts Institute of Technology. (2003). *Future of Nuclear Power – An Interdisciplinary MIT Study*. Massachusetts: MIT.
50. MIT – Massachusetts Institute of Technology. (2009). *Update of the MIT 2003 Future of Nuclear Power – An Interdisciplinary MIT Study*. Massachusetts: MIT.
51. Monbiot, G. (2016, 15. september). Nuclear power – yes please, Hinkley Point – no thanks. *The Guardian*. Najdeno 25. junija 2017 na spletnem naslovu <https://www.theguardian.com/commentisfree/2016/sep/15/nuclear-power-no-hinkley-point-yes-atomic-energy>
52. Moratilla Soria, B. Y., Uris Mas, M., Estadieu, M., Villar Lejarreta, A., & Echevarria-López, D. (2013). Recycling versus Long-Term Storage of Nuclear Fuel: Economic Factors. *Science and Technology of Nuclear Installations*. Najdeno 28. avgusta 2017 na spletnem naslovu <https://www.hindawi.com/journals/stni/2013/417048/>
53. OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. (2008). *OECD Environmental Outlook to 2030*. Paris: OECD Publishing.
54. OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. (2010). *Public Attitudes to Nuclear Power*. Paris: OECD Publishing.
55. OECD – Organization for Economic Co-operation and Development, IEA – International Energy Agency & NEA – Nuclear Energy Agency. (2015). *Projected Costs of Generating Electricity*. Paris: OECD/IEA.
56. OECD – Organization for Economic Co-operation and Development & NEA – Nuclear Energy Agency. (2010). *Comparing Nuclear Accident Risks with Those from Other Energy Sources*. Paris: OECD Publishing.
57. OECD – Organization for Economic Co-operation and Development & NEA – Nuclear Energy Agency. (2013). *Nuclear Energy Today (2nd Edition)*. Paris: OECD/NEA.
58. Petko, A. (2013). *Posledice zaprtja nuklearnih elektrarn v Nemčiji* (magistrsko delo). Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
59. Roßegger, U., & Ramin, R. (2013). Explaining the ending of Sweden's phase-out policy: a new approach by referring to the advocacy coalition framework theory. *Innovation: The European Journal of Social Sciences*, 26(4), 323–343.
60. Schneider, M. (2013). Nuclear power and the French energy transition: It's the economics, stupid! *Bulletin of the Atomic Scientists*, 69(1), 18–26.

61. Schneider, M., & Froggatt, A. (2016). *The World Nuclear Industry Status Report 2016*. Paris, London, Tokyo: A Maycle Consulting Project.
62. SFEN – Société française d'énergie nucléaire. (2016). *Nuclear4climate Position Paper*. Najdeno 23. novembra 2016 na spletnem naslovu http://www.sfen.org/sites/default/files/public/atoms/files/nuclear4climate_position_paper_eng_revised_2016_v2_4_nov_2016.pdf
63. Tarjanne, R., & Rissanen, S. (2000). Nuclear Power: Least-cost option for base-load electricity in Finland. *Nuclear Energy*, 40(2), 87–94.
64. UNSCAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2014). *UNSCEAR's assessment of levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east Japan earthquake and tsunami*. Najdeno 1. maja 2017 na spletnem naslovu <http://www.unscear.org/unscear/en/fukushima.html>
65. Uprava Republike slovenije za jedrsko varnost. (b.l.). *Letak INES - Mednarodna lestvica jedrskih in radioloških dogodkov*. Najdeno 13. septembra 2017 na spletnem naslovu http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/INES/novi_INES_letak.pdf
66. WNA – World Nuclear Association . (2011). *Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources*. Najdeno 9. avgusta 2017 na spletnem naslovu http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf
67. WNA – World Nuclear Association. (2017a). *Nuclear Power in the European Union*. Najdeno 20. novembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>
68. WNA – World Nuclear Association. (2017b). *Country Profiles*. Najdeno 20. novembra 2016 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles.aspx>
69. WNA – World Nuclear Association. (2017c). *Safety and Security*. Najdeno 1. maja 2017 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security.aspx>
70. WNA – World Nuclear Association. (2017d). *Decommissioning Nuclear Facilities*. Najdeno 20. julija 2017 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities.aspx>
71. WNA – World Nuclear Association. (2017e). *Safeguards to Prevent Nuclear Proliferation*. Najdeno 22. julija 2017 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/non-proliferation/safeguards-to-prevent-nuclear-proliferation.aspx>
72. WNA – World Nuclear Association. (2017f). *World Energy Needs and Nuclear Power*. Najdeno 22. julija 2017 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/world-energy-needs-and-nuclear-power.aspx>

73. WNA – World Nuclear Association. (2017g). *Economics of Nuclear Power*. Najdeno 29. julija 2017 na spletnem naslovu <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

PRILOGE

KAZALO PRILOG

PRILOGA 1: Proizvedena elektrika jedrskih reaktorjev na svetovni ravni po letih	1
PRILOGA 2: Reaktorji, zaprti predčasno zaradi političnih odločitev.....	2
PRILOGA 3: Seznam pogosto uporabljenih kratic	3

PRILOGA 1: Proizvedena elektrika jedrskih reaktorjev na svetovni ravni po letih

Leto	Število reaktorjev	Proizvedena elektrika v TWh
1997	441	2.263,79
1998	438	2.298,27
1999	434	2.378,93
2000	438	2.443,85
2001	438	2.511,09
2002	444	2.553,18
2003	443	2.504,78
2004	443	2.616,24
2005	443	2.626,34
2006	443	2.660,85
2007	439	2.608,18
2008	439	2.597,81
2009	440	2.558,06
2010	442	2.629,82
2011	448	2.517,98
2012	440	2.346,19
2013	441	2.358,86
2014	439	2.410,37
2015	448	2.441,33
2016	451	2.476,22

Povzeto in prirejeno po IAEA, projekt PRIS, 2017.

PRILOGA 2: Reaktorji, zaprti predčasno zaradi političnih odločitev

Država	Reaktor	Leta obratovanja	Zaprtje
Bolgarija	Kozloduy 1-2	27	2002
	Kozloduy 3-4	25	2006
Francija	Super Phenix	12	1999
Nemčija*	Greifswald 1-4	13	1990
	Muelheim-Kaerlich	2	1988
	Rheinsberg	24	1990
	Biblis A	36	2011
	Biblis B	34	2011
	Brunsbüttel	30	2007
	Grafenrheinfeld	33	2015
	Isar 1	32	2011
	Krümmel	25	2009
	Neckarwestheim 1	35	2011
	Phillipsburg 1	31	2011
	Unterweser	32	2011
Italija	Caorso	12	1986
	Latina	24	1987
	Trino	25	1987
Litva	Ignalina 1	21	2005
	Ignalina 2	22	2009
Slovaška	Bohunice 1	28	2006
	Bohunice 2	28	2008
Švedska	Barseback 1	24	1999
	Barseback 2	28	2005
Povprečje		25	

Legenda: *Seznam ne vključuje 8 nemških reaktorjev, ki so se zaprli leta 2011.

Povzeto in prirejeno po WNA, Decommissioning Nuclear Facilities, 2017d.

PRILOGA 3: Seznam pogosto uporabljenih kratic

ASN – Autorité de sûreté nucléaire
BDP – bruto domači proizvod
BP – British Petroleum
CO₂ – ogljikov dioksid
EDF – Electricite de France
ETS – European Trading System
EU – Evropska unija
EUR – evro
EURATOM – The European Atomic Energy Community
FORATOM – European Atomic Forum
GW – gigavat
GWh – gigavatna ura
IAEA – International Atomic Energy Agency
IEA – International Energy Agency
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
kWh – kilovatna ura
LCOE – izravnani stroški električne energije (angl. *levelized cost of electricity*)
MIT – Massachusetts Institute of Technology
MW – megavat
MWh – megavatna ura
NEA – Nuclear Energy Agency
NPT – Nuclear Non-proliferation Treaty
OECD – Organization for Economic Co-operation and Development
OVE – obnovljivi viri energije
SET-Plan – Strategic Energy Technology Plan
SFEN – Société française d'énergie nucléaire
SWOT – analiza prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti
TW – teravat
TWh – teravatna ura
UNESCAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
USD – ameriški dolar (angl. *United States Dollar*)
WNA – World Nuclear Association
ZDA – Združene države Amerike
°C – stopnije Celzija