

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA DRUŽBENE VEDE

Nina Hudej

Mentor: izredni profesor dr. Franc Mali

DRUŽBENE POSLEDICE JEDRSKE FUZIJE

Diplomsko delo

Ljubljana 2007

Hvala očiju in mami za transferje vseh vrst. 😊



IZJAVA O AVTORSTVU diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a NINA HUDEJ, z vpisno številko 210 18560,
rojen/-a 19. 9. 1983 v kraju LJUBLJANA, sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:
DRUŽBENE POSLEDICE JEDRSKE FUZIJE

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo diplomsko delo izključno rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- sem poskrbel/-a, da so dela in mnenja drugih avtorjev oz. avtoric, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu s fakultetnimi navodili;
- sem poskrbel/-a, da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev oz. avtoric navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu s fakultetnimi navodili;
- sem pridobil/-a vsa dovoljenja za uporabo avtorskih del, ki so v celoti prenesena v predloženo delo in sem to tudi jasno zapisal/-a v predloženem delu;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del, bodisi v obliki citata bodisi v obliki skoraj dobesednega parafraziranja bodisi v grafični obliki, s katerim so tuje misli oz. ideje predstavljene kot moje lastne – kaznivo po zakonu (Zakon o avtorstvu in sorodnih pravicah, Uradni list RS št. 21/95), prekršek pa podleže tudi ukrepom Fakultete za družbene vede v skladu z njenimi pravili;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in za moj status na Fakulteti za družbene vede;
- je elektronska oblika identična s tiskano obliko diplomskega dela ter soglašam z objavo diplomskega dela v zbirki »Dela FDV«.

V Ljubljani, dne 18. 6. 2007

Podpis avtorja/-ice: _____

DRUŽBENE POSLEDICE JEDRSKE FUZIJE

Znanstvene in tehnološke raziskave so človeštvu omogočale nenehen ekonomski in družbeni razvoj. V zadnjem obdobju pa se nekateri problemi na globalni ravni zaostrejejo in terjajo pospešeno reševanje. Pričakovanja javnosti so vedno bolj uperjena v znanstvenike in raziskovalce. Med področja, ki vse močneje zahtevajo odgovore, sodi gotovo energetika. Zaloge fosilnih goriv poenjujejo, obnovljivi energijski viri predstavljajo le majhen delež oskrbe z elektriko, uporaba novih energijskih virov pa se odmika v daljno prihodnost. Leta 2006 je bil sklenjen sporazum med Evropsko unijo, Združenimi državami Amerike, Rusijo, Kitajsko, Indijo, Japonsko in Južno Korejo, na podlagi katerega naj bi se oblikoval in izvedel raziskovalni projekt ITER, ki je eden največjih raziskovalnih projektov v zgodovini človeštva in naj bi uveljavil fuzijo kot vir energije za prihodnost.

Ključne besede: energija, fosilna goriva, obnovljivi energijski viri, jedrska fisija, jedrska fuzija.

SOCIAL CONSEQUENCES OF NUCLEAR FUSION

Scientific and technological researches gave mankind an opportunity for a constant economic and social development. Global problems and issues came to a critical point and the need for their salvation is rising. People expect scientists and researchers to take action. An important issue, where answers are needed, is certainly power supply. The resources of fossil fuels are ceasing, only a small percent of the world energy comes from renewable sources and the use of new energy sources seems to be still far ahead. Nuclear fusion is maybe an answer for the future energy needs. The ITER agreement has been signed in the year 2006 by the representatives of the seven parties: the European Union, Japan, China, India, South Korea, Russia and the United States of America. This agreement authorizes the actual start of the most important international scientific research programme.

Key words: energy, fossil fuels, renewable energy sources, nuclear fission, nuclear fusion.

KAZALO

1. UVOD.....	7
1.1 ORIS PROBLEMA	7
1.2 NAMEN.....	9
1.3 STRUKTURA IN METODOLOGIJA	9
1.4 HIPOTEZA.....	10
2. ENERGIJA KOT POMEMBEN VIR DRUŽBENEGA RAZVOJA.....	11
2.1 UVODNO	11
2.2 OD KOČIJE DO JEDRSKEGA REAKTORJA	11
2.3 SVETOVNE ENERGIJSKE POTREBE.....	12
2.3.1 UVODNO	12
2.3.2 SEDANJA PORABA ENERGIJE.....	13
2.3.3 NAPOVEDI ZA PRIHODNOST	14
3. OBSTOJEČI ENERGIJSKI VIRI.....	17
3.1 UVODNO	17
3.2 FOSILNA GORIVA	19
3.2.1 NAFTA	20
3.2.2 ZEMELJSKI PLIN	20
3.2.3 PREMOG.....	21
3.2.4 KAKO UPORABLJAMO FOSILNA GORIVA?	21
3.3 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE.....	22
3.3.1 UVODNO	22
3.3.2 HIDROENERGIJA	23
3.3.3 ENERGIJA SONCA	24
3.3.4 ENERGIJA VETRA	25
3.3.5 BIOMASA	26
3.3.6 GEOTERMALNA ENERGIJA	27
3.4 JEDRSKA FISIJA.....	27
3.5 PRIMERJAVA RAZLIČNIH VIROV ENERGIJE.....	30
4. ENERGIJA, OKOLJE IN ZDRAVJE	31
4.1 UVODNO	31
4.2 UČINEK TOPLE GREDE.....	32
4.3 REŠEVANJE PROBLEMA PODNEBNIH SPREMEMB	33
4.3.1 UVODNO	33
4.3.2 NACIONALNI PROGRAM VARSTVA OKOLJA V RS	34
4.3.3 INICIATIVE EVROPSKE UNIJE	35
4.3.4 KJOTSKI PROTOKOL	36
4.4 REŠEVANJE PROBLEMA RADIOAKTIVNIH ODPADKOV	39
5. JEDRSKA FUZIJA – ENERGIJA PRIHODNOSTI.....	41

5.1	UVODNO	41
5.2	RAZVOJ ZNANOSTI O FUZIJSKI ENERGIJI SKOZI ČAS	41
5.2.1	UVODNO	41
5.2.2	POMEMBNI MEJNIKI V RAZVOJU V 70. LETIH.....	42
5.2.3	KONEC NAFTNE KRIZE	44
5.2.4	RAZVOJ OD LETA 1990 NAPREJ.....	46
5.3	PROCES ZLIVANJA JEDER.....	47
5.3.1	UVODNO	47
5.3.2	FUZIJA Z MAGNETNIM ZADRŽEVANJEM.....	49
5.3.3	TOKAMAK.....	50
5.3.4	FUZIJA Z VZTRAJNOSTNIM (INERCIALNIM) ZADRŽEVANJEM	51
6.	<u>PROJEKT ITER</u>	53
6.1	UVODNO	53
6.2	IZGRADNJA EKSPERIMENTALNEGA REAKTORJA	54
6.3	DOSEDANJE RAZISKAVE	55
6.4	NEGOTOVA PRIHODNOST	57
7.	<u>DRUŽBENI IN EKONOMSKI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE.....</u>	58
7.1	UVODNO	58
7.2	OKOLJSKI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE.....	59
7.3	EKONOMSKI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE	61
7.4	DRUŽBENI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE	64
7.4.1	UVODNO	64
7.4.2	ODNOS JAVNOSTI, POLITIKOV IN MEDIJEV.....	65
7.4.3	ODNOS ZASEBNIH INVESTITORJEV DO RAZVOJA JEDRSKE FUZIJE	67
8.	<u>ZAKLJUČEK.....</u>	68
9.	<u>LITERATURA</u>	74
	<u>PRILOGA A</u>	78

1. UVOD

1.1 ORIS PROBLEMA

Energijo v fizikalnem smislu opredeljujemo kot količino, ki določa sposobnost telesa ali sistema, da opravi določeno delo in jo je Einstein opredelil s formulo: $E = m \times c^2$. V določenih okoliščinah lahko masa postane energija oziroma energija masa. Ta enakovrednost je del relativnostne teorije in ima nekaj zanimivih posebnosti. Pravi, da lahko nek predmet zmanjša svojo maso z oddajanjem energije v okolico. Tako lahko, če stehamo predmet pred in po pretvorbi, iz izgubljene mase določimo, koliko energije se je sprostilo pri pretvorbi. Zaradi te enačbe lahko maso in spremembo mase uporabimo za določanje energije, ki je skrita v snovi. Ta način je pomemben v jedrski fiziki, velja pa tudi v kemiji. Enoti za merjenje energije sta joul in elektronvolt.

Energija se pojavlja v različnih oblikah, kot je proces dela, ki ga v fizikalnem smislu razumemo kot premagovanje sile na določeni poti (potencialna energija), lahko se pojavlja v obliki gibanja (kinetična energija), toplote, elektrike ter različnih oblik elektromagnetnega valovanja (notranja energija). Glavni vir energije na našem planetu je Sonce. Večino energijskih virov na Zemlji kot so: valovanje morja, rečni tokovi, termalna energija, hrana, les, premog, nafta, plin dojemamo kot samostojne energijske vire, vendar so v resnici to sekundarni viri sončne energije. Morda pa lahko k primarnim virom štejemo jedrsko – nuklearno energijo, ki se lahko pojavlja kot jedrska fisija ali jedrska fuzija.

Vse te različne oblike energije imajo eno skupno lastnost – z njo lahko opravimo določeno delo, sprožimo določene procese in spremenimo neugodna ali nesprejemljiva stanja. Energijo potrebujemo v uporabni obliki, na ustreznem mestu in ob pravem času, da lahko opravimo določeno aktivnost, da spravimo stroje in naprave v pogon, da ogrejemo stanovanje, da ustvarimo svetlobo in zvok.

Energija je postala sestavni del našega življenja tako, da tega že skoraj ne opazimo. Ko se zjutraj oprhamo s toplo vodo, uporabljamo energijo. Za umivanje potrebujemo

mila in brisače proizvedene v tovarnah, ki uporabljajo energijo. Naša oblačila in čevlji so prav tako nastali z uporabo energije. In to je šele začetek dneva.

Brez energije človek ne bi mogel obstati. Človek zahodne civilizacije porabi v svojem življenju energijo (vključno z elektriko in gorivom za prevoz) povprečno v obsegu, ki ustreza fizični sili stotih ljudi ali desetih konjev, ki bi konstantno delali za nas. Že v električni vtičnici dobimo moč, ki ustreza moči več konjev.

Energijo imamo za samoumevno. Samo občasno, v primerih izpada električne energije, opazimo kako odvisni smo postali – ko se poskušamo spomniti, kje imamo sveče.

Ponavadi ne razmišljamo o tem, kaj se dogaja za stenskimi vtičnicami ali bencinskimi črpalkami, dokler se luč v našem domu vedno prižge, gorivo za naš avto pa je vedno dostopno. Vendar pa je za delovanje vseh teh naprav potrebna dolga veriga različnih tehnoloških procesov. Veriga se začne s pridobivanjem in zbiranjem energije iz njenih virov, kot so nafta, sonce, veter ali premog. V tej točki ta energija še ni uporabna, saj jo je treba v naslednjem koraku pretvoriti v »končno« energijo, kot sta elektrika, pogonsko gorivo, kurivo itd.

Na koncu različne naprave, kot so žarnice, televizijski sprejemniki, štedilniki, uporabljajo to končno energijo za ustvarjanje nečesa koristnega. Energija je v osnovi vse kar počnemo: skoraj vse naše dnevne aktivnosti zahtevajo hrano, gorivo ali elektriko. Da zagotovimo vso potrebno energijo pa imamo premogovnike, naftne ploščadi, cevi, distribucijo premoga in nafte po vsem svetu z ogromnimi ladjami, elektrarne, bencinske črpalke in še veliko več. Vse skupaj tvori zelo kompleksen sistem, ki mu pravimo energetska sistem.

Energijski viri niso le predmet številnih bazičnih in aplikativnih raziskav temveč tudi vse bolj pogostih političnih konfliktov na planetu. Zaloge zemeljskega plina in nafte so vsak dan v ospredju mednarodnih dogajanj in meddržavnih pogajanj. Težave so večplastne. Na eni strani so zaloge nafte, premoga in zemeljskega plina kot najbolj razširjenih in uporabljenih energijskih virov omejene, na drugi strani pa raziskave

novih energijskih virov zahtevajo velika finančna vlaganja in zelo dolg pretočni čas za njihovo aplikacijo in gospodarsko uporabo.

1.2 NAMEN

Vse našete okoliščine pa tudi vse bolj zaostren pojav kopičenja toplogrednih plinov v zemeljski atmosferi, me je spodbudil, da raziščem zgodovino nastanka jedrske fuzije, njeno vlogo in pomen najnovejšega sporazuma o izgradnji mednarodnega eksperimentalnega termonuklearnega reaktorja (ITER), ki je bil v lanskem letu podpisan med Evropsko unijo, ZDA, Rusijo, Kitajsko, Indijo, Japonsko in Južno Korejo.

V diplomski nalogi bom na podlagi dosedanjih izkušenj in simulacije bodočega razvoja, poskušala ugotoviti družbene vidike ter posledice in preveriti ali so pričakovanja podpisnikov sporazuma upravičena, kakšne ovire in težave lahko pričakujemo, kje so še skrite pasti, ki bodo izbruhnile, preden bo prišlo do gospodarske uporabe jedrske fuzije, kakšne strahove bo sprožila nova tehnologija v javnosti in kako o jedrski fuziji razmišljajo strokovnjaki, ki to področje najbolj poznajo.

1.3 STRUKTURA IN METODOLOGIJA

V teoretičnem delu naloge bom na podlagi strokovne literature in dostopnih podatkov v poglavju »Energija kot pomemben vir družbenega ravoja« najprej opisala pomen energije, njen razvoj, svetovne energijske potrebe ter sodobne tokove in ideje. V tretjem poglavju bom predstavila stanje na področju obstoječih energijskih virov, kot so fosilna goriva, obnovljivi viri in jedrska fisija. V četrtem poglavju bom predstavila posledice pospešene porabe energijskih virov na zdravje ljudi in še posebej posledice zaradi stopnjevanega izpusta toplogrednih plinov v ozračje. Opisala bom načine za reševanje problemov podnebnih sprememb ter reševanje problema jedrskih odpadkov. V petem poglavju bom opisala celovito zgodovino znanstvenega razvoja jedrske fuzije. Prav tako bom razložila jedrsko fuzijo s tehničnega vidika in predstavila tehnološke probleme, ki se ob tem pojavljajo. V nadaljevanju bom

predstavila projekt ITER, njegovo oblikovanje ter izvedbo. Jedrsko fuzijo bom opisala kot ključni primarni energijski vir prihodnosti.

V zadnjem delu naloge bom predstavila družbene in ekonomske vidike jedrske fuzije, kakšne so napovedi za nadaljnji razvoj jedrskih fuzijskih reaktorjev in od česa so odvisne. Izpostavila bom vpliv takšnih reaktorjev na okolje in kakšne stroške lahko pričakujemo ob njegovi realizaciji. Opisala bom tudi, kako lahko na razvoj jedrske fuzije vplivajo politični interesi, javnost, mediji ter zasebni investitorji.

Opravila sem intervjuje s tremi strokovnjaki na področju jedrske fuzije, in sicer z dr. Janezom Strnadom, rednim profesorjem na Fakulteti za matematiko in fiziko, mag. Igorjem Grlicarevem, strokovnjakom z Uprave RS za jedrsko varnost in dr. Rafaelom Martinčičem, raziskovalcem z Inštituta Jožef Štefan.

V zaključku bom, na podlagi raziskanih virov ter mnenj strokovnjakov, s katerimi sem opravila intervju, strnila pričakovanja glede jedrske fuzije, opozorila na možne slabosti in prednosti projekta ITER ter vpeljave jedrske fuzije kot energije prihodnosti ter predstavila izzive in priložnosti za Slovenijo.

1.4 HIPOTEZA

V nalogi nameravam ovreči ali pa dokazati naslednjo hipotezo:

»Iskanje novih energijskih virov je za nadaljnji razvoj človeštva nujno potrebno. Uspešna realizacija projekta ITER in implementacija jedrske fuzije v gospodarsko prakso bi lahko ne le preprečila energetska krizo in s tem napetosti in grožnje za svetovni mir, temveč bi prinesla priložnosti za nove znanstvene, raziskovalne, razvojne in gospodarske dejavnosti«.

2. ENERGIJA KOT POMEMBEN VIR DRUŽBENEGA RAZVOJA

2.1 UVODNO

Na Zemlji so zaloge primarnih energijskih virov omejene. Pri sedanji rabi končne energije in pri sedanjih tehnologijah pretvarjanja primarne energije v sekundarno in naprej v končno energijo bo človeštvo zelo kmalu porabilo večji del nosilcev primarne energije, ki jih je danes mogoče gospodarno izkoriščati. V nekaj generacijah bo začelo primanjkovati zemeljskega plina, kmalu nato tudi surove nafte in izotopa urana 235. Dalj časa je mogoče računati le na premog in na izotop urana 238. Pri tem pa se moramo zavedati, da je sedanji način izgorevanja premoga povezan s tvorjenjem velikih količin CO₂ v dimnih plinih, današnji oplodni reaktorji, v katerih se uporablja za gorivo uran 238, pa še niso zreli za industrijsko uporabo (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 229).

2.2 OD KOČIJE DO JEDRSKEGA REAKTORJA

Vožnja z avtomobilom je danes nekaj tako običajnega, kot je bila včasih vožnja s kočijo, ki je bila dolgotrajna in nezanesljiva. Zato so ljudje premišljevali, kako bi se kočija premikala brez konjske vprege. Prvi je bil francoski znanstvenik Etienne Lenoir, ki je leta 1862 lastoročno izdelani motor z notranjim izgorevanjem namestil v kočijo. Omenjeni motor je poganjal plin, ki je izgoreval v valju (EFDA 2005: 6).

Nemški izumitelj Nikolaus August Otto je naredil še boljši motor 16 let kasneje. Leta 1885 je nemški inženir Benz vzel Ottov motor, pritrdil nanj kolesa in izdelal prvi avtomobil (čeprav je imel samo tri kolesa). V naslednjem letu je nemški inženir Daimler izdelal štirikolesni avtomobil, ki ga je poganjal motor z notranjim izgorevanjem. Seveda so bili zgodnji avtomobili zelo dragi in primarno igračka bogatih moških. To pa se je hitro spremenilo. V ZDA je Henry Ford ugotovil, kako hitro izdelati veliko število avtomobilov z izumom tekočega traku: vsak delavec je stal na istem mestu cel dan in dodal isti del vsakemu avtomobilu, ki je prišel mimo. Leta

1913 je tovarna avtomobilov izdelala tisoč štirikolesnikov na dan. Avtomobili so se pocenili in postali so bolj dostopni (EFDA 2005: 7).

Leta 1903 dva brata Američana, Wilbur in Orville Wright, vstavita motor z notranjim izgorevanjem v letečo napravo in tako izumita prvo letalo na motorni pogon. Ob približno istem času v Italiji prične pridobivati elektriko prva geotermalna elektrarna, ki uporablja toploto zemlje za proizvodnjo elektrike. Leta 1905 Einstein objavi svojo slavno teorijo, ki pravi, da lahko maso pretvorimo v energijo. V sredini 20. stoletja, med in po drugi svetovni vojni, fiziki odkrijejo kako uporabiti silo znotraj atoma. Lise Meitner, avstrijski znanstvenik, odkrije proces jedrske fisije, kjer se težak atom razdeli na manjše dele in ob tem sprosti ogromno količino energije. Leta 1942, italijanski fizik Enrico Fermi, postavi prvi jedrski fisijski reaktor v Združenih državah Amerike. Leta 1954 se odpre prvi jedrski reaktor tudi v Sovjetski zvezi (EFDA 2005: 8).

Že leta 1929 so znanstveniki ugotovili, da Sonce pridobiva energijo z jedrsko fuzijo, v kateri se majhni atomi združijo in sprostijo ogromno količino energije. Leta 1950 so začeli raziskovati, kako na takšen način pridobivati energijo tudi na Zemlji. Poraba energije je v 20. namreč stoletju zelo hitro naraščala, vsakih 25 let se je podvojila. Stroški energijske produkcije so padali in kot rezultat je bilo v mnogih zahodno evropskih državah vključno z ZDA energije v izobilju ter bila je poceni. Varčevanje z energijo ni bilo pomembno, ker je bilo na pretek (EFDA 2005: 9).

2.3 SVETOVNE ENERGIJSKE POTREBE

2.3.1 Uvodno

Ljudje, ki živijo v industrijsko razvitih državah, so odvisni od zadostne energijske preskrbe, ki podpira njihov način življenja. Energijo uporabljajo za gretje in hlajenje svojih domov; za izdelovanje, prevoz, shranjevanje, kuhanje hrane, prevoz do dela, za počitnice, za obisk prijateljev; in za proizvodnjo neizmernih količin dobrin, ki jih imajo za samoumevne. Njihovo življenje se v trenutku ustavi, kadar pride do izpada električne energije.

2.3.2 Sedanja poraba energije

V samo zadnjih 150. letih smo se naučili, kako uporabljati energijo v našo korist, in naša življenja so se spremenila za vedno. Zahvaljujoč razpoložljivosti in cenovni dostopnosti energije, je naše bivanje postalo udobno, postali smo mobilni in produktivni. Vemo pa vseeno, da ima energija svojo ceno.

Tekom 20. stoletja je izobilje energije dramatično spremenilo način življenja ter dela ljudi v industrijsko razvitih državah. Energija je razlog za nadomestitev skoraj vseh ročnih del v tovarnah ter na kmetijah. Države v razvoju pa se soočajo s popolnoma drugačno situacijo, kjer imajo množice ljudi komaj dovolj energije za preživetje, kaj šele za zviševanje življenjskega standarda. Danes namreč vsak posameznik iz razvijajočega sveta porabi manj kot eno desetino energije v primerjavi s tistimi iz industrijsko razvitih držav. Velik problem je v tem, da energija ni na voljo vsem. Okoli 1.6 milijarde ljudi, ena četrtnina svetovne populacije, nima dostopa do modernih oblik energije, in tako trpijo zaradi pomanjkanja zdravstvene oskrbe, mobilnosti, produktivnosti in udobja, ki ga moderna energija omogoča (McCracken in Stott 2005: 145–147).

V zadnjih sto letih sta se svetovna komercialna proizvodnja in populacija povečevali bolj naglo kot kadarkoli prej, celotna letna poraba energije pa se je povečala za več kot desetkrat. Komercialna proizvodnja in poraba energije sta se najbolj povečali v industrijsko razvitem svetu, medtem, ko je rast prebivalstva strmo naraščala v državah v razvoju. Trajalo je nekaj tisoč let, da je svetovna populacija dosegla 1 milijardo, samo sto let, da se je podvojila na 2 milijardi (1925), in potem samo 75 let za naskok na sedanjih 6 milijard. Če domnevamo, da v naslednjih letih ne pride do kakšne večje katastrofe, bo do leta 2025 število prebivalcev zraslo na 8 milijard, do konca 21. stoletja pa nekje na 12 milijard. Pričakujejo, da bodo leta 2050 naše energijske potrebe vsaj dvakrat tolikšne kot danes. Če bomo pridobivali energijo na način kot danes, večinoma z uporabo fosilnih goriv, bo naše okolje trpelo. Znano je, da premog, nafta in plin ogrožajo okolje. Ko zgorijo, močno onesnažujejo zrak. Nekateri od teh izpušnih plinov, kot je npr. ogljikov dioksid (CO₂), delujejo kot toplotni ovoj okoli Zemlje, in povzročajo takoimenovani učinek tople grede. Zaradi tega učinka, se temperatura na Zemlji zvišuje, kar ima veliko negativnih posledic, kot so

recimo vedno bolj ekstremni vremenski pogoji in dogodki. Od industrijske revolucije se je povprečna temperatura na Zemlji dvignila za 0.6 °C (Reay 2005).

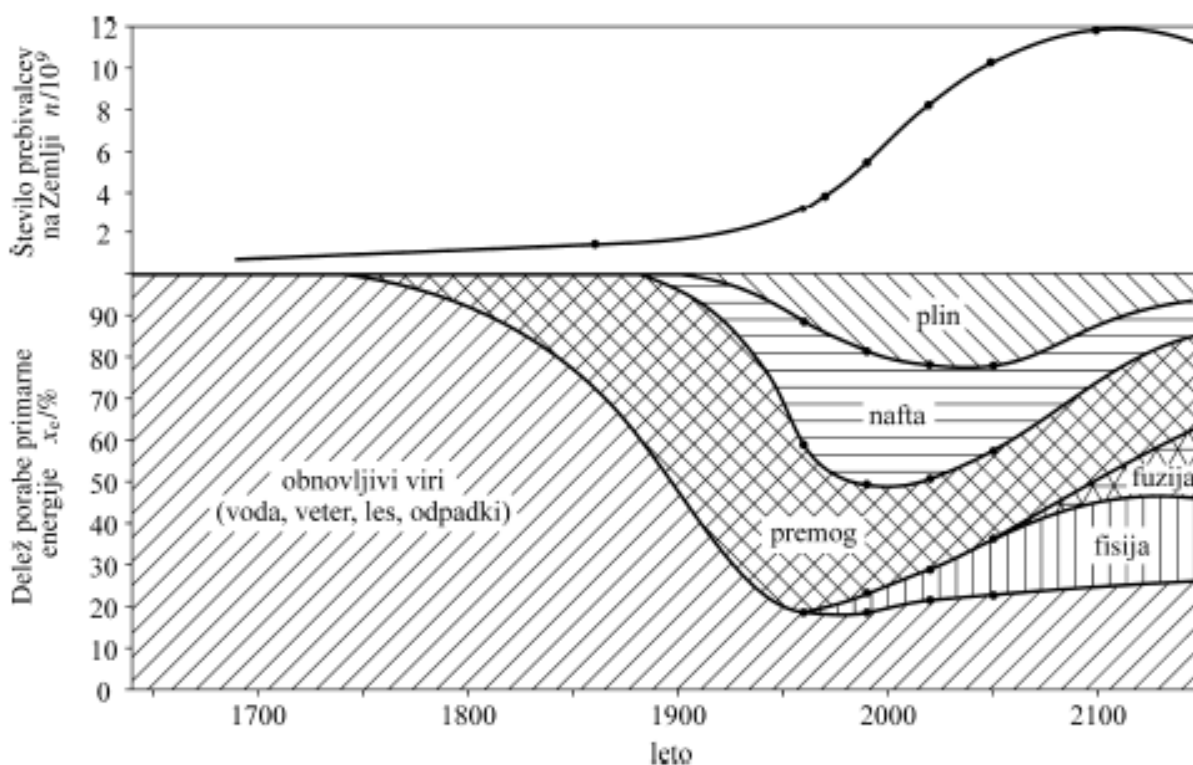
Iskanje načinov za zmanjševanje naših energijskih potreb in bolj učinkovito izrabo le-teh, je prav tako pomembno, kot iskanje novih virov energije. Četudi domnevamo, da bi ljudje iz industrijsko razvitih držav drastično zmanjšali količino porabljene energije, recimo na polovico trenutne porabe, bi še vedno potrebovali ogromno povečanje oskrbe z energijo za cel svet (McCracken in Stott 2005: 147–150).

2.3.3 Napovedi za prihodnost

Raziskave znanstvenikov gredo v dveh smereh:

- sedanje energijske vire uporabljati bolj smotrno;
- čim prej začeti izkoriščanje novih (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 229).

Slika 2.3.3.1: Projekcija naraščanja prebivalstva in porabe primarne energije



Vir: Vojvodič Tuma, Jelena, Matija, Tuma, Nenak, Gubeljak, Dražan, Kozak in Gorazd, Kosec (2005): Energija prihodnosti – jedrska fuzija. Materiali in tehnologije 39/6, 230–233.

Slika 2.3.3.1 prikazuje projekcijo naraščanja prebivalstva in ocenjeno porabo primarnih energijskih virov v naslednjih desetletjih. Na sliki so označene točke naraščanja prebivalstva do leta 2100 in porabe primarnih energijskih virov do leta 2050. Po tej projekciji bo človeštvo leta 2100 doseglo število 12 milijard, ki bo nato začelo počasi upadati. To so rezultati raziskav združenja World Energy Council¹², ki vključuje več kot 500 strokovnjakov s področja energetskih študij (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 229).

Sočasno z naraščanjem prebivalstva skušajo strokovnjaki predvideti tudi prihodnjo povprečno porabo primarne energije na prebivalca na leto. Napovedi se na dolgi rok med seboj razlikujejo za več kot 100%. Kljub temu pa dobro služijo za oceno strukture prihodnje porabe primarne energije in kažejo, da obnovljivi viri še dolga desetletja ne bodo nadomestili fosilnih in jedrskih energijskih virov. Za nadaljnje razmišljanje je vzeta predvidena poraba energije do leta 2050, ki so jo prav tako sestavili strokovnjaki v okviru združenja World Energy Council. Napoved je ekstrapolirana za naslednjih sto let, tj. do leta 2150, in upošteva predvsem napovedi strokovnjakov glede rabe obnovljivih energijskih virov in jedrske fisije (današnji in novi jedrski reaktorji) ter mnenje strokovnjakov, da bodo do sredine tega stoletja rešeni glavni problemi jedrske fuzije (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 229).

S slike 2.3.3.1 je nadalje razvidno, da se morda prav v našem času dogaja prelomnica v strukturi porabe primarne energije: dosežena je največja poraba nafte in zemeljskega plina na prebivalca na leto. V naslednjih desetletjih naj bi se poraba klasičnih fosilnih goriv (predvsem tekočin in plinastih, manj trdih) na zemljana procentualno zmanjševala, pri tem pa bo naraščalo prebivalstvo na Zemlji od današnjih 6 na 12 milijard.

Obnovljivi viri primarne energije, od katerih je najpomembnejša potencialna energija vode, nas ne bodo rešili. Iz energetske zadrege nam bo najverjetneje pomagala jedrska fisija in predvsem jedrska fuzija, ki pa je danes šele v povojih. Obnovljivi energijski viri bodo čez sto let zadostovali za približno tretjino človeštva, to je za 4

¹ World Energy Council (2000): Energy for Tomorrow's World – Acting Now. Atalink Project Ltd, London.

² World Energy Council (1994): Energija za jutrišnji svet. Komisija Svetovnega energetskega sveta, Ljubljana.

milijarde ljudi od skupno 12 milijard. Približno 8 milijard ljudi pa bo odvisnih od premoga, od jedrskih fuzijskih reaktorjev, vedno manj pa od fisijskih ter od nafte in zemeljskega plina. Ne glede na vrsto primarnih energijskih virov bodo sedanje parne in plinske turbine obdržale svojo pomembnost, kajti pretežni del pretvorb primarne energije v sekundarno se bo tudi v naslednjih desetletjih odvijal preko vmesne pretvorbe v toploto v parnih kotlih, jedrskih reaktorjih in plinskih gorilnikih ter motorjih z notranjim zgorevanjem³. Seveda pa je v prihodnje treba računati tudi s postroji in tehničnimi postopki, kjer se bo primarna energija pretvarjala naravnost v sekundarno, na primer: sončne celice, gorivne celice, magnetnohidrodinamični generatorji. Strokovnjaki pripisujejo nadalje velike možnosti boljšemu izkoriščanju vseh vrst premogov in urana, pri tem pa resno opozarjajo na nevarnost učinka tople grede. Dosedanje raziskave⁴ potrjujejo naslednja dejstva:

- v naslednjih 30. letih bo porabljeno toliko energije iz fosilnih goriv, kot je je bilo doslej v celotni človeški zgodovini;
- fosilni primarni energijski viri bodo tudi v prihodnosti nosili glavno težo preskrbe z energijo;
- obnovljivi energijski viri (biomasa, veter, voda in sonce) bodo pridobivali na pomembnosti, vendar pa bo v absolutnem znesku njihov pomen tudi v prihodnje manjšinski;
- jedrska energija bo potrebna tudi v prihodnje;
- energetika bo v prihodnje v veliki meri krojila okoljevarstvene ukrepe (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230)

³ Wissenschaftlicher Beirat der VGB PowerTech e.V. (2001): Forschung für eine nachhaltige Energieversorgung.

⁴ Gyarmathy, G. (1990): Innovation and Tradition in Steam Turbine Engineering. Proc. Instn. Mech. Engrs., 217–231.

3. OBSTOJEČI ENERGIJSKI VIRI

3.1 UVODNO

Po Max Plancku je energija sposobnost sistema, da izvaja zunanje aktivnosti. Nastopa v različnih oblikah: kot mehanska, toplotna (notranja), kemično vezana energija (fosilna goriva, jedrska goriva, biomasa), fizikano vezana energija (potencialna energija vode), energija elektromagnetnega sevanja (sončna energija) in električna energija (Novak in Medved 2000: 8).

Ločimo neobnovljive vire energije, ki so v zemeljski skorji (premog, nafta in naravni plin), in vse pomembnejše obnovljive vire, kot je sončna energija v različnih pojavnih oblikah (neposredno sevanje, energija vode, vetra in biomase), planetarno energijo (biomasa) in pogojno obnovljive vire (geotermalna energija) (Novak in Medved 2000: 8).⁵

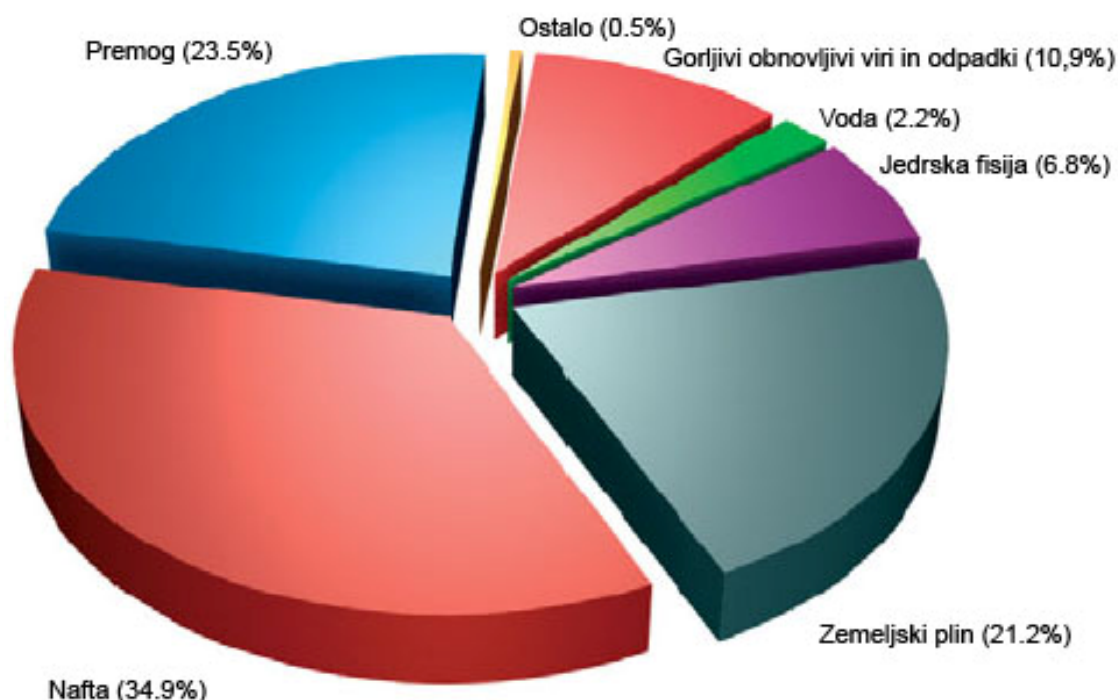
Energija in energetika sta bistvena dejavnika človekovega okolja, od katerih je odvisen naš življenjski in kulturni standard ter gospodarski razvoj. Čeprav se vsi zavedamo, da brez energije, tako kot brez vode, zraka ali hrane, ni življenja in ne gospodarstva, dopuščamo, da jo nesmotrno izkoriščamo. Ker je energetska gospodarstva podlaga napredka, Slovenija pa tri četrtine energije uvaža – tekoča goriva in zemeljski plin, gorivo za jedrsko elektrarno in nekaj kakovostnega premoga, je nujno zelo preudarno in gospodarno ravnanje pri vseh porabnikih energije. Domači hidroenergijski viri so omejeni, enako tudi viri premoga, ki niti ni kakovosten, zato je naša prihodnost v obnovljivih virih energije. Poleg tega smo na pragu nove energetske dobe 21. stoletja: obdobje jedrske energije bo prešlo v obdobje uporabe obnovljivih virov energije,

⁵ Za daljšo dobo lahko zagotovijo blagostanje človeštvu samo novi viri primarne energije. Mednje sodijo predvsem: sevanje sonca, cepitev jeder težkih kemičnih elementov (jedrska fisija) v novih tipih jedrskih reaktorjev in zlitje jeder lahkih elementov (jedrska fuzija). Na račun zmanjševanje deleža fosilnih energijskih virov – predvsem plinastih in tekočih - se bo povečal delež jedrskih: najprej v obstoječih in v novih fizijskih reaktorjih (pri tem pričakujemo, da bodo oplodni jedrski reaktorji nasledili današnje termične) in pozneje v jedrskih fuzijskih reaktorjih. Ti naj bi človeštvu v naslednjih stoletjih zagotovili dovolj koristne energije. (Novak in Medved, 2000).

predvsem sončne energije v vseh njenih pojavnih oblikah. Poleg slednje je še nekaj virov: razen vodne in vetrne tudi geotermalna energija in bibavica, raziskujejo pa še druge (Novak in Medved 2000: 5).

Količino energije merimo po enotah v mednarodnem merskem sistemu (ISO) v joulih⁶. Iz tehniškega merskega sistema poznamo vatne ure⁷ in v energetskih bilancah pogosto uporabljeno enoto toe – tona ekvivalentne nafte⁸ (Novak in Medved 2000: 8).

Shema 3.1.1: Viri primarne energije v letu 2002 po Svetu. Skupna količina porabljene energije leta 2002 je bila 10.230 milijonov (mToe). Kategorija ostalo vsebuje geotermalno, sončno, vetrno, itd. energijo.



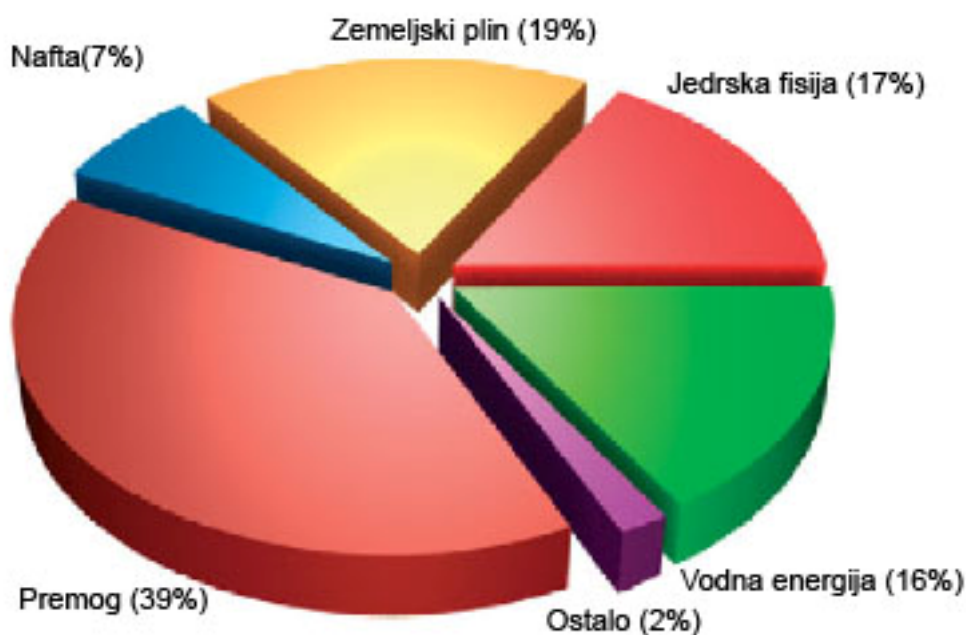
Vir: EFDA – European Fusion Development Agreement (2005): *Energy Powering the World*. Nieuwegein: FOM – Institute for Plasma Physics Rijnhuizen.

⁶ J, izg. džulih.

⁷ Wh = 3600 J

⁸ Tonne of oil equivalent; 1 toe = $12,5 \times 10^6$ Wh = 45×10^9 J.

Shema 3.1.2: Proizvodnja elektrike glede na različne vire leta 2002 po Svetu. Skupna količina proizvedene elektrike je bila 15.476 TWh. Kategorija ostalo vsebuje geotermalno, sončno, vetrno energijo, itd.



Vir: EFDA – European Fusion Development Agreement (2005): *Energy Powering the World*. Nieuwegein: FOM – Institute for Plasma Physics Rijnhuizen.

3.2 FOSILNA GORIVA

Fosilna (mineralna) goriva vsebujejo ogljikovodike, kamor štejemo naravna bogastva, kakršna so nafta, premog in zemeljski plin. Nastajajo izredno dolgo časa, zato jih uvrščamo med neobnovljive vire energije. Premog, nafta in plin predstavljajo več kot 80% vseh energijskih virov po svetu, kot prikazuje shema 3.1.1. Imenujemo jih fosilna goriva, ker so nastala iz prazgodovinskih rastlin in živali, ki so živele okoli 300 milijonov let nazaj. Ko so ti prazgodovinski organizmi umrli, so se njihovi ostanki in okostja dolgo časa nabirali pod sloji kamnov, blata in peska. Med milijoni let so bili ti ostanki podvrženi visokim pritiskom in temperaturam, zaradi česar so se razkrojili in ustvarili fosilna goriva, ki jih danes uporabljamo. Različne oblike fosilnih goriv – kot so nafta, plin in premog – so nastale v odvisnosti od živalskega in rastlinskega materiala ter od temperatur in pritiskov, katerim so bili izpostavljeni (Novak in Medved 2000).

3.2.1 Nafta

Nafta, surovo olje, petrolej, črno zlato... Čeprav na moderen način nafto črpamo šele od leta 1853, je človeštvo za to surovino ustvarilo že mnoga imena. Nafta vrti svet. Skoraj vsa prevozna sredstva – avtomobile, kamione, letala in dieselske vlake, poganjajo naftna goriva. Nafto je pred rabo treba predelati tako, da najprej odstranijo vodo, raztopljene snovi in druge primesi. Pline izločajo s frakcionirno destilacijo: velika kolona, ki jo imenujejo frakcionirna kolona, je na dnu zelo vroča, proti vrhu pa vedno hladnejša. Vrela nafta vstopa v kolono kot para, ob dviganju pa se vse bolj hladi. Tako ločijo nafto glede na različna vrelišča na bencin, kerozin, plinsko olje in preostanek. Z vakumsko destilacijo dobijo motorna olja, strojna olja, mazalna olja. Preostanek pri tem pa se uporabi za maziva, industrijska kurilna olja in bitumen. Nafta in zemeljski plin sta nastala iz morskih organizmov, ki so potonili na dno oceana in so pokopani pod oceanskimi sedimenti. Nafta se nahaja pod zemljo, v obliki drobnih kapljic ujetih med luknjami v kamnih. Luknje in naftne kapljice so zelo majhne: lahko se jih vidi samo skozi mikroskop. Sestavljena je iz ogljikovodikov - iz dolgih verige ogljikovih atomov s pritrjenimi atomi vodika nanje (EFDA 2005: 24).

Nafta je kaj kmalu pridobila vodilno vlogo v industriji in njena poraba se je hitro povzpela v neslutene višave. Po raziskavah sodeč bodo zaloge nafte zdržale le še približno 40 let. Naftina visoka vrednost izhaja iz dejstva, da je zelo kompaktna, tekoča in ob njenem izgorevanju nastanejo izredno velike količine energije (EFDA 2005: 24).

3.2.2 Zemeljski plin

Zemeljski plin sestoji pretežno iz metana (CH_4); snovi, v kateri en atom ogljika obkrožajo štiri atome vodika; pa tudi etana, propana in butana. Metan je zelo vnetljiv in lahko pod pravimi pogoji hitro zagori, ne ustvarja pepela in ustvarja prav tako malo okolju ogrožujočih substanc kot npr. žveplov dioksid ali dušikov oksid. CO_2 , ki se ustvarja, ko plin zgori, ni strupen. Zemeljski plin je brezbarven in nima vonja. Danes predstavlja zemeljski plin eno petino celotne energetske porabe na svetu. Še posebno je pomemben v domovih, kjer predstavlja skoraj polovico energije uporabljene za ogrevanje, toplo vodo in kuhanje. Ker zemeljski plin nima vonja,

tovarne v plin dodajajo kemikalije, da ustvarijo vonj, ki pripomore pri prepoznavanju morebitnega uhajanja plina. Zemeljski plin je enostaven za prevoz preko cevovodov, gori »čisto« in je zelo učinkovit. Najdišča nafte in premoga so mnogokrat tudi najdišča zemeljskega plina, saj ti nastajajo v zelo podobnih pogojih. Včasih so zemeljski plin, kot stranski produkt ob najdbi nafte, preprosto zažgali, danes pa je to prepovedano in z vbrizgavanjem plina nazaj v zemljo povečajo pritisk in olajšajo črpanje nafte. S tem tudi pustijo možnost za uporabo teh dokaj malih količin zemeljskega plina v prihodnosti (EFDA 2005: 24–25).

3.2.3 Premog

Premoga je izmed vseh fosilnih goriv največ in ima najdaljšo zgodovino. Pridobivamo ga iz tal s podzemnimi ali dnevnimi kopi. Je črna ali rjavkasta sedimentna kamnina. Premog so uporabljali za ogrevanje že od zgodnjega človeštva, sedaj pa je primarni vir energije. Prvič so premog kopali nekje po letu 1000 n.š., vodilno vlogo pri proizvodnji energije pa je imel vse do leta 1955. Nastal je iz ostankov dreves, praproti in ostalih rastlin, ki so živele 300 do 400 milijonov let nazaj. Obstajajo različne vrste premoga, z različnimi lastnostmi. Antracit, ki je zelo težak, ustvarja veliko toplote, ampak malo ognja ter dima. Na splošno, težji kot je premog, več energije se nahaja v njemu, do 31 MJ na kilogram. V elektrarnah se uporablja premog, ki ima toplotno vsebnost 25 MJ na kilogram. V nekaterih državah se uporablja »rjavi premog«, ki ima še manjšo vsebnost. Premog zgori v elektrarnah za proizvodnjo elektrike. Če bi elektriko ustvarjal zgolj premog, bi povprečno evropsko gospodinjstvo porabilo 1800 kilogramov premoga vsako leto. Čeprav premoga nikoli ne vidimo, ga vsak dan uporabljamo (EFDA 2005: 25).

3.2.4 Kako uporabljamo fosilna goriva?

Pri gorenju fosilnih goriv se sprošča veliko energije in so se, ker jih v večji ali manjši meri najdemo povsod po svetu, uveljavile kot prevladujoči vir energije v svetu. Z izgorevanjem fosilnih goriv nastaja energija, ki jo uporabljamo za proizvodnjo elektrike. To storimo tako, da pri gorenju nastali pritisk vodne pare uporabimo za poganjanje turbin, ki potem proizvajajo elektriko (McCracken in Stott 2005).

Večinoma uporabljamo fosilna goriva za prevoz, ogrevanje in elektriko. Nafta se v glavnem uporablja za prevoz, plin za ogrevanje in produkcijo elektrike, večina premoga pa se uporablja za izdelavo elektrike (McCracken in Stott 2005).

Vsako leto porabimo fosilnih goriv v količini, ki je nastajala milijon let. Za nastanek fosilnih goriv je potrebnih na tisoče let čisto pravih pogojev. Virov fosilnih goriv je sicer zaenkrat še veliko (vsaj premoga) in lahko zadovoljijo naše potrebe še za vsaj nekaj sto let. To pa vseeno pomeni, da ko bomo enkrat porabili zaloge nafte, plina in premoga, bomo morali čakati nekaj sto tisoč let brez kakršne koli industrije, ali pa se bomo obrnili na bolj obnovljive, zanesljive in čiste vire energije (McCracken in Stott 2005).

Seveda pa obstaja še veliko problemov pri kurjenju fosilnih goriv. Fosilna goriva so neobnovljivi viri energije. Ob njihovem izgorevanju se v zrak spoščajo dušikovi oksidi (NO_x) in strupeni žveplov dioksid (SO₂). Žveplov dioksid reagira z vodo in tvori žvepleno kislino, ki na zemljo pade v obliki kislega dežja. Ogljikov dioksid (CO₂), ki prav tako nastaja, se obnaša kot toplotna odeja okoli Zemlje, kar spodbuja t.i. toplogredni učinek. Obstaja dovolj poceni fosilnih goriv, da lahko ustvarijo zelo velik klimatski problem. Drugi problem je, da fosilna goriva niso razporejena enakomerno okoli sveta. Okoli 80% svetovnih naftnih virov se nahaja na Bližnjem Vzhodu, v roku 30. let bodo evropske zaloge zemeljskega plina izčrpane. Večina držav pa bi rada postala manj odvisna od energijskih virov drugih držav (EFDA 2005: 25–26).

3.3 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE

3.3.1 Uvodno

Obnovljivi viri energije konstantno obnavljajo svojo energijo in jih zaradi tega ne bo nikoli zmanjkalo. Vključujejo vse vire energije, ki jih zajemamo iz stalnih naravnih procesov, kot so sončno sevanje, veter, vodni tok v rekah ali potokih (hidroenergija), fotosinteza, s katero rastline gradijo biomaso, bibavica ter zemeljski toplotni tokovi (geotermalna energija). Večina obnovljivih virov, razen geotermalne in energije bibavice, izvira iz sprotnega sončnega sevanja. Ko bo postala dostopna energija

jedrske fuzije, bo to prav tako energija, ki bo zagotavljala energijo milijone let (Novak in Medved 2000).

Zajemanje obnovljivih virov energije ne izčrpa vira. Nasprotno pa z uporabo fosilnih goriv v kratkem času izčrpamo energijo, ki se je shranjevala tisoče ali milijone let (EFDA 2005: 33).

3.3.2 Hidroenergija

Za premogom, ki predstavlja 39% električne energije, in nafto/plinom (26%) je vodna energija tretji največji vir električne energije v svetu (16%), kot prikazuje shema 3.1.2. Po podatkih Združenih narodov je vodna energija najpomembnejši obnovljivi vir energije, ki se uporablja po svetu. Predvidevajo, da vodna energija zmanjšuje emisije tako imenovanih plinov tople grede za 10%, s tem ko nadomešča ostale načine proizvodnje električne energije. Zaradi tega je vodna energija eden glavnih načinov zmanjševanja učinkov tople grede, prav tako prispeva k bolj koristni rabi energije in njenemu ohranjanju. Za nadaljnji razvoj izkoriščanja vodne energije obstajajo znatne možnosti tako v obnovi in nadgradnji obstoječih sistemov, kakor tudi v izgradnji novih. Dodatno pomembno vlogo predstavljajo prečrpovalne elektrarne kot shranjevalke energije (Nemac in drugi 2002a).

Hidroelektrarne (vodne elektrarne) so postroji, v katerih se potencialna energija vode pretvarja v električno energijo. Mednje običajno prištevamo tudi elektrarne, ki izkoriščajo plimo in oseko (energija bibavice). Potencialno energijo vode je mogoče pretvoriti v uporabne oblike zaradi njenega gibanja, ki je posledica gravitacije. Reke predstavljajo naravne možnosti za relativno lahko izkoriščanje vodne energije (Nemac in drugi 2002a).

Hidroenergija je zanesljiva, preizkušena, zrela tehnologija z znanimi pozitivnimi in negativnimi vplivi. Hidroelektrarne imajo dolgo obratovalno dobo - do 100 in več let in so zelo učinkovite. Stroški vzdrževanja in obratovanja so nizki, nadzor obratovanja je razmeroma enostaven (Nemac in drugi 2002a).

Obstajajo obsežne možnosti za nadaljnji razvoj izkoriščanja vodnih virov, še posebej v deželah v razvoju, kjer so neizkoriščeni viri najobsežnejši. Vendar lahko ekonomski,

območni okoljevarstveni in socialno-ekonomski dejavniki občutno zmanjšajo te možnosti. V zadnjih letih se je tempo izgradnje novih vodnih elektrarn občutno zmanjšal (Nemac in drugi 2002a).

3.3.3 Energija sonca

V najširšem pomenu vsebuje energija sonca vse energije, ki izhajajo iz Sonca, vključno z vetrom, biomaso, vodno energijo in energijo iz oceanov. Sonce je tipična zvezda, kakršnih je v naši galaksiji več milijard.

Celotna letna energija, sprejeta s sevanjem (na površini zemlje), dosega v povprečju 3000-kratno vrednost današnje svetovne rabe energije. Vendar je pomembna vrednost za vsako območje "sončno razmerje" (vstopna energija sonca / poraba energije v območju), ki niha od manj kot 100 v nekaterih energetsko intenzivnih državah do več kot 10.000 za nekatere države v razvoju. Zaradi neučinkovitih naprav za pretvarjanje energije izgleda da bo, kljub ogromnim možnostim za pokrivanje velikega dela potreb po energiji v državah v razvoju, le del potreb po energiji energetsko intenzivnih držav možno lokalno pokriti s sončno energijo. To vodi k mnogim razmišljanjem, na kak način zbirati sončno energijo v sončnih, redko naseljenih območjih in jo nato transportirati v neki zgoščeni obliki do območij, kjer jo potrebujemo (Nemac in drugi 2002b).

Sončno energijo je možno izkoriščati na dva načina: s toplotnimi sistemi ali pa z izkoriščanjem fotonskega učinka (Nemac in drugi 2002b).

Fotonski učinek se izkorišča za fotosintezo (splošno jo imenujejo biopretvorba) in za proizvodnjo biomase, za foto-kemično sintezo in za fotoelektrični učinek (photovoltaic), pri katerem se sončno sevanje pretvarja neposredno v enosmerno električno energijo s pomočjo polprevodniških »sončnih celic«. Naprave za fotoelektrični učinek so stare samo okoli 25 let, vendar je prišlo do bistvenega napredka (Nemac in drugi 2002b).

Fotoelektrični člen, v katerem se vpadajoče sončno sevanje (ali njegov del) pretvarja neposredno v enosmerno električno energijo, tiho in brez onesnaževanja, se lahko pokaže kot najbolj enostaven in najbolj prefinjen pretvornik za izkoriščanje sončne energije. Sončne celice oziroma sončni moduli (ki vključujejo več sestavljenih manjših celic v večjo enoto) se lahko med seboj povezujejo in tvorijo sisteme za proizvodnjo električne energije, katerih izhodne moči so lahko od nekaj milivatov do več megavatov. Enosmerno energijo je možno pretvoriti v izmenično s pomočjo statičnih pretvornikov, ki so s sedanjim razvojem energetske elektronike vse bolj uporabni (Nemac in drugi 2002b).

3.3.4 Energija vetra

Veter so že nekaj tisoč let uporabljali v kmetijstvu za mletje zrnja in črpanje vode. Zadnje čase mnogo raziskujejo in razvijajo naprave za pretvorbo energije vetra v električno energijo.

Elektrarne na veter imajo vodoravno ali navpično os. Tiste z vodoravno osjo imajo dva ali tri krila ter se vrtijo s 15-100 obrati na minuto. Nekatere obratujejo pri konstantni hitrosti (regulacija z nagibom kril), druge pri spremenljivi hitrosti, odvisno pač od moči vetra. Krila so pritrjena na vrhu stebra na ohišje, ki vsebuje ojnico, menjalnik in generator. Ohišje in lopatice se lahko prosto vrtijo okoli navpične osi tako, da so lopatice vedno pravokotno na smer vetra. Generatorji so sinhronski ali asinhronski z ozirom na regulacijo hitrosti vrtenja in način električnega priključka (Nemac in drugi 2002c).

Vetrnic z vertikalno osjo ni treba obračati po vetru, ohišje in generator sta lahko na tleh. Slabost je, da navor in izhodna moč nihata ciklično pri vsakem obratu (Nemac in drugi 2002c).

Gradnja mlinov na veter je zelo privlačna, tako ne manjka projektov in različnih izvedb povsod tam, kjer je povprečna hitrost vetra večja od 6 m/s. Največje naprave imajo do 100 m premer kril in moč okoli 4 MW, načrtujejo pa že mnogo večje (Nemac in drugi 2002c).

V zadnjih petih letih se je veter dokaj uveljavil kot vir električne energije, delno zaradi naraščajoče zanesljivosti tehnologije, delno pa zaradi zmanjšanih stroškov. S pocenitvijo tehnologije in povečanjem zanesljivosti se veter v razvitem svetu vedno bolj uporablja za pridobivanje električne energije, kjer predstavlja njegova enostavnost in dejstvo, da je čas za izgradnjo kratek, veliko prednost (Nemac in drugi 2002c).

3.3.5 Biomasa

Biomasa predstavljajo les, trave, energijske rastline, rastlinska olja, itn. Iz biomase lahko s kurjenjem pridobivamo toploto, ki jo lahko nato po potrebi pretvorimo v mehansko in električno energijo. Energijo pridobljeno iz biomase imenujemo bioenergija. Lesna biomasa je najbolj znana oblika biomase in jo kot vir energije tudi najpogosteje uporabljamo. Lesna biomasa obsega predvsem naravni les: les iz gozdov, lesne odpadke iz industrije ter proizvode iz lesa. Sonce daje potrebno energijo za rast biomase. S pomočjo klorofila in pod vplivom sončne svetlobe se iz vode, ogljikovega dioksida in zraka, tvori ogljikov hidrat (monosaharid - sladkor), obenem pa se sprošča kisik. Sončna energija se spremeni v kemijsko energijo, ki je vezana v obliki organskih ogljikovih spojin v rastlinah. Celoten postopek imenujemo fotosinteza. Fotosintezi nasproten proces je razkrajanje biomase (trohnenje ali gorenje), pri čemer se ob porabi kisika in oddajanju CO₂ sprošča toplota. Oba procesa sta povezana in v okolju potekata neprestano. Celoten cikel traja toliko časa, kolikor porabi rastlina, da zraste do velikosti, ki je primerna za uporabo, kar pa je neprimerno manj kot je bilo potrebno za nastanek fosilnih virov energije. Z lesno biomaso v prvi vrsti pridobivamo toploto, ki jo lahko nato uporabimo za ogrevanje ali pa tudi za proizvodnjo električne energije. V zadnjem času postajajo vse bolj popularni sistemi za daljinsko ogrevanje krajev, kjer v eni toplarni proizvajamo toploto za ogrevanje vseh objektov v določenem kraju. Toplo vodo pošiljamo po ceveh iz toplarne do vsakega posameznega objekta, nazaj pa se vrača ohlajena voda (Nemac in drugi 2002d).

3.3.6 Geotermalna energija

Zemlja je skoraj neomejen stalen vir toplote. Za izrabo sta možni dve tehnologiji: izraba obstoječih termalnih vrelcev ali črpanje toplote (iz vročih, nepropustnih skal) iz globin. Prvi način je že dobro uveljavljen, drugi je na stopnji raziskav (Nemac in drugi 2002e).

Čeprav se je geotermalna energija že stoletja uporabljala v kopališčih in za ostale majhne porabnike, se je šele v tem stoletju začelo večje izkoriščanje geotermalne energije. Električno energijo so iz geotermalne energije prvič proizvedli leta 1904. Geotermalna energija je bila prvič uporabljena za ogrevanje mestnega območja mesta Reykjavíka na Islandiji v letu 1930. Od takrat je uporaba geotermalne energije skoraj neprestano naraščala, v zadnjih 40 letih pa je doživela strm vzpon, tako pri izkoriščanju geotermalne energije za proizvodnjo električne energije, kakor tudi pri neposredni uporabi geotermalne toplote (na primer za ogrevanje hiš ali pa za industrijske procese). Ponekod se izvaja tudi sočasna izraba električne energije in toplote, kar izgleda zelo ekonomsko upravičeno (Nemac in drugi 2002e).

Današnja poročila ločijo med uporabo geotermalne energije za proizvodnjo električne energije in med primeri, kjer se geotermalna toplota uporablja neposredno (Nemac in drugi 2002e).

Toplota, shranjena v zemljini skorji, je temeljni izvor geotermalne energije. Ta energija (toplota) se prenaša na površje s pomočjo vode. Uporabna energija je odvisna od porazdelitve temperature znotraj skorje, od razpoložljivosti vode za prenos toplote iz globin, prenosa energije na površje in procesa, ki se na površju uporablja za izkoriščanje te toplote (Nemac in drugi 2002e).

3.4 JEDRSKA FISIJA

Fosilna goriva sproščajo energijo v procesu kemijske reakcije s kisikom v zraku, kar pomeni, da se atomi prerazporedijo v nove, bolj stabilne molekule. Takšna prerazporeditev je možna tudi med elementarnimi delci – protoni in nevtroni – ki sestavljajo jedro atoma. V tem primeru je energija, ki se sprosti v vsakem

posameznem procesu, milijonkrat večja, ker so sile v jedru veliko močnejše kot sile molekularskih vezi. Ker se sprosti veliko več energije na vsak kilogram goriva, je skupna količina materiala, ki ga elektrarna uporabi, milijonkrat manjša, kot v primeru fosilnih goriv. Poznamo dva tipa jedrskih reakcij, ki lahko vodijo v sproščanje energije: prvo razcepitev težkega jedra (uran) na dve jedri lažjih elementov, kar se uporablja v fisijskih reaktorjih (in se ob tem del mase pretvori v energijo), in kot drugo, združitve (zlitje) zelo lahkih jeder (vodika), kar se konstantno dogaja na zvezdah in se bo v bodočih fuzijskih reaktorjih (EFDA 2005: 28).

Naravni uran je sestavljen iz dveh tipov: uran 235 in uran 238, kjer je številka oznaka za skupno število protonov in nevtronov v jedru. Uran 238 ima tri dodatne nevtrone v svojem jedru in je relativno stabilen, medtem ko je uran 235 veliko bolj nestabilen in zato tudi veliko bolj radioaktiven. Na vsake toliko časa se jedro urana 235 spontano razcepi in odda dva ali tri nevtrone. Če prosti nevtron absorbira še eno jedro urana 235, sproži cepitev tudi tistega jedra, kar povzroči ponovno sprostitvev prostih nevtronov. Največji delež vseh cepitev predstavljajo cepitve urana 235, ki jih spodbudimo tako, da mu z absorbcijo nevtrona dovedemo energijo. Vzbujeno uranovo jedro se z veliko verjetnostjo razcepi. Kot produkt cepitve nastaneta dve srednje težki jedri (razcepki) in v povprečju dva do trije hitri nevtroni. Pri cepitvi nastaneta dve vrsti nevtronov: takojšnji in zakasneli nevtroni. Takojšnji nevtroni se sprostijo neposredno ob cepitvi. Zakasneli nevtroni se sprostijo zakasnjeno glede na čas cepitve in sicer šele po razpadu nekaterih razcepkov oziroma njihovih potomcev. Čeprav zakasneli nevtroni predstavljajo le majhen del - 0,65 % vseh sproščenih nevtronov, imajo odločilno vlogo pri krmiljenju reaktorja. Vsi razcepki in večina njihovih potomcev so radioaktivni in razpadajo. V povprečju so do končnega stabilnega izotopa potrebni trije do štirje radioaktivni razpadi. Večinoma gre za beta in gama razpade, pri čemer sevajo beta oziroma gama žarki. Energijo, ki se sprošča pri teh razpadih imenujemo zakasnela toplota (EFDA 2005: 28–29).

Če je v majhnem prostoru zadostna količina urana 235, stečejo jedrske verižne reakcije, ki sprostijo ogromno energije. Temeljni princip te verižne reakcije je dokaj preprost. Atom urana 235 absorbira nevtron, ki povzroči njegovo cepitev. Pri cepitvi se sprosti energija in v povprečju približno 2,5 novih nevtronov, ki lahko sprožijo nove cepitve. V reaktorju proces jedrske verižne reakcije nadzorujemo, saj od 2,5

novonastalih nevtronov pri cepitvi v povprečju samo eden povzroči novo cepitev urana 235. V reaktorju torej poteka nadzorovana jedrska verižna reakcija (EFDA 2005: 29).

Jedrska fisija se uporablja že po celem svetu, saj jedrski reaktorji oskrbujejo že okoli 17% svetovnih zahtev po elektriki (glej shemo 3.5.2). Material, ki se uporablja za fisijo, uran, se nahaja pod zemljo v obliki uranove rude. Uranova ruda večinoma vsebuje relativno stabilni uran 238, zato jo je potrebno obdelati, da dobimo dovolj nestabilnega urana 235. Majhna količina urana vsebuje veliko količino energije: košček v velikosti golf žogice lahko ustvari toliko energije, kot dvajset vagonov polnih premoga, brez nastanka ogljikovega dioksida ter ostalih onesnažujočih plinov. Problemi jedrske fisije so odpadki fisijskih reaktorjev, saj so radioaktivni. Pri cepitvi nastala jedra so namreč radioaktivna, ki razpadajo predvsem z izsevanjem beta in gama žarkov. Z njimi je potrebno ravnati zelo skrbno in odgovorno, in jih hraniti na področjih, kjer ne morejo priti v kontakt z okoljem zelo dolgo (nekateri deli 10.000 let) (EFDA 2005: 29–30).

Model moderne fisijske elektrarne ponuja visoko stopnjo varnosti proti nesrečam, kot je uhajanje radioaktivnih materialov v zunanje okolje, na primer z uporabo zaščitnih ovir. Te elektrarne uporabljajo raznovrstne samostojne varnostne sisteme, kar pomeni, tudi če odpove komponenta, to ne spremeni varnosti celotnega sistema. Po začasni zaustavitvi izdelave novih elektrarn, veliko držav ponovno razmišlja o izgradnji novih jedrskih elektrarn. Navkljub problemom z odobravanjem javnosti je fisijska energija edini ogromni CO₂-prosti vir električne energije, poleg hidroenergije. Jedrska fisija je ena naših najpomembnejših energijskih virov (EFDA 2005: 30).

3.5 PRIMERJAVA RAZLIČNIH VIROV ENERGIJE

Vsi energijski viri, ki sem jih omenila, imajo različne lastnosti glede kvantitete, vrste goriva, potrebne zemeljske površine ter njihovih stroškov.

Tabela 3.5.1: Lastnosti in zahteve 1000MW elektrarne, ki jo poganjajo različni energijski viri.

Energijski vir	Gorivo potrebno za 1000MW elektrarno v enem letu	Prostorske potrebe za 1000MW elektrarno (km ²)	Komentar
<i>Biomasa</i>	30.000 km ² gozdov	30.000	
<i>Veter</i>	2700 1.5MW vetrnih turbin	490	
<i>Solarna energija</i>	23 km ² solarnih panelov	23	Postavljen v državi blizu ekvatorja
<i>Zemeljski plin</i>	1.2 km ³	1	
<i>Nafta</i>	1.400.000 ton	1	10.000.000 naftnih sodov ali 100 naftnih tankerjev
<i>Premog</i>	3.000.000 ton	1 + rudniki	26.260 naloženih vagonov
<i>Jedrski fisija</i>	35 ton uranovega oksida	1 + rudniki	od 210 ton uranove rude
<i>Fuzija</i>	100 kg devterija in 150kg tritija	1 + rudniki	od 2850 m ³ morske vode in 10 ton litijeve rude

Vir: EFDA – European Fusion Development Agreement 2005. *Energy Powering the World*. FOM – Institute for Plasma Physics Rijnhuizen

Iz tabele 3.5.1 je razvidno, da potrebujejo biomasa, veter ter sončna energija veliko prostora, saj ti viri niso zelo zgoščeni. Fosilna goriva nosijo veliko energije na kilogram in je težko tekmovati z njimi. Jedrska fisija in še posebej fuzija, potreujeta najmanj goriva od vseh.

4. ENERGIJA, OKOLJE IN ZDRAVJE

4.1 UVODNO

Povečana produkcija in uporaba energije je lahko nevarna za okolje in za naše zdravje. Produkcija energije ima velik vpliv na negativne učinke v okolju. S kurjavo lesa se ustvarjajo strupeni plini, ki so nevarni za vdihavanje. Žveplov dioksid, ki se sprošča pri kurjavi premoga in nafte, povzroča kisel dež. Ogljikov dioksid, ki se prav tako sprošča pri kurjavi fosilnih goriv, povzroča učinek tople grede in povzroča ogrevanje celotne Zemlje (<http://www.slovenija-co2.si/>).

Zdravstveni in okoljski problemi se pojavljajo na štirih različnih ravneh. Če posameznik kuri les v svojem domu, inhalira dim, vendar s tem ne ogroža sosednjih stanovalcev. To je ogrožanje na ravni gospodinjstva. Izpušni plini vseh avtomobilov v mestu povzročajo smog, ki ga vdihavajo vsi prebivalci tega mesta, kar se dogaja na ravni skupnosti. Majhni delci, žveplov dioksid in ozon imajo vplive stotine kilometrov od originalnega izvora. Torej na ravni regije. In končno, učinek tople grede, ki segreva Zemljo, vpliva na vse prebivalce tega planeta. To so torej vplivi na globalni ravni (<http://www.slovenija-co2.si/>).

Pomemben cilj za prihodnost je ustvarjanje elektrike brez CO₂. Danes predstavljajo biomasa in vodna ter jedrska energija, glede na delež v strukturi svetovne oskrbe z energijo, 35% svetovne elektrike brez oddajanja CO₂. Nove tehnologije, ki izkoriščajo obnovljive energijske vire, predstavljajo manj kot 0,7% naše svetovne energijske porabe. Vendar pa se te tehnologije hitro razvijajo in naj bi do leta 2050 predstavljale že veliko več. Proizvodnja elektrike iz obnovljivih virov v večini primerov zahteva ukrepe za zagotavljanje enakih ali prednostnih možnosti, kot proizvodnja iz klasičnih virov, kar številne države izvajajo z različnimi sistemi spodbujanja (EFDA 2005: 42–45).

Raziskave v smeri reševanja problemov povezanih s sedanjo uporabo jedrske fisije se osredotočajo predvsem na odlaganje radioaktivnih odpadkov in zagotavljanje varnosti fisiskih reaktorjev ter izdelavo novih, varnih modelov jedrskih reaktorjev.

Jedrska fuzija - energija, ki se sprošča ob fuziji atomov, pa tudi energijski vir Sonca, bi lahko pričela z ustvarjanjem varne ter energije brez toplogrednih plinov okoli leta 2040 (EFDA 2005: 42–45).

4.2 UČINEK TOPLE GREDE

Osnovna naloga toplogrednih plinov je, da pomagajo zadržati del sončne toplote na Zemlji in tako vzdrževati temperaturo, ki omogoča življenje na našem planetu. Ustvarijo nekakšno izolacijsko odejo. To imenujemo učinek tople grede – podobno kot steklo 'ulovi' del sončne toplote, ki vstopi v toplo gredo, tako toplogredni plini 'ulovijo' del sončne toplote, ki vstopi v ozračje. Brez toplogrednih plinov bi bila povprečna temperatura nekje okoli -33°C in naš planet ne bi bil primeren za večino danes živečih vrst. V ozračju je poleg drugih plinov tudi pet t. i. naravnih toplogrednih plinov: vodna para (H_2O), ogljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), didušikov oksid (N_2O) in ozon (O_3). Ostali toplogredni plini nastanejo umetno (v različnih industrijskih procesih) in pogosto jih preprosto poimenujemo F-plini (<http://www.slovenija-co2.si/>).

Določene človekove aktivnosti, predvsem sežiganje fosilnih goriv in izsekavanje gozdov, nenormalno povečujejo količine toplogrednih plinov v ozračju. To poveča količino infrardečega sevanja, ki ga ti plini absorbirajo in zadržujejo, po drugi strani pa se zmanjšuje količina sevanja, ki ga Zemlja izpušča v vesolje. Da bi nekako obdržala ravnotežje, mora Zemlja povečati temperaturo oddanega sevanja. Posledica je dodatno segrevanje površja in troposfere – kot da bi se pokrili z dodatno odejo (Česen 2006).

Ta proces v naravi ne obstaja, povzročajo ga ljudje, predvsem z vedno večjo porabo fosilnih goriv, ki proizvajajo kot stranski produkt ogljikov dioksid, najpomembnejši toplogredni plin. Imenujemo ga antropogeni učinek tople grede, po mnenju znanstvenikov pa naj bi bil krivec za naraščanje povprečne temperature planeta in vse druge škodljive posledice, ki jih to naraščanje vleče za seboj (Simončič 2007).

Spreminjanje podnebja je že dolgo znan naravni pojav, vedno bolj pa na spremembe vplivamo tudi ljudje. Še več. Naš vpliv na podnebje se je od začetka industrijske

revolucije do danes tako okrepil, da je podnebni sistem pahnil iz naravnega ravnotežja. Podnebni sistem poleg temperature tvorijo še vetrovi, padavinski vzorci, oblaki, oceani in gozdovi. Podnebje je zato dinamičen sistem, ki se spremeni vsakokrat, ko se spremeni razmerje med ključnimi elementi. Podnebni sistem deluje tako, da zvišanje temperature ozračja sproži številne druge spremembe v sistemu (Simončič 2007).

O naraščanju temperature zaradi povečanja količine ogljikovega dioksida v zraku je prvi pisal že švedski znanstvenik Arrhenius konec 19. stoletja, a je naletel na številne kritike in celo posmeh, saj so bili ljudje prepričani, da do prevelikih koncentracij tega plina sploh ne more priti, saj naj bi oceani uskladiščili vse odvečne količine. Res je, da so oceani sposobni shraniti ogromno ogljikovega dioksida, vendar pa nimajo neomejenih kapacitet takšnega skladiščenja. Presežki CO₂ se zato kopičijo v ozračju, narava pa jih ne more več nadzirati. Ko se količina toplogrednih plinov poveča, se poveča tudi učinek njihovega delovanja: v ozračju zadržijo preveč sončne toplote, kar povzroči njegovo segrevanje. Velike količine toplogrednih plinov, ki jih ljudje spuščamo v ozračje, povzročajo spreminjanje temperature in posledično tudi drugih delov podnebnega sistema. Če so spremembe majhne in počasne, se sistem delno lahko prilagaja nanje. Današnje spremembe pa so dosti prevelike in veliko prehitre, da bi se jim naše okolje lahko prilagodilo. Posledica je vedno večja nestabilnost podnebnega sistema. Kljub velikemu tehnološkemu napredku smo še vedno zelo odvisni od narave, zato je spreminjanje podnebja velik družbeni in gospodarski problem. Čeprav so k spreminjanju podnebja največ 'prispevale' razvite države, bo posledice občutil ves svet, še najbolj pa manj razvite države (<http://www.slovenija-co2.si/>).

4.3 REŠEVANJE PROBLEMA PODNEBNIH SPREMEMB

4.3.1 Uvodno

Raziskave podnebnih sprememb so postale ena izmed najbolj pomembnih sodobnih aplikacij podnebnih podatkov; največji izziv je ločiti med spremembami, ki so

posledica človekove dejavnosti in naravnimi podnebnimi spremembami (<http://hmljn.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/>).

Znanstveniki, politiki in javnost so se nenadoma začeli zavedati, da se nam razsipno trošenje energije in onesnaževanje okolja lahko maščujeta. Svetovna meteorološka organizacija je bila prva, ki je sprožila znanstveno razpravo in naredila organizirane korake k osveščanju svetovnih politikov in javnosti. Plod njenih prizadevanj je bila ustanovitev Medvladnega odbora za podnebne spremembe. Pod njegovim okriljem najvplivnejši svetovni znanstveniki ocenjujejo podnebne razmere, predvidevajo njihove spremembe in učinke ter negativne posledice. Razložiti poskušajo tudi številne zapletene povezave med posameznimi deli podnebnega sistema (<http://hmljn.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/>).

Tudi Slovenija se vključuje v ta mednarodna prizadevanja, politične akcije potekajo na Ministrstvu za okolje in prostor (<http://hmljn.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/>).

Do nedavnega je bila pozornost usmerjena zgolj na omejevanje izpuščanja toplogrednih plinov v ozračje, zdaj pa prihaja do vse večjih spoznanj, da potrebujemo strategijo prilagajanja na podnebne spremembe. Države, ki se bodo učinkovito in pravočasno prilagajale, bodo v prednosti pred tistimi, ki jim to ne bo uspevalo (<http://hmljn.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/>).

4.3.2 Nacionalni program varstva okolja v RS

V Sloveniji je spodbujanje reševanja podnebnih sprememb izvedeno na osnovi energetskega zakona z uredbami in sklepi vlade. V Sloveniji je soproizvodnja in proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov energije združena v pravni pojem kvalificirana proizvodnja električne energije. Proizvajalci, ki ustrezajo pogojem, določenim v zakonodaji, si pridobijo status kvalificiranega proizvajalca in pripadajoče ugodnosti (Novak in Medved 2000).

Konec novembra 2005 je državni zbor RS sprejel Nacionalni program varstva okolja (NPVO) od 2005-2012, kot osnovni strateški dokument na področju varstva okolja, splošnega izboljševanja okolja, kakovosti življenja ter varstva naravnih virov. Kot osnovni cilj dokument navaja zmanjševanje emisij toplogrednih plinov (<http://www.energetika.net/portal/index.html?ctrl:id=page.default.knowledge&ctrl:type=render&ec:det=26125>).

NPVO je izhodišče za okoljsko razsežnost Strategije razvoja Slovenije, ki opredeljuje vizijo prihodnosti Slovenije ter usmeritve in ukrepe za realizacijo te vizije do leta 2013. Cilji in ukrepi NPVO so opredeljeni v okviru štirih področij, in sicer: podnebne spremembe, narava in biotska raznovrstnost, kakovost življenja ter odpadki in industrijsko onesnaževanje. Kot prvi osnovni cilj je treba poudariti podnebne spremembe, ki kot pomemben izziv v naslednjih letih zahtevajo zmanjšanje emisij toplogrednih plinov, s čimer bi prispevali k dolgoročnemu cilju stabiliziranja koncentracij toplogrednih plinov v ozračju, kakor tudi zmanjšanju emisij snovi, ki povzročajo tanjšanje ozonskega plašča (<http://www.energetika.net/portal/index.html?ctrl:id=page.default.knowledge&ctrl:type=render&ec:det=26125>).

4.3.3 Iniciative Evropske unije

Svet Evropske unije⁹ je na zasedanju 8. in 9. marca 2007 sprejel sklepe, ki opredeljujejo nadaljnji boj Evropske unije proti podnebnim spremembam. Voditelji držav članic so sprejeli energetska politika za Evropo, katere cilj je povečati konkurenčnost na energetske trgu in zagotavljanje varne oskrbe z energijo ob hkratnem varčevanju z energijo in promociji podnebnju prijaznih energijskih virov (<http://www.prihodnostjeobnovljiva.org/>).

Voditelji članic so sprejeli cilj zmanjšanja emisij toplogrednih plinov za 20% do leta 2020 glede na leto 1990. Evropska unija je pripravljena sprejeti cilj 30%, če so podobne cilje pripravljene sprejeti tudi druge države, vključno z ZDA, Kitajsko in Indijo (<http://www.prihodnostjeobnovljiva.org/>).

⁹ Council of the European Union

Sprejet je bil zavezujoč cilj, da bo 20% energije v Evropski uniji do leta 2020 pridobljene iz obnovljivih virov energije. Prav tako je bil sprejet zavezujoč minimalni cilj 10% deleža biogoriv v transportu do leta 2020 (<http://www.prihodnostjeobnovljiva.org/>).

4.3.4 Kjotski protokol

Kjotski protokol je mednarodni sporazum, ki skuša zmanjšati emisije ogljikovega dioksida in petih ostalih toplogrednih plinov. Sprejelo ga je 141 držav sveta, da bi zaustavile segrevanje ozračja. Kjotski protokol predstavlja majhen, a izredno pomemben prvi korak na poti k reševanju problematike podnebnih sprememb, saj pomeni začetek organiziranega in usklajenega delovanja za ublažitev oziroma preprečitev neugodnih podnebnih sprememb, ki so že začele ogrožati človeštvo, še bolj pa ga bodo v prihodnjih desetletjih (OECD Nuclear Energy Agency 2002).

Zaradi soglasja o tej grožnji so države leta 1992 na svetovnem vrhu v Rio de Janeiru sprejele okvirno konvencijo ZN o spremembi podnebja, 11. decembra 1997 pa protokol k tej konvenciji - Kjotski protokol. Ta v obdobju med letoma 2008 in 2012 predvideva zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov za najmanj pet odstotkov v primerjavi z letom 1990 (OECD Nuclear Energy Agency 2002).

Protokol je začel veljati 16. februarja 2005 in postal del mednarodnega prava. Industrializirane države, med njimi tudi Slovenija, bodo morale omejiti oziroma zmanjšati emisije toplogrednih plinov, ki so glavni vzrok za podnebne spremembe. Gre za pomemben dogodek na področju varovanja okolja, saj pomeni začetek organiziranega in usklajenega delovanja za ublažitev oziroma preprečitev neugodnih podnebnih sprememb, ki so že začele ogrožati človeštvo, še bolj pa ga bodo v prihodnjih desetletjih (Simončič 2007).

Emisije držav, ki so sporazum ratificirale, predstavljajo 61% globalnih emisij. Obdobje 2008-2012 je določeno kot prvo ciljno obdobje, v katerem bodo države, ki so protokol ratificirale, skušale emisije zmanjšati za najmanj pet odstotkov v primerjavi z letom 1990. Če ta cilj primerjamo s količino emisij, ki bi jih pričakovali za leto 2010 brez

uresničevanja ciljev protokola, pomeni pravzaprav 29% znižanje (OECD Nuclear Energy Agency 2002).

Protokol skuša omejiti emisije šestih plinov: ogljikovega dioksida, metana, didušikovega oksida, fluoriranih ogljikovodikov, perfluoriranih ogljikovodikov in žveplovega heksafluorida (OECD Nuclear Energy Agency 2002).

Potem, ko je Kjotski protokol ratificirala vrsta industrializiranih držav in držav v razvoju in ko so ZDA od njega odstopile, je bil pogoj za njegovo veljavnost samo še ratifikacija Rusije. Po večletnih prizadevanjih Evropske unije in nekaterih drugih držav je Rusija novembra 2004 protokol ratificirala (Česen 2006).

S tem je bil sporazum potrjen, obdobje 2008-2012 pa je v njem določeno kot prvo ciljno obdobje, ki mu bodo sledila nova. Slovenija - protokol je podpisala oktobra 1998 in ga julija 2002 tudi ratificirala - se je obvezala, da bo v prvem ciljnem obdobju za osem odstotkov zmanjšala emisije toplogrednih plinov glede na izhodiščno leto 1986, ko so bile emisije toplogrednih plinov najvišje (<http://www.energetika.net/portal/index.html?ctrl:id=page.default.knowledge&ctrl:type=render&ec:det=26125>).

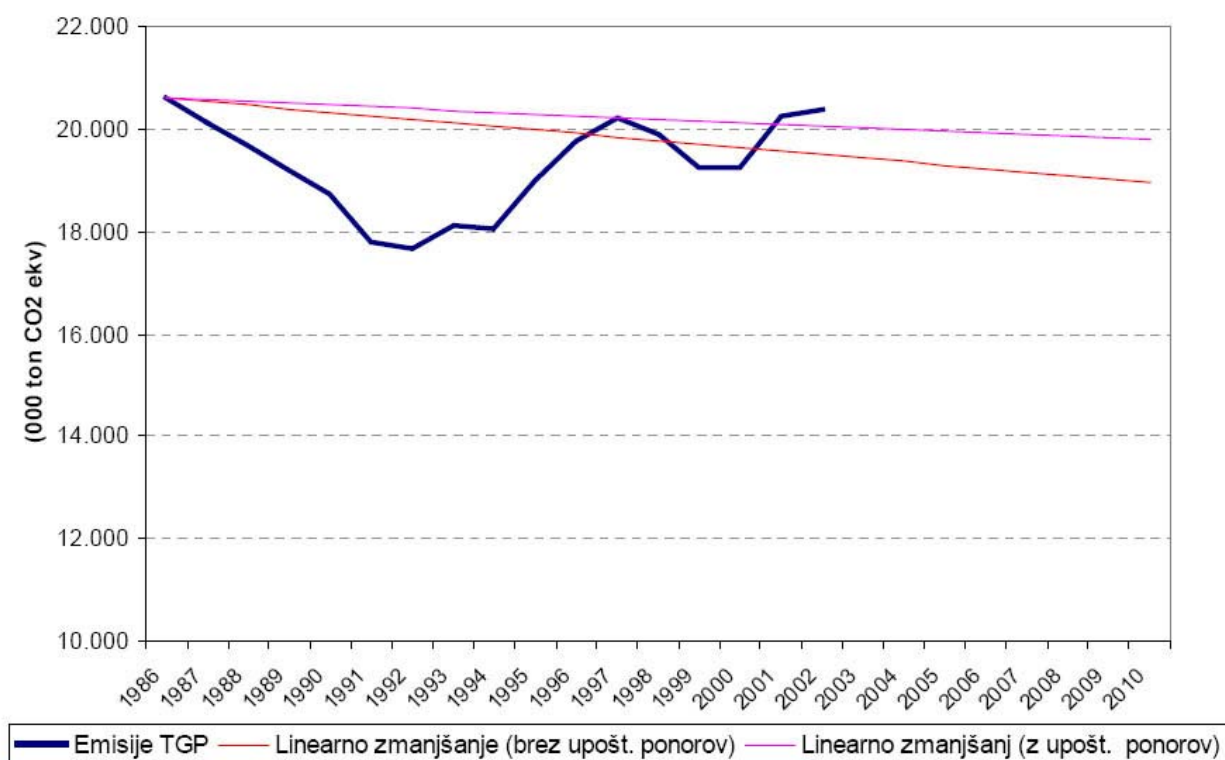
Protokol predvideva kot dopolnilo k domačim ukrepom tri t. i. kjotske mehanizme in sicer: trgovanje z emisijami, skupna izvajanja in mehanizem čistega razvoja. Ukrepi, s pomočjo katerih bomo izpolnili obveznosti iz protokola, so predvsem povečevanje energetske učinkovitosti, vzpodbujanje uporabe obnovljivih virov energije, prehod na goriva z manjšo vsebnostjo ogljika, okolju prijaznejše ravnanje z odpadki, racionalnejša raba umetnih gnojil ipd. (<http://www.energetika.net/portal/index.html?ctrl:id=page.default.knowledge&ctrl:type=render&ec:det=26125>).

ZDA, ki niso nikoli ratificirale Kjotskega protokola, so bile v zadnjem času vse bolj podvržene kritikam mednarodne javnosti zaradi odnosa do podnebnih razmer. Ameriški predsednik George Bush je zato konec maja 2007 v svojem govoru pred vrhom skupine sedmih najrazvitejših držav in Rusije (G-8) predstavil najnovejšo strategijo za boj proti podnebnim spremembam. V skladu z njo naj bi 15

najpomembnejših industrijskih držav do konca leta 2008 doseglo dogovor o globalnih ciljih za zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov. Poleg ZDA naj bi sodelovale še Kitajska, Indija in večje evropske države. Države skušajo najti nov model boja proti podnebnim spremembam, ki bi nadomestil Kjotski protokol, potem ko se bo njegova veljavnost iztekla leta 2012 (http://www.delo.si/index.php?sv_path=41,396,216540).

Tabela 4.3.4.1: Gibanje emisij toplogrednih plinov v Republiki Sloveniji.

Gibanje emisij TGP v R Sloveniji 1986, 1990-2002



Vir: Česen, Matjaž (2006): *Poročilo Slovenije o vidnem napredku po členu 3.2 Kyotskega protokola*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor RS.

Na sliki 4.3.4.1 so prikazane vrednosti letnih emisij toplogrednih plinov v Sloveniji v obdobju od 1986 do 2002. Ravni liniji prikazujeta linearno zmanjševanje emisij od leta 1986 naprej za doseglo obveznosti iz Kjotskega protokola; zgornja linija je z upoštevanjem ponorov¹⁰, spodnja pa brez njih.

¹⁰ »Uskladiščenje« ogljika v dendromasi (deblovina, vejevina, korenina), drevnini, v lesnem prirastku in v leskih izdelkih ter negozdnem drevju.

V Sloveniji so bile leta 1986 emisije toplogrednih plinov 20,60 milijona ton ekvivalenta CO₂, osem odstotno zmanjšanje pa pomeni, da Slovenija v obdobju 2008-2012 v povprečju ne bo smela preseči 18,95 milijona ton emisij ekvivalenta CO₂ na leto. Celotni ocenjeni stroški izvajanja Kjotskega protokola v Sloveniji znašajo v ugodnejšem primeru okoli 5,5 milijarde tolarjev letno, v manj ugodnem primeru pa okoli 10 milijard tolarjev letno

(<http://www.energetika.net/portal/index.html?ctrl:id=page.default.knowledge&ctrl:type=render&ec:det=26125>).

4.4 REŠEVANJE PROBLEMA RADIOAKTIVNIH ODPADKOV

Radioaktivni odpadki lahko ob nepravilnem ravnanju z njimi ogrožajo varnost ljudi in okolja. Zato je treba poskrbeti, da se z njimi ravna strokovno oziroma, da razen pooblaščenih oseb do njih nihče nima dostopa. Obenem pa mora biti tako ravnanje z odpadki zagotovljeno toliko časa, dokler stopnja aktivnosti odpadkov ne pade na raven, ko ti niso več radioaktivni

(http://www.sigov.si/arao/index.php?menu_id=254&lang=sl).

To velja tako za nizko in srednje radioaktivne odpadke (NSRAO), ki so nevarni nekaj stoletij, kot tudi za visoko radioaktivne odpadke (VRAO) - izrabljeno jedrsko gorivo, ki pa so nevarni več deset tisoč let. Pojem skladiščenje pomeni shranjevanje odpadkov za določeno obdobje, odlaganje pa pomeni odstranitev odpadkov iz človekovega okolja brez namena ponovne uporabe. Ker ne moremo z gotovostjo trditi, da bo strokovni nadzor nad odpadki ves čas mogoč, je najbolj varna rešitev preprečitev dostopa do njih. Drugi vidik nujnosti strokovnega ravnanja z radioaktivnimi odpadki pa je ogrožanje varnosti okolja. Za radioaktivne odpadke je treba namreč poskrbeti na tak način, da radioaktivni izotopi, ki jih vsebujejo odpadki ne prehajajo v okolje (<http://evropa.gov.si/evropomocnik/question/279-59/>).

Rešitev za oba vidika varnosti omogoča odlagališče radioaktivnih odpadkov. Odlagališče kot kompleks naravnih in umetnih pregrad preprečuje prehod radioaktivnih izotopov v okolje, obenem pa preprečuje tudi dostop ljudi in drugih živih bitij do teh odpadkov (http://www.sigov.si/arao/index.php?menu_id=254&lang=sl).

V letu 1997 je postala Slovenija pogodbenica Skupne konvencije o varnosti ravnanja z izrabljenim gorivom in varnosti ravnanja z radioaktivnimi odpadki, kjer je poudarjeno tudi mednarodno sodelovanje, zlasti pri odlaganju visoko radioaktivnih odpadkov, ki jih še nikjer na svetu niso začeli odlagati. Gradnja odlagališč za VRAO zahteva predvsem politično odločitev (tehnološke rešitve so znane), ki pa jo je v demokratičnem svetu zelo težko doseči. Problem tega odlaganja so tudi izredno visoki finančni stroški. Zato se v mednarodni skupnosti vedno pogosteje razpravlja tudi o regionalnih odlagališčih, kamor bi se odlagali odpadki iz več držav. Slovenija, ki ima le eno jedrsko elektrarno, bi bila za tako rešitev zelo zainteresirana. Želeli bi, da bi Evropska unija tak pristop reševanja znotraj svojih meja podprla. Verjetno pa bo treba počakati dokler ne začnejo obratovati odlagališča VRAO vsaj v nekaterih članicah, kjer jih sedaj pripravljajo (Finska, Švedska, Francija) (<http://evropa.gov.si/evropomocnik/question/279-59/>).

Večina obstoječih odlagališč NSRAO (nizko in srednje radiativnih odpadkov) v svetu je površinskih z uporabo umetnih pregrad. Delež podzemnih odlagališč NSRAO med obratujočimi odlagališči je manjši od deset odstotkov. Le v Nemčiji je za vse vrste radioaktivnih odpadkov, torej za nizko in srednje radioaktivne odpadke, zahtevana njihova odložitev več sto metrov globoko v geološko stabilne formacije (http://www.sigov.si/arao/index.php?menu_id=254&lang=sl).

Pri umeščanju objekta za odlaganje radioaktivnih odpadkov v prostor gre v bistvu za postopek izbire primerne lokacije, pri čemer so upoštevani tako tehnični kot tudi socialni in ekonomski vidiki. Ključni dejavnik pri načrtovanju odlagališč postaja družbena sprejemljivost takšnih objektov, zaradi česar je vedno večja pozornost v zgodnjih stopnjah načrtovanja takšnih objektov posvečena sociološkim vidikom (http://www.sigov.si/arao/index.php?menu_id=254&lang=sl).

Tip oziroma koncept odlagališča NSRAO, za katerega se investitor odloči, je odvisen od tehničnih dejavnikov, kot so specifične geološke razmere posamezne države oziroma lokacije, posebnih zahtev glede odlaganja, vrste odpadkov in pristopa nadzornega organa (http://www.sigov.si/arao/index.php?menu_id=254&lang=sl).

5. JEDRSKA FUZIJA – ENERGIJA PRIHODNOSTI

5.1 UVODNO

Tako cepitev jeder (fisija) zelo težkih atomov, kot tudi zlitje jeder (fuzija) zelo lahkih atomov sta procesa, pri katerih se - merjeno glede na potrebno masno pretvorbo - sproščajo količine energije, ki za približno milijonkrat presegajo količine energije, sproščene v kemijskih procesih (McCracken in Stott 2005: 33).

Najprej so odkrili (okoli leta 1928), da je jedrska fuzija energija Sonca in večine zvezd. S tem je energija fuzije prek sončnega sevanja tudi tisti vir energije, ki vpliva na naše življenje - med drugim na rast rastlin, nastanek fosilnih virov energije, pa tudi na pridobivanje obnovljivih oblik energije (McCracken in Stott 2005: 17–20).

Jedrska fuzija še nekaj časa ne bo konkurenčna drugim vrstam primarnih energij. Nasprotno pa se jedrska fisija izkorišča v miroljubne namene že okrog 50 let – skoraj izključno za proizvodnjo električne energije: od leta 1951 naprej iz majhnega poskusnega reaktorja v puščavi Idaho, ZDA in od leta 1954 naprej iz le nekaj večjega reaktorja v kraju Obninsk, Rusija, 100 km jugozahodno od Moskve (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–232).

5.2 RAZVOJ ZNANOSTI O FUZIJSKI ENERGIJI SKOZI ČAS

5.2.1 Uvodno

Resne raziskave v smeri pridobivanja energije na podlagi »kontrolirane termonuklearne reakcije« so se začele po koncu druge svetovne vojne. Ernest Rutherford je še leta 1933 zatrdil, da je uporaba reakcij med atomskimi jedri »mesečev sij« (Strnad 2006).

Čeprav je v posameznih trkih med jedri atoma možna ogromna sprostitve energije, je izgledalo nemogoče, da bi zgradili sistem, ki bi produciral več energije, kot bi jo porabil. Po koncu vojne so se ideje astrofizike, fizike plazme in jedrske fizike razvile do te mere, da so nekateri drzni navdušenci začutili, da bi lahko fuzijska energija postala pomembna opcija. Čeprav so mnogi ostali skeptični, so ideji vzkllile korenine (Lawson 1993).

V Los Alamosu so potekali špekulativni pogovori tudi o vodikovi bombi imenovani »Super«, kar pa ni vodilo v jasne teoretične ali poskusne programe; skupina v Los Alamosu se je razpršila na druga področja. Nekatere ideje tega časa pa so se kljub temu kasneje pojavile na različnih raziskovalnih področjih (Lawson 1993).

Popolnoma neodvisno se je začelo delati na tem področju v ZDA, kjer je Lyman Spitzer, pomemben astrofizik na Princetonu, predlagal in preučil potrebe za sistem proizvodnje energije. Do leta 1952 se je ameriški program oblikoval s konstantnim pojavljanjem novih idej. V tem času se je razvijal tudi ruski program. Sakharov in Tamm sta leta 1950 predlagala magnetno zadrževanje in poskusni program je kmalu stekel (Lawson 1993).

5.2.2 Pomembni mejniki v razvoju v 70. letih

Na začetku 70. let je bil program jedrske fuzije z magnetnim zadrževanjem skromen raziskovalni projekt, vreden okoli 30 milijonov dolarjev, ki ga je vodila Komisija za atomsko energijo (Atomic Energy Commission - AEC). Investiranje v vztrajnostno (inercialno) zadrževanje pa je bilo v 70. letih še precej nerazvito (manj kot 10 milijonov dolarjev letno) (Conn 1999: 4–5).

Na razvoj jedrske fuzije so od leta 1970 naprej vplivala tudi različna gibanja, ki niso bila neposredno povezana s fuzijo. Kot prvo takšno se je pojavilo okoljevarstveno gibanje, ki je 22. aprila 1970 postavilo pomemben mejnik z uveljavitvijo Dneva Zemlje. Drug pomemben dejavnik za razvoj je bil pojav različnih polemik glede jedrske energije. Začelo se je leta 1970 s pozivi za razdelitev pristojnosti AEC pri razvoju jedrske energije in njenem upravljanju. Sčasoma je to privedlo do ustanovitve

Komisije za jedrsko upravljanje (Nuclear Regulatory Commission – NRC) (Conn 1999: 4–5).

V teh letih je bilo fuzijsko raziskovanje usmerjeno na fizikalne poskuse z osnovnim magnetnim zadrževanjem, teorijo plazme in razvojem tehnologije, pomembne za fuzijske poskuse. Študije fuzijskih reaktorjev in raziskave okolja so bile na začetku, laserska fuzija, kot jo poznamo danes, pa je bila še v povojih. Pomisleki glede industrijskih vplivov na okolje so povzročili nastanek različnih nacionalnih okoljevarstvenih gibanj (Conn 1999: 6–7).

Razvoj inercialnega zadrževanja se je začel leta 1972 v ZDA in je bil sprva del obrambnih programov Ministrstva za energijo (Department of Energy). Miniaturne vodikove bombe, v premeru 1 milimeter, bi se vžgale, če bi jih obsevali z intenzivno lasersko lučjo. Nadaljnje študije so pokazale, da je žarčenje z intenzivno svetlobo ali težkimi ioni bolj atraktivno kot lasersko obsevanje. Vztrajnostno zadrževanje sproža izjemne in nenavadne zahteve za konstruktorje takšnega reaktorja (Lawson 1993).

Naftni šok je imel leta 1973 skoraj takojšnji vpliv na razvoj fuzijskega energijskega programa. Primarni program za razvoj energije, ki jo je podpirala AEC, je bil usmerjen na pridobivanje energije s pomočjo fisijskih reaktorjev, in je v tem obdobju postal še bolj pomemben. Prav tako pa so fuzijskim raziskovalcem zastavili vprašanje – »Kaj nam lahko ponudite, in v kakšnem časovnem obdobju?«. Vsekakor je naftna kriza imela ogromen vpliv na prizadevanja za razvoj fuzijske energije (Conn 1999: 6–7).

Leta 1973 so arabski narodi zaustavili dobavo nafte zahodnim državam iz političnih razlogov. Preko noči so se cene nafte potrojile. To je vodilo v veliko energetske krizo, v kateri so se avtomobili zvrščali na bencinskih črpalkah, da bi kupili gorivo. Ljudje so verjetno prvič ugotovili, kako odvisni so postali od energije in kako pomembna je modra uporaba tega dragocenega vira (Marcus 1992: 23–32).

Leta 1976 in 1977 je bila sprejeta odločitev za razvoj testnega fuzijskega reaktorja TFRT (ang. Tokamak Fusion Test Reactor), ki je prvi na svetu izvajal poskuse z uporabo devterija in tritija. Cena TFTR je sčasoma zrasla na več kot 300 milijonov

dolarjev. V tem času je bilo odobrenih še veliko drugih podobnih poskusov (Conn 1999: 8–9).

Drugi naftni šok se je zgodil leta 1979. Cena soda nafte je dosegla skoraj 60 dolarjev, medtem, ko je bila leta 2003 cena okoli 25 dolarjev za sod (McCracken in Stott 2005: 4).

Leto 1979 so zaznamovali trije pomembni dogodki, ki so posledično vplivali na fuzijske programe po svetu, včasih pozitivno, včasih negativno. Revolucija v Iranu in z njo povezana kriza z ameriškimi talci, vojna med Sovjetsko zvezo ter Afganistanom in jedrska nesreča na Otoku treh milj (Three Mile Island) v ZDA, so bili dogodki z ogromnimi in dolgoročnimi posledicami (Conn 1999: 11–13).

Leta 1979 se je v jedrski elektrarni na Otoku treh milj (Three Mile Island) v ZDA zgodila nesreča, kot posledica serij mehanskih in upravljalških napak. Javnost je bila šokirana, saj so vrsto let poslušali, da do jedrske nesreče ne more priti. Do še hujše nesreče pa je prišlo v Černobilu (v bivši Sovjetski zvezi, danes Ukrajina) leta 1986. Čeprav je nesrečo povzročila slaba izdelava reaktorja, sprožilo pa kršenje varnostnih pravil, in se takšna nesreča ne bi mogla pripetiti v moderni jedrski elektrarni, je veliko ljudi podvomilo v uporabo jedrske energije kot energijskega vira (Marcus 1992).

Od nesreče v Černobilu in na Otoku treh milj se je moral fuzijski program dokazati kot nov in »čist« vir energije, ki nima močne povezave z obstoječo jedrsko energijo. Potrebno je bilo uveljaviti nove cilje, ki bi pomagali prikazati, da je lahko fuzijska energija sprejemljiva tako za okolje kot družbo, kot nov samostojni vir energije (Conn 1999: 11–13).

5.2.3 Konec naftne krize

Kombinacija recesije in učinkovitosti je leta 1981 privedla do drastičnega upada povpraševanja po nafti. Upad je bil tako nagel, da je naftni kartel razpadel, cene nafte so padle in naftna kriza se je končno končala. Reaganova administracija je potrebovala dve leti za razmislek in pregled ter naposled zaključila, da so državna

vlaganja v razvoj in raziskave jedrske fuzije primerna. Raziskave so bile podpora pomembnemu znanstvenemu področju – fiziki plazme, program pa je bil usmerjen k pomembnemu dolgoročnemu cilju – razvoju novih virov energije (Conn 1999: 13–14).

Leta 1984 so se začeli pogovori med ZDA in Sovjetsko zvezo za umiritev napetih odnosov. Med drugimi je predsednik Francije Mitterand spodbujal k približevanju Sovjetski zvezi in vključil predsednika Gorbačova, s katerim sta predstavila idejo o Vzhodno-Zahodnem projektu za izvedbo fuzijske energije. Odločitev sprejeta sredi 80. let, za ponovno sodelovanje s Sovjetsko zvezo, je imela velike posledice za fuzijski energetske program. Leta 1985 sta se Reagan in Gorbačov prvič srečala v Ženevi, kjer sta se pogovarjala o odnosih med državama, državni varnosti in o določenih projektih za prihodnost. Eden izmed teh projektov je bil presenetljivo program jedrske fuzije. Voditelja dveh velesil sta se dogovorila, da bosta državi s pomočjo še nekaterih drugih začeli sodelovati pri projektu fuzijske energije, kot programu, ki bo v »korist celotnemu človeštvu« (Conn 1999: 14–16).

Ta odločitev je dve leti kasneje vodila v »rojstvo« programa ITER. Tudi nesreča v Černobilu leta 1986 ni vplivala na podporo ZDA temu program in jedrski fuziji na splošno. Na nek način je program ITER uspel vzpostaviti ločnico med jedrsko fuzijo ter fisijo in prvo uspel zaščititi pred vplivi nasprotnikov jedrske energije, ki so bili po dveh jedrskih nesrečah v naglem vzponu. Projekt ITER se je tako začel kot sodelovanje med Evropsko unijo (EURATOM), Sovjetsko zvezo, ZDA in Japonsko (Conn 1999: 15–16).

Sredi 80. je bila izgradnja energetskega sistema TFTR končana in poskusi so se začeli. Prav tako so se začeli poskusi v energetskega sistema JET v Evropi in JT-60 na Japonskem, leta 1988 pa se je začela tudi izdelava konceptualnega modela reaktorja ITER, kateremu je leta 1992 sledila izdelava tehničnega modela (Conn 1999: 16).

5.2.4 Razvoj od leta 1990 naprej

Leto 1989 je zaznamoval konec hladne vojne in nepričakovan razpad Sovjetske Seveda, tako kot večino ostalih stvari, so tudi jedrsko fuzijo posredno zaznamovali dramatični dogodki po svetu (Conn 1999: 16).

Na začetku 90. je svet postajal popolnoma drugačen prostor, predvsem zaradi konca hladne vojne. Med leti 1990 in 1992 so se pripetili trije pomembni dogodki, dva popolnoma nepričakovana. Nekoliko predvidljiva je bila gospodarska recesija v zgodnjih 90. letih. Nepričakovana pa je bila Zalivska vojna leta 1991 in pa odločitev predsednika Busha leta 1992 za zaustavitev vseh tajnih testiranj jedrskega orožja. To odločitev je potrdil predsednik Clinton, ko je leta 1996 podpisal sporazum o celoviti prepovedi jedrskih poskusov (Comprehensive Test Ban Treaty – CTBT), čeprav sporazum ni bil sprejet v kongresu (Conn 1999: 16).

Gospodarska recesija in Zalivska vojna sta vplivali na gospodarstvo, javno porabo in na odnos do energije in tveganj. Recesija je povzročila zmanjšanje javne porabe, in posledično tudi zmanjšanje fuzijskega proračuna. Program se je osredotočil izključno na razvoj tokamaka ter potrebe programa ITER. Mnogi so ocenjevali, da je bilo zmanjšanje proračuna preuranjeno, saj je bil projekt še daleč od svojega končnega cilja (Conn 1999: 17).

Po koncu Zalivske vojne so bili proračuni vseh energijskih programov podvrženi krčenju. Težko je bilo razložiti pomembnost energije, ko so cene bencina padle na zgodovinsko dno. Čeprav so potekale intenzivne debate o toplogrednih plinih ter globalnem segrevanju, so bile politične diskusije o teh problemih še na samem začetku (Conn 1999: 17).

ZDA so leta 1999 začasno odstopile od projekta ITER in se ponovno pridružile leta 2003. Kanada je postala udeleženka v pogajanjih leta 2001 s predlogom lokacije za postavitvev reaktorja, vendar je odstopila od projekta konec leta 2003, ko njen predlog ni bil izbran. Kitajska in Južna Koreja sta se pridružile projektu leta 2003, konec decembra 2005 pa še Indija (http://www.iter.org/a/index_nav_1.htm).

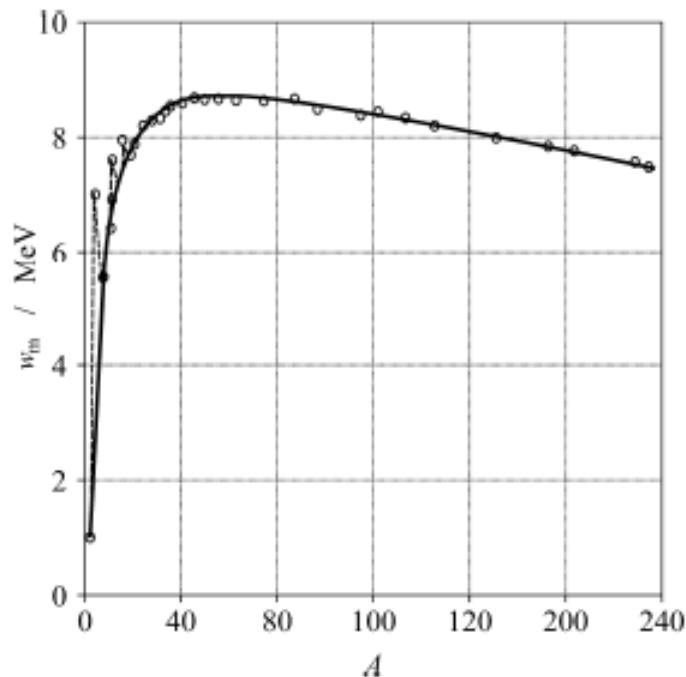
Leta 2001 je bila uspešno končana izdelava tehničnega dizajna, končno poročilo o konstrukciji pa je postalo dostopno vsem podpisnicam sporazuma ITER. Dizajn podprt s strani razvoja in raziskav, vreden 650 milijonov dolarjev, so izpeljale podpisnice ITER (http://www.iter.org/a/index_nav_1.htm).

5.3 PROCES ZLIVANJA JEDER

5.3.1 Uvodno

Vsak atom katerega koli elementa je sestavljen iz jedra in električno negativno nabitih elektronov, ki se gibljejo okrog jedra po energijsko razvrščenih lupinah. Skoraj vsa masa atoma je v jedru, ki ga sestavljajo nukleoni: pozitivno nabiti protoni in električno nevtralni nevtroni. Skupno število nukleonov daje masno število elementa, z oznako A . Na primer: uranov atom 238 ima v sistemu elementov zaporedno število 92 in masno število $A = 238$; sestavlja ga 92 protonov in 146 nevtronov, to je: $92 + 146 = 238$ nukleonov. Energijo, ki jo je treba dovesti, da se jedro atoma razbije na nukleone, imenujejo vezavna energija; ta energija je pri zelo lahkih kemijskih elementih (vodik, helij) z nekaterimi izjemami majhna, doseže pa svojo največjo vrednost pri masnih številih A od 50 do 100, nato se začne zopet zmanjševati. Z večanjem atomske mase postaja razmerje med nevtroni in protoni v jedru vedno večje, dokler se končno ravnotežje sil v jedru ne začne rušiti. Sile, ki vežejo delce jedra, niso več dovolj močne, da bi držale v ravnotežju protone. Zato so vsi elementi z masnim številom $A > 200$ nestabilni, slika 5.1.1 (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–232).

Slika 5.3.1: Srednja vezavna energija za nukleon v odvisnosti od masnega števila



Vir: Vojvodič Tuma, Jelena, Matija, Tuma, Nenak, Gubelj, Dražan, Kozak in Gorazd, Kosec (2005): Energija prihodnosti – jedrska fuzija. Materiali in tehnologije 39/6, 230–233.

Glede na vezavno energijo obstajata dve možnosti pridobivanja jedrske energije:

- zlitje jeder najlažjih elementov, na primer vodika, v jedra z večjo atomsko maso (= jedrska fuzija) in
- cepitev jeder najtežjih elementov, na primer urana, v jedra z manjšo atomsko maso (= jedrska fisija).

V enem in drugem primeru se je skupna masa po končani jedrski reakciji zmanjšala; del mase se je spremenil v energijo po Einsteinovi enačbi: $W = m \times c_s^2$ (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–232).

Zlitje jeder je težko vzpostaviti in še težje obdržati. Jedra atomov so namreč pozitivno nabita in se zato med seboj odbijajo. Da pride do zlitja, je treba to elektrostatično pregrado (Coulombove sile) nekako premostiti – jedra je treba spojiti z uporabo neke zunanje sile. Za to morajo biti izpolnjeni trije glavni pogoji:

- zelo visoka temperatura: jedra se morajo gibati zelo hitro;

- velika gostota: jedra morajo biti dovolj tesno skupaj, da se poveča verjetnost trkov;
- stisnjena in vroča jedra morajo biti dovolj dolgo v tem stanju, da se začne spajanje jeder in da se to spajanje tudi obdrži (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–232).

V sredici zvezde zadržuje plazmo gravitacija med deli zvezde. V laboratoriju pa njeno vlogo prevzame magnetno polje. Druga možnost je, da jo pustimo, da se razširi in poskrbimo, da se to ponavlja. V prvem primeru govorimo o magnetnem in v drugem o vztrajnostnem zadrževanju (Strnad 2006).

5.3.2 Fuzija z magnetnim zadrževanjem

Pri temperaturah nad 10.000K je vsaka snov v obliki plazme: elektroni, ki sicer krožijo okrog jeder, se pri visokih temperaturah ločijo od njih. Nastane plazma – to je mešanica, ki jo sestavljajo prosti, negativno nabiti elektroni in prosta, pozitivno nabita jedra ali ioni (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–232).

Plazma je sestavljena iz električno nabitih delcev in jo je zato mogoče z magnetnim poljem obdržati v določenih tirih. Po dosedanjih izkušnjah se najlaže spajata izotopa vodika: devterij in tritij. Devterij je naraven izotop, vsak liter morske vode ga vsebuje 0,0297g; tritij v naravi ne obstaja, pridobiti ga je mogoče iz litija, vendar je radioaktiven. Da bi dosegli podobne razmere, kot so na Soncu, je treba ta dva izotopa vodika segreti na najmanj $100 \cdot 10^6$ K. To je precej več, kot je temperatura v notranjosti Sonca, ki je le $(15-20) \cdot 10^6$ K, vendar je to nujno zaradi manjše gostote plazme, s katero imamo opravka na Zemlji. Če se nam posreči ujeti plazmo v magnetno polje, dosežejo atomi vodika pri visokih temperaturah tako veliko notranjo energijo, da dovolj pogosto udarjajo eden ob drugega in da se končno zlijejo v težja jedra helija. Tudi pri zlitju jeder so najvažnejši nosilci energije, poenostavljeno napisano, nevtroni (80 %) in v manjši meri α -delci (20 %). V opisanem primeru se zmanjša masa približno za 0,4 %. Pri 1 kg plazme je tako sproščena energija po Einsteinovi enačbi enaka: $W = 0,4 \cdot 10^3 \cdot 300000000^2 = 36 \cdot 10^{18}$ J (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–232).

Jedro devterija sestavljata pozitivno nabit proton in nevtralni nevtron, jedro tritija pa proton in dva nevtrona. Če pride do zlitja jeder teh dveh vodikovih izotopov, dobimo jedro helija, ki je sestavljeno iz dveh protonov in dveh nevtronov, enega α -delca in prostega nevtrona: ${}^2\text{D} + {}^3\text{T} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n} + 17,6 \text{ MeV}$ (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

Za zlitje jeder potrebujemo energijo približno $0,1 \text{ MeV}^{11}$, po reakciji pa se sprosti precej več energije, namreč $17,6 \text{ MeV}$. Zlitje v plazmi pa ni odvisno samo od visoke temperature, ampak tudi od zmnožka časa, ko se dovedena energija zadržuje v plazmi, in gostote te plazme. Zaradi izredno visokih temperatur je zelo težko dovolj dolgo zadržati v plazmo dovedeno energijo. Čim je doseženo zlitje jeder, je mogoče izključiti dovod energije od zunaj, spajanje jeder postane samodejno. Tako samodejno zlitje pa ne proizvaja samo dovolj toplote za ohranjanje visoke temperature, ampak proizvaja tudi dovolj energije za priključen parni ali kak drug proces (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

5.3.3 Tokamak

Pri magnetnem zadrževanju delajo poskuse s tokamaki, po ruski kratici za tok, tuljave in magnetno polje. Naprava spominja na transformator, ki ima na železnem jedru kovinsko tuljavo s številnimi ovoji in svitkasto cev z razredčenim plinom. Tokamak¹² je zgrajen v obliki obroča in obdan z močnimi elektromagneti. V obroču se plin zaradi električnega stika segreje in spremeni v plazmo. Obroč ima troje magnetnih polj z namenom, da prisilijo vklenjeno plazmo, da se odmakne od sten, da ostane stisnjena in vroča (glej sliko 5.3.3.1) (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

Zaradi nastalega vmesnega vakuma plazma ne more priti v dotik s hladno steno. Tako se manj hladi in se ne more navzeti nečistoč. Z naraščanjem temperature se električna prevodnost plazme močno poveča, njena električna upornost postaja manjša; s tem se manjša tudi dovedena energija, ki je potrebna za gretje plazme (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

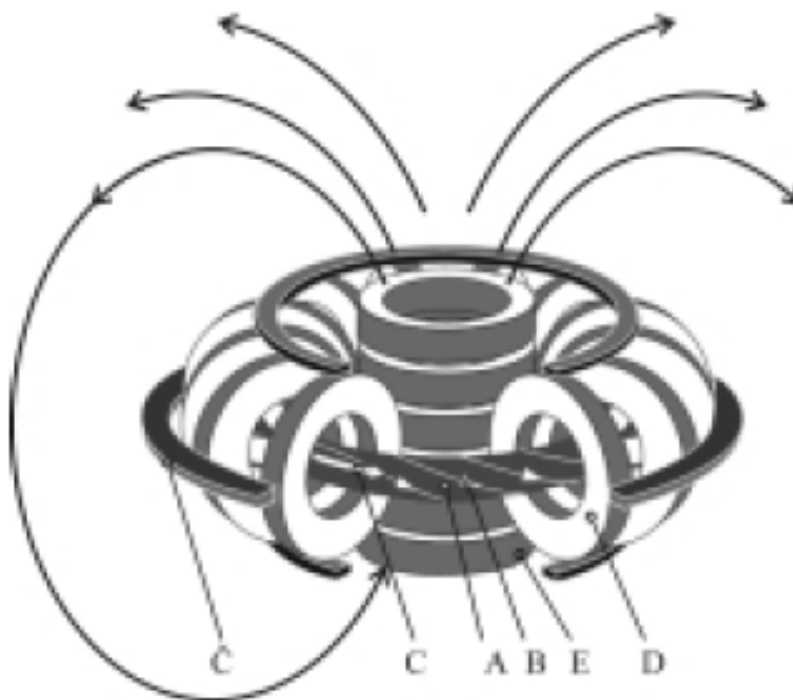
¹¹ MeV = Megaelektronvolt je fizikalna enota za energijo, ki se uporablja v jedrski fiziki in fiziki osnovnih delcev. Enaka je $1.000.000$ elektronvoltom, 1 MeVpa je enak $1,6 \cdot 10^{13} \text{ J}$.

¹² Ruska kratica za toroidalna kamera + magnetna kartaška; Rusi veljajo za pionirje na področju fuzije.

Večina raziskovalnih programov jedrskega zlivanja je zaradi večje zmogljivosti začela uporabljati tokamake. Trenutno največji tokamak na svetu je JET (Joint European Torus) in ostaja najbolj obetajoča naprava za ustvarjanje energije iz jedrskega zlivanja, ki se odraža v zasnovi naprave naslednje generacije ITER.

Slika 5.3.3.1: Delovanje tokamaka

A – plazma, B – krivulje magnetnega polja, C – smer toka plazme, Č – horizontalno magnetno navitje, D – toroidalno magnetno navitje, E – transformatorsko navitje



Vir: Vojvodič Tuma, Jelena, Matija, Tuma, Nenak, Gubelj, Dražan, Kozak in Gorazd, Kosec (2005): Energija prihodnosti – jedrska fuzija. Materiali in tehnologije 39/6, 230–233.

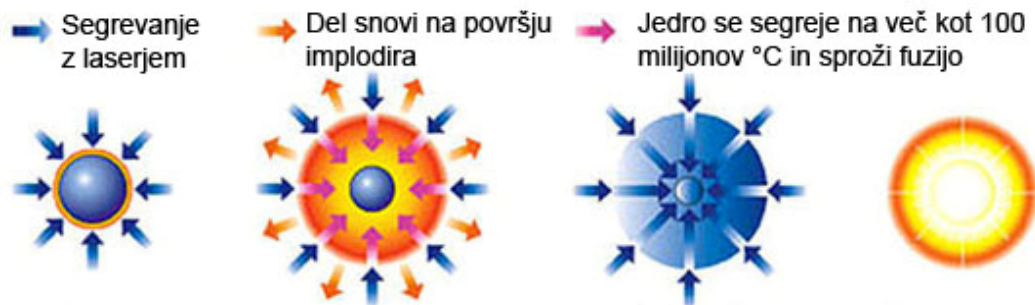
5.3.4 Fuzija z vztrajnostnim (inercialnim) zadrževanjem

Princip termonuklearne fuzije z vztrajnostnim zadrževanjem (ang. inertial confinement fusion - ICF) je podoben tistemu pri vodikovi bombi. Pogoje za potek reakcije dosežemo s segrevanjem in stiskanjem tarče iz reaktantov (ponavadi devterija in tritija). Majhne kroglice tekočine z vodikovimi izotopi z več strani osvetlijo

z močnimi laserskimi curki. Del snovi na površju kroglice odpari, del pa implodira. Tako nastane majhna kroglica zelo vroče in goste plazme, v kateri steče zlivanje, kot prikazuje slika 5.3.4.1 (Strnad 2006).

Vendar plazma pri tem obstaja veliko krajši čas kot v cevi tokamaka. V tem primeru bi moral reaktor delovati z zaporednimi eksplozijami, podobno kot bencinski motor (Strnad 2006).

Slika 5.3.4.1: Potek fuzije z vztrajnostnim zadrževanjem



(Vir: Wikipedija (2007): *Inertial confinement fusion*. Dostopno na http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_confinement_fusion (5. april 2007).

6. PROJEKT ITER

6.1 UVODNO

Francoski predsednik Jacques Chirac in predsednik evropske komisije Jose Manuel Baroso sta dne 21.11.2006 gostila predstavnike Evropske unije, ZDA, Rusije, Japonske, Kitajske, Indije in Južne Koreje, ki so v Elizejski palači podpisali sporazum o gradnji fuzijskega reaktorja ITER¹³ (ang. International Termonuclear Experimental Reactor, slo. Mednarodni termonuklearni eksperimentalni reaktor). Gre za največji in najdražji znanstveni poskus, njegov poglavitni namen pa je preskusiti potencial jedrske fuzije za pridobivanje električne energije (Rožič 2006).

Vse svetovne velesile se zanimajo za sodelovanje pri projektu, ker bi fuzijska energija lahko zagotavljala cenejši in neusahljiv vir energije. V primerjavi s fisijskimi jedrskimi elektrarnami bi bila fuzijska elektrarna varna, saj bi bila verjetnost nesreč izključena. Poleg tega proces fuzije ne proizvaja toplogrednih plinov ali trajnih radioaktivnih odpadkov. Fuzijska energija pomeni torej možnost trajnostne rešitve evropskih in globalnih potreb po energiji ter utegne dolgoročno ponuditi trajnostno in zelo obsežno preskrbo z elektriko (Rožič 2006).

Ali bo potemtakem fuzijska tehnologija v predvidenem času, torej okrog leta 2040, lahko zagotavljala elektriko porabnikom? Evropski komisar dr. Janez Potočnik, ki je v Evropski komisiji pristojen za področje znanosti in raziskav, meni, da zagotovi ni, na podlagi doslej že doseženega pa je zelo verjetno, da se bo to zgodilo. Poudarja, da so vprašanja povezana z energijo, ki bi bila stabilna, trajna, zadostna in hkrati okolju prijazna, ena ključnih vprašanj, s katerimi se danes ukvarja ne le Evropska unija, ampak vse človeštvo. Glede na trenutno energetska stanje je povsem jasno, da moramo iskati vse možne načine za pridobivanje energije. ITER je zanesljivo projekt, ki je raziskovalno in tudi z vidika same tematike eden najbolj atraktivnih. Pomembno je tudi to, da ga gostimo v Evropski uniji (Rožič 2006).

¹³ Beseda ITER v latinščini pomeni »pot«.

6.2 IZGRADNJA EKSPERIMENTALNEGA REAKTORJA

ITER bodo začeli graditi v Cadarachu severno od Marseilla. Projekt bodo poleg Evropske unije financirale ZDA, Japonska, Rusija, Kitajska, Indija in Južna Koreja. Dogradili naj bi ga v desetih letih, nato pa dvajset let poganjali. V celoti naj bi za to porabili 10 milijard evrov. To je za Mednarodno vesoljsko postajo drugi najdražji raziskovalni projekt vseh časov. Zato mu nasprotujejo tudi nekateri fiziki, ki sicer niso proti raziskovanju zlivanja, češ da je preuranjen (Rožič 2006).

Reaktor bo postavljen na 40 ha zemljišča, dodatno je rezerviranih še 30 ha, za delovanje potrebuje hladilno vodo za 450 MW odvedene toplote in elektrarno za 120 MW električne energije. Nekaj nadaljnjih tehničnih podatkov:

- *višina: 24 m*
- *širina: 30 m*
- *polmer obroča plazme: od 2,0 m do 6,2 m*
- *volumen plazme: 837 m³*
- *fuzijska (toplotna) moč: od 400 MW do 500 MW*
- *električni tok v plazmi: 15 MA*
- *razmerje: odvedena/dovedena moč: od 5 do 10*
(http://www.iter.org/a/index_nav_1.htm).

Evropska unija bo prispevala približno polovico denarja, druge države pa bodo v enakih deležih krile preostanek stroškov. Ti so po mnenju kritikov pretirani in denar bi bilo bolje izkoristiti za raziskave o tem, kako bolj učinkovito izrabiti obstoječe načine pridobivanja energije (Strnad 2006).

Pogajanja o projektu ITER so potekala več let in zaradi preprirov o lokaciji poskusnega reaktorja so celo zastala, saj sta se za njegov sedež zanimali tako Evropska unija kot Japonska. Ko je Evropska unija zagrozila, da bo projekt izpeljala sama, so se partnerice le dogovorile, da bo sedež reaktorja v raziskovalnem centru Cadarache na jugu Francije, v zameno pa je vodilno mesto pripadlo Japoncu Kanameju Ikedaju. Po Chiracovih besedah bo sedež ITER samo Franciji prinesel okoli 3000 novih delovnih mest, medtem ko si enake koristi lahko obetajo tudi druge države, ki sodelujejo pri projektu. Obenem je še poudaril, da bo z reaktorjem mogoče

»iz litra morske vode ustvariti toliko energije kot iz litra bencina ali kilograma premoga« (Strnad 2006).

Uspešen reaktor na zlivanje, ki bo dajal poceni energijo, pa ima tudi senčno stran, ker še dodatno segreva okolico. Tako že danes v bližini velikih elektrarn in velikih mest zaznajo nekoliko povišano temperaturo. Pridobljena energija namreč vselej konča kot toplota. Če bi s tem pretiravali, bi se lahko pojavile težave, ki bi še zapletle pojav tople grede. Vse torej kaže, da se v prihodnjih stoletjih človeštvo ne bo moglo izogniti preiščeni rabi energije in – varčevanju (Strnad 2006).

6.3 DOSEDANJE RAZISKAVE

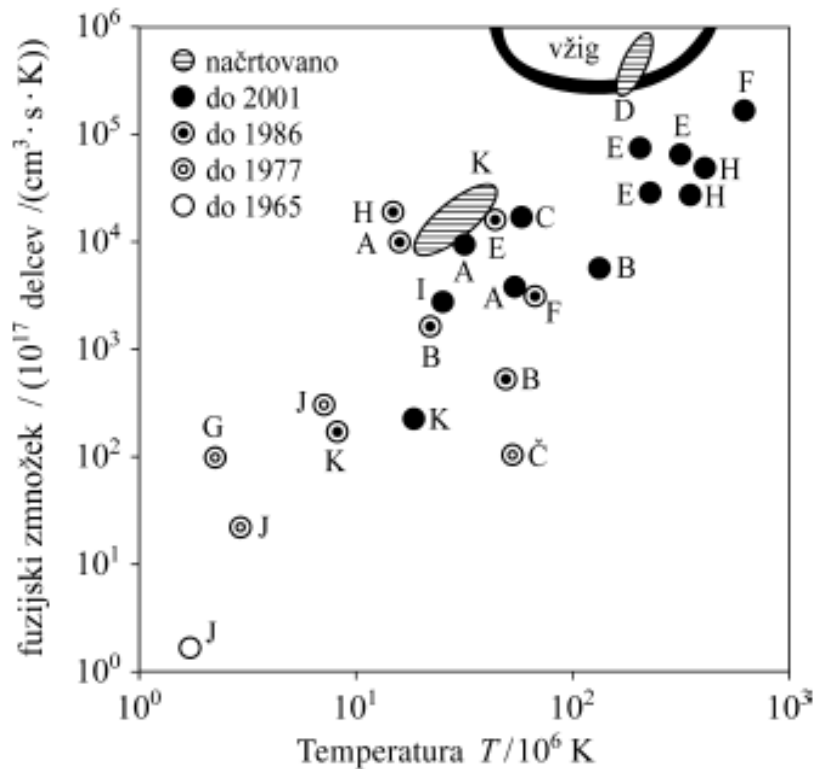
ITER je zadnji člen v vrsti naprav, s katerimi so raziskovali zlivanje vodikovih jeder z magnetnim zadrževanjem (v obrnjenem vrstnem redu): JET (evropska), JT-60, LHD (obe japonski), KSTAR (južnokorejska), EAST (kitajska), T-15 (ruska), DIII-D, TFTR, NSTX, NCSX, AlcatorC-MO_d, LDX, PACER (vse ameriške), H-1NF (avstralska), MAST, START (obe britanski) (Strnad 2006).

Vsaka naprava je večja od prejšnje in doseže večjo moč. JET¹⁴ ima nekoliko sploščeno cev z večjim premerom v navpični smeri, večjim kot 2 metra, ITER bo imel cev z navpičnim premerom 16 metrov. JET je razvijal moč 16 milijonov vatov nekaj manj kot sekundo in pri tem vrnil 70 odstotkov vložene moči. ITER naj bi po načrtu razvijal moč 500 milijonov vatov do 8 minut in bi ta moč znatno preseгла vloženo. Moči pa še ne bodo praktično izkoriščali, šlo naj bi za prehodno napravo med poskusnimi in komercialnimi reaktorji na zlivanje. V slednjih bodo naelektreni delci v plazmi, ki odletijo z visoko hitrostjo, neposredno poganjali magnetohidrodinamični generator in ne bosta potrebna turbina in generator z žicami. Podrobnega načrta za tak generator pa še ni. Preden bodo reaktorje na zlivanje začeli uporabljati bo treba rešiti še marsikatero vprašanje. Tritij bodo pridobivali ob reaktorski cevi z nevtroni iz litija. V bližini reaktorja bo veliko sevanja, tako da bodo morali reaktor daljinsko upravljati. Odpadla pa bo zadrega s predelavo in z odlaganjem uporabljenega jedrskega goriva iz reaktorjev na uran (Strnad, 2006).

¹⁴ ang. Joint European Torus, slo. Združeni evropski torus

Slika 6.3.1: Doslej opravljene raziskave in področje samodejnega delovanja jedrske fuzije.

A – Alcator, Boston, ZDA; B – Asdex, Garching, Nemčija; C – D-III-D, San Diego, ZDA; Č – Isar 1, Garching, Nemčija; D – ITER, Cadarache, Francija; E – Jet, Culham, Velika Britanija; F – JT 60, JT 60-U, Naka, Japonska; G – Pulsator, Garching, Nemčija; H – TFTR, Princeton, ZDA; I – Tore Supra, Cadarache, Francija; J – T3, T10, Moskva, Rusija; K – Wendelstein, Garching, Nemčija.



Vir: Vojvodič Tuma, Jelena, Matija, Tuma, Nenak, Gubelj, Dražan, Kozak in Gorazd, Kosec (2005): Energija prihodnosti – jedrska fuzija. Materiali in tehnologije 39/6, 230–233.

Kako daleč so prišli znanstveniki prikazuje slika 6.3.1. Na ordinati je nanosena gostota (kg/cm³) pomnožena s časom (s), v katerem je energija ostala na želenih parametrih, na abscisi pa absolutna temperatura (K). Na diagramu je označeno področje, v katerem pride do samodejnega zlitja jeder. Kljub množici nerešenih problemov znanstveniki upajo, da bodo prvi fuzijski jedrski reaktorji začeli obratovati v naslednjih desetletjih (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

6.4 NEGOTOVA PRIHODNOST

Nehvaležno je napovedovati, kdaj bo stekel prvi uporabni reaktor na zlivanje, čeprav je verjetno, da se bo to prej ali slej zgodilo. Po nekaterih optimističnih napovedih pred dvajsetimi leti bi ga morali dočakati še v tem desetletju. Ta napoved se ne bo uresničila. Napovedi za tretje desetletje pa bi marsikdo imel za črnoglede. V fiziki in v drugih vejah naravoslovja ni mogoče napovedati, kdaj bodo kaj odkrili in izumili kako tehniško izboljšavo. V kakšni raziskovalni veji pa dosežejo več uspehov, če vanjo več vlagajo – podobno kot pri drugih človeških dejavnostih (Strnad 2006).

ITER bo prvi fuzijski reaktor, ki bo proizvajal neto toplotno moč in sicer od 5- do 10-krat več, kot bo dovedena moč. Sevanje je v primerjavi s fisijskimi jedrskimi reaktorji majhno, jedrski odpadki pa so precej manj nevarni, kot so pri fisijskem reaktorju. Pri fuziji gre namreč za spajanje lahkih jeder, zato nimamo dolgoživih jedrskih odpadkov. Postrojenje za proizvodnjo električne energije ni predvideno. Mogoče pa je grobo izračunati, da bi proizvedena toplotna moč zadostovala za proizvodnjo kakih 350 MW električne moči. Za primerjavo: investicijski stroški postavitve sodobnega evropskega fisijskega reaktorja toplotne moči 4400 MW in električne moči 1500 MW so od 1600 EUR/kW do 1800 EUR/kW¹⁵, torej stane postavitve sodobne jedrske elektrarne od 2,4 do 2,7 milijarde evrov – torej precej manj kot postavitve eksperimentalnega fuzijskega reaktorja približno štirikrat manjše električne moči (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

Projekt ITER naj bi končno realiziral težko pričakovano samodejno reakcijo zlitja jeder vodika v jedro helija. Prvo samodejno delovanje reaktorja se pričakuje leta 2016. Če bo ITER izpolnil pričakovanja strokovnjakov, potem bo problem energije za človeštvo rešen (Vojvodič Tuma in drugi 2005: 230–233).

¹⁵ Kaspar, K (1999): Der SWR 1000 – ein neues Siedewasserreaktor Konzept, VGB Kraftwerkstechnik 79, 21–25.

7. DRUŽBENI IN EKONOMSKI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE

7.1 UVODNO

Nadaljnji razvoj jedrskih fuzijskih reaktorjev bo odvisen od nekaterih javnih politik ter resolucij, ki bodo sprejete, vključno z ukrepom zagotavljanja zadostne električne preskrbe za naraščujočo svetovno prebivalstvo. Prav tako bo pomembna interakcija ekonomskih in okoljskih vprašanj, ki bodo v skladu s predpisi in bodo imela javno podporo (Miller 2001: 33).

Električne centrale, fuzijske ali druge, bodo morale prodirati na tržišče s cenovnimi prednostmi, ki bodo potrošniku ponujale dosegljivo, varno, zanesljivo, okolju prijazno energijo, ki je ne bo nikoli zmanjkalo (Miller 2001: 33).

Polemike o tem, ali intenzivno investirati v jedrsko fuzijo, kot inovativno možnost energije za prihodnost, ali ne, se odvijajo v kontekstu strategij razvoja energijske tehnologije. Napovedi razvoja fuzijskih reaktorjev so precej nezanesljive in vlaganja potemtakem nosijo precejšnja tveganja, čeprav so za razvoj tehnologije nujno potrebne visoke investicije. Na napovedi vplivajo ekonomski vidiki, tehnološke lastnosti, fizikalna in tehnična realizacija, časovni okvir za ekonomsko konkurenčen prodor na energijski trg in vloga jedrske fuzije, kot inovativne tehnologije in energije. Časovni okvir, v katerem naj bi jedrska fuzija postala konkurenčna na energijskem trgu še ni bil natančno preučen, prav tako tudi ne vloga jedrske fuzije v energijskih sistemih in v okolju (Miller 2001: 33).

Stanje raziskav in razvoja (R&R) jedrske fuzije je še nedozorelo. R&R tokamakov, v kateri vodijo Japonska, Evropa, ZDA in Rusija, je še najbolj razvito med različnimi načini za izvajanje jedrske fuzije. V R&R spiralnega tipa zliivanja, ki napreduje v tip tokamaka, vodita Japonska in Nemčija. V R&R laserskega tipa zliivanja pa vodijo Japonska, ZDA in Francija. Napredek v razvoju in raziskavah jedrske fuzije se primarno izvaja v s pomočjo fizike plazme (Tokimatsu in drugi 2002: 775–780).

7.2 OKOLJSKI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE

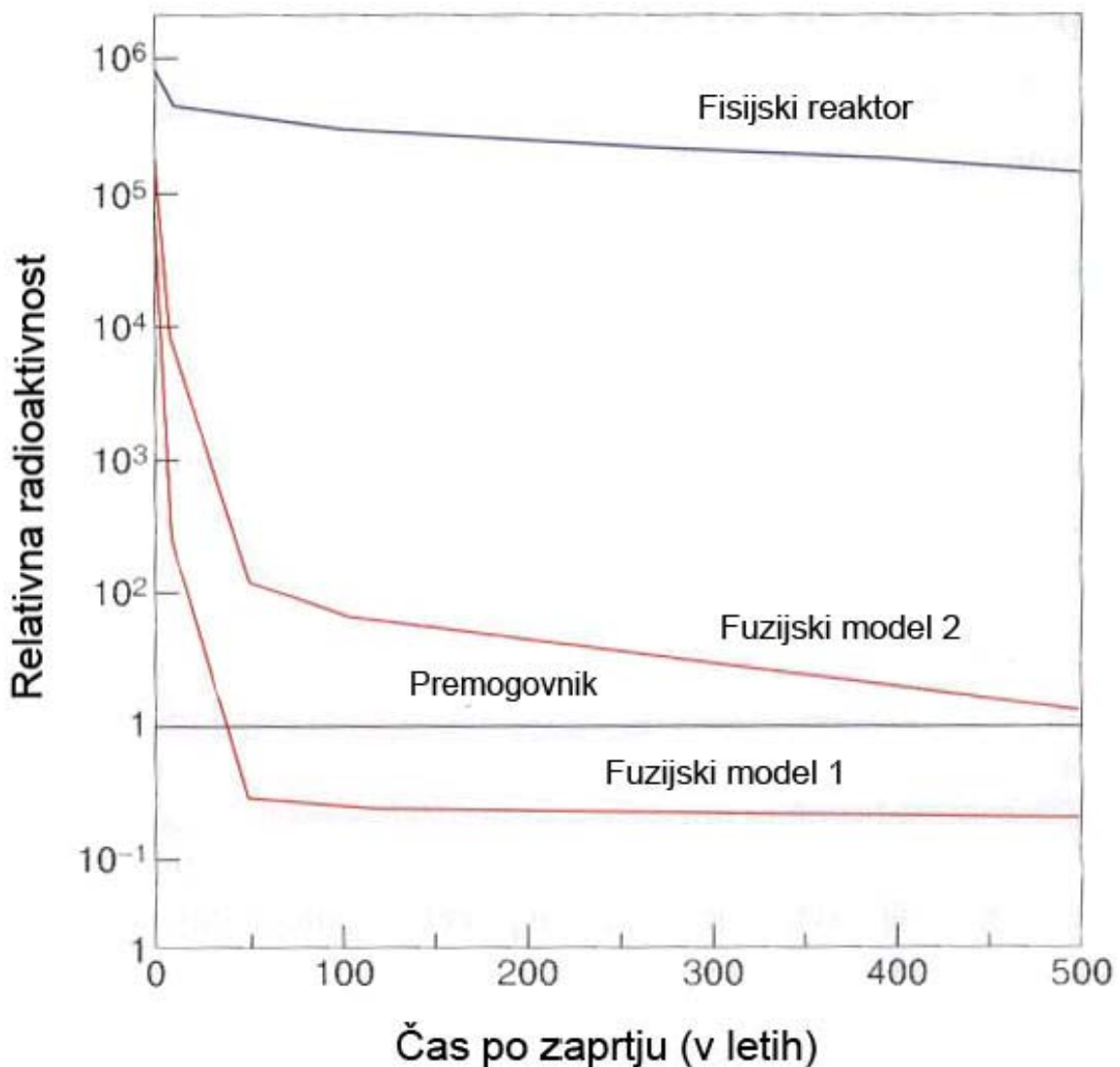
V javnosti se pojavljajo skrbi glede varnosti jedrskih reaktorjev. Pri ljudeh ostaja strah, da bi reaktor eksplodiral ali pa se enostavno stopil. V tem pogledu imajo fuzijski reaktorji pomembno prednost v primerjavi s fisijskimi, saj ne morajo eksplodirati ali se stopiti. Fisijski reaktorji vsebujejo velike količine uranovega ali plutonijevega goriva, dovolj, da vzdržujejo reaktor več let. Fuzijski reaktor pa vsebuje le majhne količine devterijevega in tritijevega goriva. V reaktorju je ponavadi 1 gram goriva, kar zadostuje, da se reakcija vzdržuje le nekaj sekund. Če se gorivo konstantno ne dovaja, se fuzijska reakcija ustavi. Torej v fuzijskih reaktorjih ni nevarnosti glede nekontroliranih jedrskih eksplozij (McCracken in Stott 2005: 150).

Drugi varnostni pomislek so radioaktivni odpadki. Fisijski reaktor ustvarja dva tipa radioaktivnih odpadkov. Najbolj težavni za obdelavo in shranjevanje so tisti odpadki, ki nastanejo v procesu fisije. To so intenzivne radioaktivne snovi, ki jih je potrebno ločiti od neuporabljenega goriva in nato varno shraniti za več deset tisoč let. Pri procesu fuzije ne nastajajo radioaktivni odpadki, odpadni produkt je helij, ki ni strupen ali radioaktiven. Sam tritij je radioaktiven, vendar se razkroji relativno hitro. V vsakem primeru se nastalo tritijevo gorivo hitro reciklira in zgori v reaktorju. Pomembna varnostna značilnost je, da ni potrebno tovorjenje radioaktivnega goriva v in izven fuzijskega reaktorja. Surov material potreben za fuzijsko gorivo, litij in voda, sta popolnoma neradioaktivna. V naravi je litija dovolj za več deset tisoč let in dovolj devterija v oceanih, da je takorekoč neizčrpljiv. Še več, surovin je dovolj po vsem svetu, kar onemogoča posamezni državi, da si nakopiči zaloge. Na dolgi rok bi lahko prišlo celo do izdelave še bolj naprednih tipov fuzijskih reaktorjev, ki bi uporabljali samo devterij (McCracken in Stott 2005: 150).

Drugi vir odpadkov jedrske elektrarne so sestavni deli strukture reaktorja, ki je radioaktiven zaradi nevtronov, ki se oddajajo med jedrsko reakcijo. Fuzija in fisija sta si v tem pogledu podobni. Nekateri sestavni deli strukture fuzijskega reaktorja bodo postali intenzivno radioaktivni. Dele, ki jih bo potrebno odstraniti zaradi popravila ali zamenjave, bodo morali upravljati daljinski roboti in jih shraniti v masivne betonske ščite. Vendarle pa je življenjska doba teh odpadkov veliko krajša, kot pa življenjska doba odpadkov, ki nastanejo pri procesu fisije. Ob koncu svoje obratovalne dobe, bo

moral biti fuzijski reaktor zaščiten samo 100 let, preden bo pripravljen na popolno uničenje. Radioaktivnost je možno zmanjšati tudi s preišljenim izborom konstrukcijskih materialov. Raziskave gredo v smeri izdelave naprednih kovin in drugih materialov (McCracken in Stott 2005: 150).

Slika 7.2.1: Primerjava potencialnega radioaktivnega sevanja treh različnih virov; fisijskega reaktorja, dveh modelov fuzijskih reaktorjev in premogovnika; z isto količino proizvedene elektrike; po koncu njenega delovanja.



(Vir: J. McCracken, Garry in Peter, Stott (2005): *Fusion – The Energy of the Universe*. London: Elsevier Academic Press.)

Na sliki 7.2.1 je prikazana primerjava radioaktivnosti fuzijskega reaktorja ob koncu njegove življenjske dobe s primerljivimi podatki fisijskih reaktorjev in premogovnikov. Z natančnim oblikovanjem in izbiro materialov je stopnja radioaktivnosti, ki bi jo imel fuzijski reaktor 100 let po zaprtju, primerljiva z zapuščino enega premogovnika. Radioaktivnost premogovnika je sprva presenetljivo visoka, vendar premog vsebuje uran (in tudi razne druge strupene elemente), ki se sproščajo v ozračje med gorenjem premoga. Čeprav je koncentracija urana v premogu relativno majhna, so skupne količine relativno velike. Okoli 3 milijone ton premoga moramo skuriti, da ustvarimo 1GW elektrike (potrebe tipičnega industrijskega mesta), kar vsebuje več kot 5 ton urana. To je več urana, kot bi ga potreboval fisijski reaktor za proizvodnjo elektrike. Nekaj urana tako uide v ozračje, večina pa ga ostane v prahu, ki se ga zakopije (McCracken in Stott 2005: 151).

7.3 EKONOMSKI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE

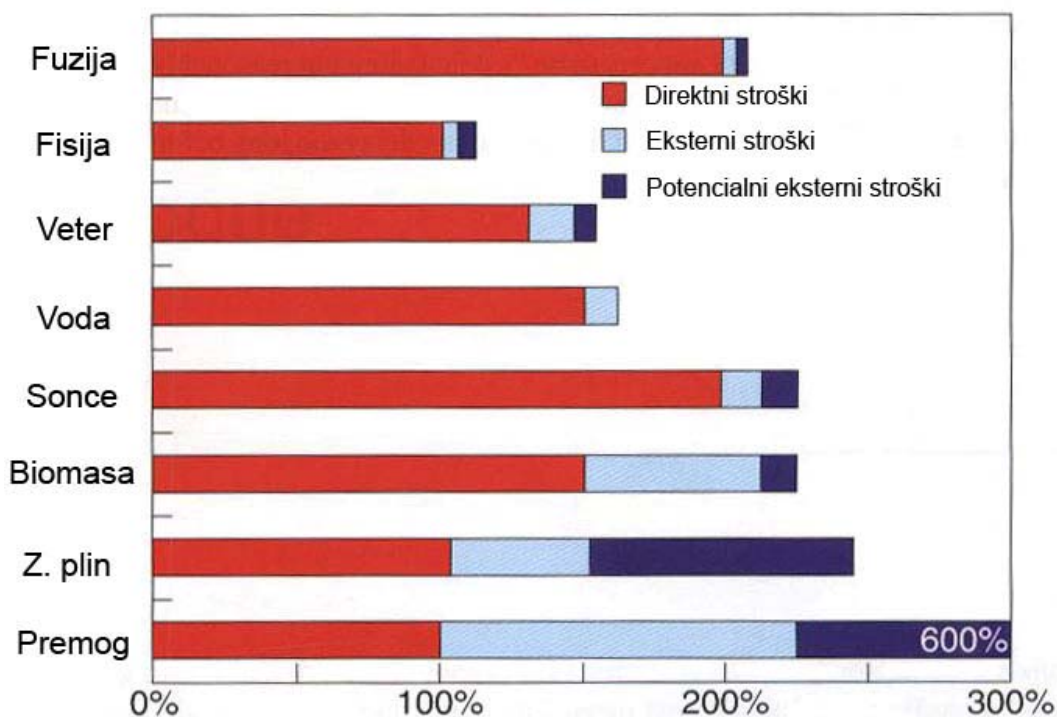
Za vsak nov vir energije, tudi za fuzijo, je poleg njene čistosti, varnosti in prijaznosti okolju potrebno izkazati tudi, da je cenovno konkurenčen ostalim oblikam energije. Projekcije, na osnovi standardnih modelov energijskih napovedi kažejo, da bi fuzija kmalu po dokončanem razvoju prvih reaktorjev (nekje sredi 21. stoletja) že postala ekonomsko konkurenčna. Te projekcije so izdelale različne skupine v ZDA, na Japonskem in v Evropi, njihovi rezultati pa so v splošnem primerljivi (McCracken in Stott 2005: 152).

Seveda so izdelave ocen za ta tako oddaljen čas nezanesljive in različne za vsak tip goriva, zato je primerjanje težko. V primeru fosilnih goriv, imamo dobro izhodišče za izračun, ker vemo koliko danes stane izgradnja in delovanje elektrarne na premog ali zemeljski plin. Veliko negotovosti se pojavlja glede tega kakšne bodo bodoče cene goriv (to je glavni element oblikovanja cen elektrike, ki je proizvedena iz fosilnih goriv) ter kakšno ceno bo potrebno plačati za ohranitev okolja. Cene nafte in zemeljskega plina se gibljejo različno od države do države, kar spet otežuje primerjavo. Cene nafte so po letu 1999 drastično narasle. Napovedi bodočih cen so nezanesljive, vendar pa bodo neizogibno naraščale, ker se bodo potrebe povečevale, zaloge pa pojemale. Ostali dejavniki, ki jih moramo upoštevati pri izdelavi ekonomskih

napovedi, vključujejo pomisleke glede varnosti okolja, ki bi lahko povzročili prepoved ali obdavčenje uporabe nekaterih goriv ali pa zaostri standarde glede onesnaževanja, kar bi seveda rezultiralo v dvigu cen teh goriv (McCracken in Stott 2005: 152).

Porabniki električne energije iz fosilnih goriv trenutno ne plačujejo stroškov, ki jih povzroča škoda storjena okolju in javnemu zdravju. Te eksterne (zunanje) negativne eksternalije je težko oceniti, saj je škoda zelo razširjena ter težko izmerljiva, vpliva pa tudi na države, ki ne onesnažujejo. Vseeno pa je potrebno te stroške upoštevati pri izdelavi objektivne primerjave med različnimi tipi goriv. Nekateri strokovnjaki so izračunali, da so dejanski stroški pridelave elektrike iz premoga do 6-krat višji, če bi upoštevali tudi eksterne stroške (glej shemo 7.3.1). Napredne tehnologije lahko pripomorejo k zmanjševanju emisij toplogrednih plinov in ostalih onesnaževalcev, kar pa bo povečalo stroške izgradnje ter delovanja elektrarn (McCracken in Stott 2005: 152).

Shema 7.3.1: Primerjava relativnih stroškov proizvodnje elektrike s pomočjo različnih goriv, na osnovi projekcij za leto 2050.



Vir: J. McCracken, Garry in Peter, Stott (2005): *Fusion – The Energy of the Universe*. London: Elsevier Academic Press.

Prav tako ni enostavno ocenjevati bodočih stroškov obnovljivih virov, kot so energija vetra, sonca in biomas. Trenutno je elektrika proizvedena na tak način precej dražja od tiste proizvedene iz fosilnih goriv, za delovanje pa potrebuje tudi precejšnjo državno pomoč (odvisno od posamezne lokacije). Z razvojem tehnologij se bodo zniževali stroški, tovrstno pridobivanje energije pa bo postalo konkurenčno, predvsem v primerjavi s cenami fosilnih goriv (McCracken in Stott 2005: 153).

Čeprav ocenjevanje bodočih stroškov jedrske fuzije poraja različne dvome, je mogoče z gotovostjo trditi, da bodo stroški za gorivo nepomembni in še važneje, stabilni. V fuzijskem reaktorju bo gorivo prispevalo manj kot en odstotek k celotnim stroškom – nekaj gramov fuzijskega goriva bo ustvarilo toliko energije kot tone premoga, nafte ali zemeljskega plina. Glavna stroška pri proizvodnji elektrike s fuzijo sta začetni investicijski kapital za izgradnjo reaktorja ter stroški vzdrževanja (zamenjave delov med delovanjem reaktorja). Deli fuzijskega reaktorja – stavbe, turbine in generatorji – bodo enaki kot pri ostalih tipih reaktorjev, stroški teh pa so znani. Sistemi za zadrževanje plazme bodo tehnično kompleksni in potemtakem relativno dragi za izgradnjo in zamenjave. Zadnje študije potencialnih modelov temelječih na tipu tokamaka predvidevajo, da bi moral optimalni reaktor proizvajati okoli 1000 MW elektrike, da bi bili stroški konkurenčni ostalim gorivom. Pomembna stroškovna dejavnika sta zanesljivost reaktorja in zmogljivost, s katero lahko deluje (McCracken in Stott 2005: 153).

Ob upoštevanju različnih problemov s pomankanjem energijskih virov, visokimi stroški ter okoljsko škodo, je jasno, da za zadovoljevanje bodočih energijskih potreb ni veliko možnosti. Nekje sredi naslednjega stoletja bomo morali prenehati z uporabo fosilnih goriv, ker bo zmanjkalo zalog ali pa bodo postala preveč uničujoča za okolje. Obnovljivi viri, kot sta energija vetra in sonca bosta odigrala zelo pomembno vlogo, vendar to vseeno ne more zadovoljiti vseh potreb (McCracken in Stott 2005: 153).

7.4 DRUŽBENI VIDIKI JEDRSKE FUZIJE

7.4.1 Uvodno

Mogoče je glavni izziv, s katerim se soočajo fuzijske raziskave, ohranjanje zadostne politične podpore za financiranje projektov, še posebej v naslednjih desetih do dvajsetih letih (D'haeseleer 2003: 3–5).

Zdi se, da javnost jemlje marsikaj v življenju za samoumevno, in jo prazaprav ne zadevajo veliki ter dolgoročni projekti razvoja in raziskav (v nad. R&R). Tudi izvoljeni predstavniki se obnašajo v skladu s tem (D'haeseleer 2003: 3–5).

Dokler so »luči prižgane« in cene elektrike razumne, glede na tipičen proračun gospodinjstva, ni veliko iniciativ za iskanje alternativnih dolgoročnih virov. Čeprav obstajajo grožnje povečevanja toplogrednih vplivov, ki bi morale stimulirati raziskave v vse možne smeri, smo trenutno soočeni z energijsko politiko, ki ustvarja vtis, da je prihodnost odvisna samo od kontrolirane porabe energijskih virov ter večje uporabe obnovljivih virov (D'haeseleer 2003: 3–5).

Stanje na področju energetike pa je bolj zaskrbljujoče, kot se to odraža v medijih in javnem mnenju. Proizvajalci nafte so v 70. letih dojeli, da se je bitka za energijske vire pričela stopnjevati, zato so v okviru OPEC-a sprožili prvi naftni šok z nekajkratnim povečanjem cen surove nafte. Povečane cene naftnih derivatov so omogočile večje dobičke naftnim družbam in s tem tudi možnosti za dodatne raziskave zalog nafte. Stanje pa se ni umirilo. Prognoze, da zaloge fosilnih goriv že kmalu ne bodo pokrivalo potreb po energiji, so sprožile mrzlična prizadevanja za nadzor nad fosilnimi gorivi in še zlasti nad zalogami nafte in zemeljskega plina. Pričel se je stopnjevati prikrit, pa vendarle zelo intenziven konflikt v mednarodni skupnosti, o tem kdo bo nadzoroval energijske vire na planetu.

ZDA so v svoji strateški zunanjepolitični usmeritvi v zadnjih tridesetih letih nafto vedno postavljale v središče svojega zanimanja. Njihova prizadevanja v Savdski Arabiji, Kuvajtu, Združenih arabskih emiratih, Iranu in Iraku to ves čas potrjujejo. Tako vojaški poseg leta 1990 v Kuvajtu, kot zadnji vojaški poseg ZDA, Velike

Britanije in drugih zavezniških sil leta 2004 v Iraku, sta bila močno prepletena z interesom za obvladovanje naftnih virov, ne glede na to, da so se vpleteni sklicevali na vzpostavljanje demokracije in človekovih svoboščin.

Potencialno zelo bogata območja z naftnimi viri, kot sta Kavkaz in Kaspijski bazen sta prav v zadnjem času v središču konfliktov zaradi vmešavanja mednarodnih dejavnikov. Najbolj tragičen primer takšnih interesov je Čečenija, preko katere že in bodo še potekali zelo pomembni naftovodi iz kavkaško-kaspijske regije v Evropo. Rusija nikakor ne želi tega strateško pomembnega področja prepustiti drugim, ZDA pa pod pretvezo demokracije poskušajo pridobiti tudi tu svoj vpliv.

Tudi Kitajska ne stoji ob strani v bitki za energijo. Njeni poskusi v Kazahstanu in afriških državah so zmeraj bolj odločni pri tem, da si tudi ona pridobi nadzor nad naftnimi viri na tem območju. Z različnimi sporazumi in pogodbami si že zagotavlja pomemben delež. Tudi v pokrajini Darfur na zahodnem območju Sudana ne gre le za plemensko, etnično, versko in ideološko vojno, tudi tu je v ozadju vojna za energijske vire.

V primeru da se bo trend zmanjševanja razpoložljivih energijskih virov, glede na stalno rastoče potrebe človeštva po energiji, nadaljeval, ne moremo pričakovati, da se bodo konflikti umirili. Z veliko verjetnostjo lahko pričakujemo, da se bodo ti konflikti poglobljali in lahko tudi eskalirali v ogrožanje svetovnega miru.

7.4.2 Odnos javnosti, politikov in medijev

Javno mnenje je usmerjeno k mišljenju »majhno je lepo«, ter da ni več potrebe za centralizirano produkcijo elektrike: vse naj bi rešila decentralizirana produkcija (D'haeseleer 2003: 5–7).

Jedrske fuzijske reaktorje je namreč zelo težko zmanjšati, saj je za uspešno fuzijsko reakcijo potreben velik obseg. Vsi koncepti modelov fuzijskih reaktorjev obsegajo moč vsaj 1. GW. Potemtakem lahko fuzijski reaktorji proizvajajo energijo samo v

velikem obsegu, kar centralizira proizvodnjo energije in onemogoči manjše proizvodne obrate (Tokimatsu in drugi 2002: 785–790).

Politiki ne živijo v izolaciji in so seveda pod vplivom okolice. Posledično je podpora, ki so jo pokazali v zadnjih dolgoročnih energijskih raziskavah, izginjala. Primer je odnos Ameriškega kongresa in Evropskega parlamenta nekaj let nazaj, ko so ZDA drastično zmanjšale vlaganje v fuzijski program ter zapustile skupni projekt jedrske fuzije. Za primerjavo, proračun ZDA leta 1977 za jedrsko fuzijo je znašal okoli 850 milijonov dolarjev, leta 2003 pa samo 250 milijonov dolarjev. Na srečo so se kasneje oblasti v ZDA premislile (v glavnem zaradi skrbi glede bodoče energijske varnosti) in se ponovno pridružile projektu ITER, medtem ko so Evropski parlament, Evropska komisija ter Svet Evropske unije dali zeleno luč nadaljnjemu razvoju projekta ITER, čeprav z manjšim proračunom, kot bi bilo zaželeno (Tokimatsu in drugi 2002: 785–790).

Veliko odgovornost nosijo mediji. Čeprav imajo mediji pogosto premalo kvalificiranih znanstvenih novinarjev, bi jih morali fuzijski raziskovalci še naprej poskušati kar najbolje informirati. Če novinar dobi pomembno sporočilo, bi moral narediti vse, da ga prenese naprej. Vseeno pa se je potrebno izogibati pretiranemu optimizmu v poročanju; pošteno poročanje je najboljšo. Korektno prenašanje informacij je nato dolžnost medijev (Tokimatsu in drugi 2002: 785–790).

Pomemben vpliv na bodoči razvoj jedrske fuzije imajo tudi energetske lobije, ki bi nas radi prepričali, da je še zmeraj dovolj nafte, zemeljskega plina in rezerv premoga za naslednje stoletje, kar je tudi vplivalo na politike nekaterih držav (npr. ZDA), ki so pripisale precej manjši pomen jedrski fuziji kot viru energije za prihodnost (D'haeseleer 2003: 5–7).

Zelo zanimivo je, da kritike prihajajo tudi s strani okoljskih lobijev. Problem radioaktivnih odpadkov še zmeraj predstavlja trn v peti organizaciji Greenpeace, kljub dejstvu, da bi bil to precej manjši problem, kot pa pri sedanjih jedrskih elektrarnah. Kritika zelenih lobijev je temelji tudi na tem, da vlaganja v ITER jemljejo sredstva obnovljivim virom. Glede na to, da obnovljivi viri ne bodo mogli nikoli zadovoljiti vseh potreb po elektriki, bi si lahko mislili, da bi okoljevarstveniki smatrali vlaganja v fuzijo za dobro stvar (D'haeseleer 2003: 7–9).

7.4.3 Odnos zasebnih investitorjev do razvoja jedrske fuzije

V trenutni atmosferi liberalizacije in prestrukturiranja, zasebni investitorji in distributerji električne energije še zdaleč niso obremenjeni z razvojem jedrske fuzije – pravzaprav jih sploh ne zanima. V najboljšem primeru so pripravljeni ponuditi moralno podporo, zagotovo pa ne finančne. V skladu z idejami liberalizma ne čutijo več dolžnosti, da bi podpirali bodoče tehnologije za pridobivanje energije. V skladu z novo filozofijo, je razvoj fuzije naloga proizvajalcev in prodajalcev. Logika je naslednja: “Če nam prodajalci ponudijo dober produkt, potem ga mogoče (če nam je všeč in če je ustrezna cena) kupimo (Tokimatsu in drugi 2002: 780–782).

Zaradi premora v izgradnji jedrskih konstrukcij v zahodnem svetu je šla večina jedrske industrije skozi težavno obdobje in se je soočala z drastičnim valom rekonstrukcij. Zato si jedrska industrija ne more privoščiti velikih vlaganj iz R&R za tehnologije, ki jih bodo lahko prodali šele čez pol stoletja. Število fuzijskih poskusov je relativno majhno, zato industrija prav tako ne more vzdrževati kvalificirane delovne sile. V tem kontekstu moramo podpreti industrijo, ki je pripravljena nameniti svoje najboljše strokovnjake razvoju jedrske fuzije, čeprav so plačani iz zunanjih sredstev (Tokimatsu in drugi 2002: 780–782).

Čas izgradnje takšnih reaktorjev zagotovo ne bi smel biti daljši od 6 do 8 let. Obstajati bi moral nesporen licenčni postopek, ki bi investitorju, v nadomestilo za vloženi denar za izgradnjo dragega reaktorja, zagotovil licenco za obratovanje, ki bi mu dovoljeval takojšen zagon reaktorja po dokončani izgradnji. Prav tako bi investitor moral dobiti pravno zagotovilo, da reaktorja ne bodo predčasno zaprli. Diskusija glede predčasnega zaprtja bo zagotovo še dolgo odmevala v spominu bodočih investitorjev na Švedskem, ter v Nemčiji in Belgiji (Tokimatsu in drugi 2002: 782–785).

8. ZAKLJUČEK

V zaključku diplomske naloge bom poskušala, na podlagi do sedaj zbranih ocen, statističnih podatkov, napovedovanj in trendov v svetovni proizvodnji ter porabi energije, raziskav in napovedi na področju jedrske fuzije, sporazuma o gradnji mednarodnega termonuklearnega eksperimentalnega reaktorja (ITER) med ZDA, Evropsko unijo, Rusijo, Kitajsko, Japonsko, Indijo in Južno Korejo in pa intervjujev, ki sem jih izvedla s strokovnjaki na področju jedrske fuzije, strniti družbene posledice jedrske fuzije.

Statistični podatki in simulacije prihodnjih trendov kažejo, da se poraba energije na planetu bistveno hitreje povečuje, kot se odkrivajo nove zaloge fosilnih goriv ali v uporabo uvajajo novi energijski viri. Ocene o dejanskih zalogah fosilnih goriv (premoga, nafte, zemeljskega plina), kot trenutno prevladujočega energijskega vira, in o dinamiki uporabe teh goriv, se razlikujejo, vendar pa se analitiki strinjajo, da se zaloge zmanjšujejo in da se bo boj za nadzor nad zalogami fosilnih goriv stopnjeval.

Dosedanji poskusi, da bi omejili porabo energije na enoto proizvoda, so sicer prinesli nekaj rezultatov, predvsem zaradi dosežkov na področju novih tehnologij. To pa energetska krizo le delno blaži, ne more pa je rešiti. Naraščajoče število prebivalstva na planetu, gospodarska rast in s tem vse večje potrebe po energiji, še zlasti v deželah v razvoju, daleč presegajo te dosežke. Tudi domneva, da bi lahko s povečevanjem cen energije bistveno prispevali h gospodarnosti njene porabe, ni uresničljiva brez tveganih posledic. Drastično zvišanje cen energije bi sprožilo močan inflacijski val in povečanje obrestnih mer, kar bi povzročilo, predvsem v državah v razvoju in nerazvitih državah, gospodarski zastoj in še dodatno znižanje že danes ogrožene življenske ravni prebivalstva, s tem pa bi bil lahko resno ogrožen svetovni mir.

Pričakovanja, da bodo obnovljivi in alternativni viri energije (toplotne črpalke, sončni kolektorji, vetrne elektrarne, biološka goriva, etanol, itd.) razrešili pričakovano energetska krizo, niso zelo verjetna. Vsekakor so bili na tem področju narejeni

številni spodbudni premiki. Ti viri bodo po vsej verjetnosti v prihodnje igrali vse pomembnejšo vlogo, vendar pa je sedanji in pričakovani delež teh energijskih virov v skupni bilanci premajhen, da bi lahko obetal razrešitev energetske krize. Tako kot poudarja dr. Martinčič, moramo vsekakor zmanjšati odvisnost od nafte, zemeljskega plina in premoga ter prispevati k zmanjševanju onesnaženosti ozračja, ne glede na to, ali se ozračje zares dolgoročno segreva.

Za vzdrževanje jedrske tehnologije je potrebna ogromna natančnost, resnost in odgovornost. Če država nima kapacitet za takšno organizacijo proizvodnje energije, je to lahko močan argument proti uveljavitvi jedrskih reaktorjev. Širjenje jedrskih fizijskih reaktorjev pa je v rokah politike. Državljeni se sami ali pa preko izvoljenih zastopnikov odločajo za reaktorje, ali proti njim. Vendar pa se pojavi velik problem pri objektivnem poučevanju o prednostih in slabostih takšnih projektov, kar omenja tudi dr. Strnad. V Sloveniji se, v primeru investiranja v nov blok jedrskega reaktorja, ob tem kaže tudi problem s premajhnim številom ustreznih kadrov, kot pravi mag. Grlicarev.

Medtem ko je večina strokovnjakov na področju energetike le zaznala trende, ki vodijo v energetsko krizo ali pa ponudila zgoraj omenjene alternativne vire energije, so najbolj dajnovidni že kmalu po koncu druge svetovne vojne usmerili svoja prizadevanja v uporabo fuzijske energije v komercialne namene. V zadnjih 50. letih so raziskave na področju jedrske fuzije zelo napredovale. Te raziskave so za mnoge do sedaj najbolj zahteven znanstveni izziv v zgodovini človeštva.

Danes raziskovalci stojijo na pragu uresničitve pogojev za izvedbo praktičnega fuzijskega energetskega sistema. Led so prebili z uporabo koncepta magnetnega zadrževanja, s katerim lahko z veliko gotovostjo dosežejo »vžig ter trajno izgorevanje«. Raziskovalci vztrajnostnega (inercialnega) zadrževanja so prav tako dosegli velik uspeh, vendar pa bo potrebnih še veliko tehnoloških raziskav, preden bo izgradnja takšnega tipa reaktorja tehnično izvedljiva.

Napredek je bil v zgodnjih letih počasnejši od pričakovanega, vendar pa so v zadnjem času rezultati, kot tudi razumevanje problematike, presegli pričakovanja.

Kljub uspehom v zadnjem obdobju pa je pred človeštvom še dolga pot preden bodo dosegli praktični fuzijski energetska sistem.

S teoretične strani je zamisel o reaktorju na fuzijski pogon dokaj dozorela, s tehničnega vidika pa vprašanja še niso rešena, kot omenjajo mag. Grlicarev, dr. Strnad in dr. Martinčič. Največji problem je pri dolgotrajnem zadrževanju plazme.

Zgodovina pa kaže, da so vse velike priložnosti za napredek fuzijskih raziskav bile rezultat velikih zunanjih dogodkov – velikokrat globalnih razsežnosti. Isto velja tudi za dogodke, ki so povzročili premik nazaj. Znanstveni napredek in dosežki razvoja jedrske fuzije niso bili nikoli zadostni, da bi sami povzročili pomemben preobrat v podpori raziskavam. Raziskovalci jedrske fuzije večinoma niso imeli kontrole nad svojo »usodo«. Na program jedrske fuzije so vplivali zunanji dogodki, ki so bili izven kontrole raziskovalcev in programa.

Uspeh ali neuspeh projekta ITER bo odvisen od politične volje v državah, ki so sklenile sporazum za izgradnjo poskusnega fuzijskega reaktorja. Sporazum o projektu kaže, da obstaja pripravljenost vlad za iskanje izhoda iz energetske krize, ki so ga sklenile najpomembnejše države sveta. Vendar pa ta sporazum sam po sebi še ne zagotavlja uspešnega zaključka tega projekta. Potrebne bodo še številne odločitve in pojavile se bodo tudi mnoge pasti pri izvajanju projekta.

Dolgoročni interesi in dobrobit človeštva pri političnih odločitvah in porabi proračunskega denarja ne bodo igrali najpomembnejše vloge. V odločitve se bodo v času izvajanja tega projekta in implementaciji fuzijskih reaktorjev v gospodarsko uporabo vmešali še številni dejavniki ter gospodarski in interesni lobiji.

Naftni in drugi energetska lobiji se s projektom jedrske fuzije zaenkrat še ne ukvarjajo intenzivno, saj je do uresničitve projekta še zelo dolga doba. Zato bodo, po mnenju mag. Grlicareva, morali skrbeti kvečjemu njihovi nasledniki. Naftne multinacionalne korporacije gotovo ne bodo brezbrizno opazovale prihajajoče možnosti za konkurenco. Domnevam, da tudi proizvajalci fuzijskih atomskih reaktorjev in lastniki obstoječih in načrtovanih atomskih central ne bodo ostali ravnodušni.

Ob morebitnem uspehu eksperimentalnega reaktorja obstajajo možnosti, da bi lobiji in nepoučena civilna družba pričeli ovirati implementacijo jedrske fuzije, kot meni dr. Strnad. Dr. Martinčič pa opominja, da v zgodovini še nihče ni uspel preprečiti napredka oziroma razvoja, morda ga je lahko samo zavrl za nekaj časa.

Civilno družbena gibanja, ki bi potencialno ogrožala razvoj tehnologije jedrske fuzije z nasprotovanji pri uvajanju novosti, zaenkrat še ne obstajajo ob poplavi vseh informacij današnjega sveta, meni mag. Grlicarev. Zagotovo pa se bodo enkrat v prihodnosti oglasila in nasprotovala projektu že zaradi tega, ker ne bodo dobili odgovorov na vsa zastavljena vprašanja in možne nevarnosti, ki jih lahko povzroči fuzijska tehnologija. Četudi bi do tega prišlo, dr. Strnad optimistično domneva, da bi bilo aktivistom verjetno možno razložiti, da so fuzijski reaktorji manj nevarni.

Politiki bodo ugovore in nasprotovanja presojali glede na kratkoročna razpoloženja volilcev, kar pa ne pomeni, da bo javno mnenje naklonjeno projektu, predvsem, če bo za projekte potrebno nameniti še več javnih sredstev. Uspeh projekta bo tako odvisen od vztrajnosti in trdnosti vlad, ki so podpisale sporazum, da projekt izpeljejo do konca. Ne bo dovolj le skrbno načrtovati in podpirati raziskovalce pri reševanju še številnih odprtih tehničnih in tehnoloških problemov, temveč bo potrebno posvetiti vso pozornost tudi pravočasnemu obveščanju javnosti.

Obstaja nevarnost terorističnih napadov na bodoče jedrske fuzijske reaktorje, vendar zaradi tega ne bi smeli oklevati pri implementaciji jedrske fuzije, meni dr. Martinčič. Vsekakor pa bi bil teroristični napad na uranski reaktor precej uspešnejši, kot na fuzijskega, ko bo deloval, še opozarja dr. Strnad.

Hipoteza, ki sem jo postavila na začetku moje diplomske naloge in ki se mi je potrdila, se je glasila:

»Iskanje novih energijskih virov je za nadaljnji razvoj človeštva nujno potrebno. Uspešna realizacija projekta ITER in implementacija jedrske fuzije v gospodarsko prakso bi lahko ne le preprečila energetska krizo in s tem napetosti in grožnje za svetovni mir, temveč bi prinesla priložnosti za nove znanstvene, raziskovalne, razvojne in gospodarske dejavnosti«.

V primeru neuspešne realizacije projekta ITER bi se možnosti za gospodarsko uporabo jedrske fuzije premaknile za nedoločen čas. Velika verjetnost obstaja, da bi se, ob sedanjih energijskih virih, v naslednjih desetletjih trenja in konflikti na področju energije zaostri. Neuspeh projekta ITER bi te konflikte lahko le še stopnjeval, saj bi se vsesplošni občutek ogroženosti zaradi pomanjkanja energije le še povečeval. Ker so med podpisniki sporazuma zelo pomembni proizvajalci in porabniki tako fosilnih energijskih virov kot jedrske fuzijske virov, ni pričakovati, da bi v primeru neuspeha v kratkem času lahko obnovili prizadevanja za uporabo jedrske fuzije v gospodarske namene. V tem primeru obstaja velika verjetnost, da bi se problema lotile podpisnice sporazuma ločeno, kar bi lahko podaljšalo, če že ne ogrozilo razvojna prizadevanja. .

V projekt ITER je sicer vloženo veliko denarja, vendar ne tako zelo veliko, da si ga ena od glavnih držav ne bi mogla privoščiti, če bi to bilo v njenem nacionalnem interesu meni dr. Grlicarev. Projekt ITER namreč sloni na zelo raznolikih interesih energetsko najpomembnejših držav sveta, kar bi lahko vodilo v spore pred njegovim zaključkom. Vendar kot omenja dr. Strnad, do sedaj, med raziskovalci v mednarodnih ustanovah, ni bilo odprtih sporov, so pa ti možni, kot opozarja dr. Martinčič.

Energija in ekologija sta področji, ki zanesljivo terjata globalen pristop in sporazume na multilateralni in globalni ravni, zato so vse individualne akcije dolgoročno obsojene na neuspeh.

V primeru zelo dolgega odlašanja z uvajanjem jedrske fuzije ali ob njenem popolnem neuspehu lahko pričakujemo različne družbene posledice. Poleg političnih zaostrovanj in grožnji miru v mednarodni skupnosti, lahko takšno ravnanje povzroči skokovito povečanje cen energije, nadaljnje izpuste toplogrednih plinov, ki se bodo kljub sporazumom in protokolom povečevali in s tem nevarno ogrožali segrevanje ozračja na planetu, in pa še večje gospodarsko zaostajanje držav v razvoju za razvitimi.

S tem, ko se mi je potrdila hipoteza, da bi kazalo vztrajati na uspešni realizaciji projekta ITER, pa to ne pomeni da bo to enostavna naloga. Poleg prednosti lahko pričakujemo tudi probleme in nevarnosti kot so tehnične in tehnološke težave pri uvajanju fuzijskih reaktorjev, v določenem obsegu nepredvidljive posledice te

tehnologije na okolje, preseženi stroški, glede na načrtovane, odpor nekaterih gospodarskih lobijev in interesnih skupin ter zapiranje podpisnikov projekta ITER v lasten krog in onemogočanje, da bi se k projektu vključil tudi širok krog raziskovalcev in partnerjev iz drugih držav.

V Sloveniji bi kazalo temu projektu posvetiti več pozornosti kot doslej. Ne le zato, ker je tudi naša dolgoročna usoda na področju energije močno odvisna od tega projekta, temveč tudi zato, ker se lahko že sedaj posamezne raziskovalne skupine in gospodarski subjekti vključijo v posameznih segmentih v ta projekt.

Časopisi, televizija in druga sredstva javnega obveščanja pa bi lahko že sedaj pripravila načrt za sprotno spremljanje dosežkov in problemov pri realizaciji projekta ITER.

9. LITERATURA

1. Agencija RS za okolje (2007): *Podnebne spremembe*. Dostopno na <http://hmljn.arso.gov.si/podnebne%20spremembe/> (9. junij 2007).
2. Agencija za radioaktivne odpadke (2007): *Izbor lokacije za odlagališče NSRAO – Kakšno bo odlagališče NSRAO*. Dostopno na http://www.sigov.si/arao/index.php?menu_id=254&lang=sl (10. maj 2007).
3. Conn, Robert (1999): *Reflections on Fusion's History and Implications for Fusion's Future*. San Diego: University of California.
4. Česen, Matjaž (2006): *Poročilo Slovenije o vidnem napredku po členu 3.2 Kjotskega protokola*. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor RS.
5. D'haeseleer, William D. (2003): The importance of fusion development towards a future energy source. *Fusion Engineering and Design* 66–68, 3–15.
6. Dean, Stephen O. (2006): Fusion and Energy Policy. *Journal of Fusion Energy* 25 (1/2), 35–43.
7. E-Delo (16.2.2005): *V veljavi kjotski protokol*. Dostopno na http://www.delo.si/index.php?sv_path=41,396,43599&src=rp (5. april 2007).
8. E-Delo (1.6.2007): *Različni odzivi na Bushevo pobudo o podnebnih spremembah*. Dostopno na http://www.delo.si/index.php?sv_path=41,396,216540 (17. junij 2007).
9. EFDA - European Fusion Development Agreement (2005): *Energy Powering the World*. Nieuwegein: FOM – Institute for Plasma Physics Rijnhuizen.

10. Fokus društvo za sonaraven razvoj (2007): *Obnovljivi viri energije*. Dostopno na <http://www.prihodnostjeobnovljiva.org/> (5. april 2007).
11. Golubchikov, Lev (2005): Interview with Academician E.P. Velikhov. *Journal of Fusion Energy* 24 (1/2), 3–5.
12. ITER (2006): *Short History*. Dostopno na http://www.iter.org/a/index_nav_1.htm (4. junij 2007).
13. ITER (2006): *Physics Basic*. Dostopno na http://www.iter.org/a/index_nav_1.htm (5. junij 2007).
14. Lawson, J.D. (1993): *Fusion Story by J.D. Lawson. Harnessing the Energy of the Stars*. Oxford: European Fusion Network Information.
15. Ledinek, Nina (2004): *Reševanje problema globalnega segrevanja ozračja z mehanizmom globalnega segrevanja ozračja emisij ogljikovega dioksida*. Diplomsko delo. Ljubljana: Fakulteta za družbene vede.
16. Manheimr, Wallace (2006): Can Fusion and Fission Breeding Help Civilization Survive? *Journal of Fusion Energy* 25 (3/4), 121–139.
17. Marcus, Alfred Allen (1992): *Controversial Issues in Energy Policy*. Newbury Park USA: Sage Publications.
18. McCracken, Garry in Peter, Stott (2005): *Fusion – The Energy of the Universe*. London: Elsevier Academic Press.
19. Miller, Ronald L. (2001): Which are the competitors for a fusion power plant? *Fusion Engineering and Design* 49–50, 33–39.

20. Ministrstvo za okolje in prostor, Britansko veleposlaništvo v RS, British Council (2007): *Slovenija znižuje CO2*. Dostopno na <http://www.slovenija-co2.si/> (5. april 2007).
21. Ministrstvo za okolje in prostor (2005): *Ali bomo po vstopu v Evropsko unijo lažje rešili problem shranjevanja jedrskih odpadkov?* Dostopno na <http://evropa.gov.si/evropomocnik/question/279-59/> (6. junij 2007).
22. Nemac, Franko, Mojca, Pipan, Jožef, Pogačnik in Franc, Beravs (2002a): *Voda. Obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Agencija RS za učinkovito rabo energije.
23. Nemac, Franko, Mojca, Pipan, Jožef, Pogačnik in Franc, Beravs (2002b): *Sonce. Obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Agencija RS za učinkovito rabo energije.
24. Nemac, Franko, Mojca, Pipan, Jožef, Pogačnik in Franc, Beravs (2002c): *Veter. Obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Agencija RS za učinkovito rabo energije.
25. Nemac, Franko, Mojca, Pipan, Jožef, Pogačnik in Franc, Beravs (2002d): *Biomasa. Obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Agencija RS za učinkovito rabo energije.
26. Nemac, Franko, Mojca, Pipan, Jožef, Pogačnik in Franc, Beravs (2002e): *Zemlja. Obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Agencija RS za učinkovito rabo energije.
27. Novak, Peter in Sašo, Medved (2000): *Energija in okolje: izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja*. Ljubljana: Svet za varstvo okolja Republike Slovenije.

28. OECD Nuclear Energy Agency (2002): *Nuclear energy and the Kyoto protocol*. Paris: Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.
29. Reay, Dave (2005): *Climate change begins at home: life on the two-way street of global warming*. London: Macmillan.
30. Rožič, Bojana (2006): Korak bliže k uporabi energije Sonca na Zemlji. *Delo*, 22.11., 7.
31. Simončič, Primož (2007): *Kjotski protokol in ponori – danes in po letu 2012. Podnebne spremembe*. Ljubljana: Biotehniška fakulteta.
32. Strnad, Janez (2006): Nadzorovano zlivanje atomskih jeder je še daleč. *Delo*, 5.10., 24.
33. Tokimatsu, Koji, Jun'ichi, Fujino, Satoshi, Konishi, Yuichi, Ogawa in Kenji, Yamaji (2002): Role of nuclear fusion in future energy systems and the environment under future uncertainties. *Energy Policy Vol. 31–8*, 775–797.
34. Vojvodič Tuma, Jelena, Matija, Tuma, Nenad, Gubelj, Dražan, Kozak in Gorazd, Kosec (2005): Energija prihodnosti – jedrska fuzija. *Materiali in tehnologije* 39/6, 230-233.
35. Wikipedia (2007): *Inertial confinement fusion*. Dostopno na http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_confinement_fusion (5. april 2007).
36. World Energy Council (2007): *Energy information*. Dostopno na <http://www.worldenergy.org/wec-geis/edc/default.asp> (2. april 2007).
37. Žumbar, Alenka (2006): *Zmanjševanje emisij toplogrednih plinov*. Dostopno na <http://www.energetika.net/portal/index.html?ctrl:id=page.default.knowledge&ctrl:type=render&ec:det=26125> (9. junij 2007).

PRILOGA A

VPRAŠALNIK

1. Obstoječa jedrska tehnologija

Pred leti in še zlasti po nesreči v Černobilu so se v Evropi močno okrepila družbena gibanja, ki so nasprotovala jedrski energiji. V Avstriji in še v nekaterih državah so prepovedali izgradnjo jedrskih central. Posamezne politične skupine v sosednji Avstriji so večkrat tudi zahtevale od Slovenije, da takoj prične z zapiranjem jedrske elektrarne v Krškem. Na drugi strani pa se Francija nikoli ni odrekla svojim projektom na področju jedrske energije. V zadnjem času pa spet oživljajo ideje o večjem vlaganju v jedrske energetske objekte, predvsem zaradi problematike ogrevanja ozemeljskega ozračja.

- a. Kakšni so resni argumenti za podporo ali nasprotovanju jedrskim reaktorjem za proizvodnjo električne energije?

Igor Grlicarev:

Argumenti za nasprotovanje jedrskim reaktorjem so seveda jedrske nesreče. Zanesljivost objektov, nove tehnologije, ki bodo še bolj varne, cena (investicijski stroški so večji, cena obratovanja pa je nižja), pa so argumenti za podporo.

Resnih argumentov proti ni, razen večjih nesreč. Za vzdrževanje jedrske tehnologije je potrebna določena natančnost, resnost, odgovornost, če država ni tako organizirana, je to lahko problem.

Bi bila pri fuzijskem reaktorjem verjetnost takih nesreč manjša? Sama naprava ni čisto nenevarna, tudi to je namreč ene vrste reaktor. Radioaktivnih izpustov ni za pričakovati. Naprava je zadosti varna, je pa zelo futuristična. Če se pogovarjamo o velikih dosežkih človeštva so bili doseženi v relativno kratkem času, v času manj kot ene generacije. Ta projekt teče že več generacij. Vsi strahovi glede jedrske energije so mala šala v primerjavi s fuzijo, to je navsezadnje Sonce. Z obsoječimi tehnologijami je mačji kašelji fisija. Tehnološki problemi še niso popolnoma odpravljeni.

Janez Strnad:

Tehnika reaktorja, kakršen deluje v Krškem in novejših, je izdelana. Pri delovanju ni izpustov ogljikovega dioksida. Vendar pa tehnika trajnega odlaganja visoko radioaktivnih odpadkov ni do konca preizkušena in ni poceni. Obstaja nevarnost, da bi ob nezgodi radioaktivnost onesnažila okolje.

Del strahu pred sevanjem ni upravičen. Reaktorji na paro pod tlakom, z zadrževalnim hramom, dvema krogoma, ne morejo povzročiti Černobilske nesreče.

Rafael Martinčič:

Če izvzamem problem shranjevanja odpadkov in morebitne hude jedrske nesreče, ta način proizvodnje električne energije verjetno najmanj vpliva na okolje. Je pa tu problem shranjevanja odpadkov ter možnost hude jedrske nesreče.

- b. Ali menite, da prihaja v mednarodni skupnosti do povečane podpore jedrskim reaktorjem, ob domnevnem ogrevanju ozračja zaradi toplogrednih plinov?

Igor Grlicarev:

Jedrska energija v primerjavi z drugimi ne uživa neke silne podpore. Stvar je dosti jasna, niso pa ji dali takšen pomen, kot bi jo lahko. Ni pa več takih nasprotovanj jedrski energiji, kot v preteklosti. Največja nevarnost za okolje so seveda nesreče. Če se dela s pametjo in po predpisih, se lahko izognemo nesrečam. Pri zapiranju central nasprotniki jedrske energije radi poudarjajo problem odlaganja jedrskih odpadkov. Zanimivo pa jih ne motijo dolgoživi kemijski odpadki. Kar se tiče odpadkov, ki nastanejo pri razgradnji, je problem njihovo skladiščenje. Nekatere države skladiščijo tudi na površini (v kovinskih kontejnerjih, sodih). So visokoradioaktivni odpadki, saj imajo žive izotope. Na človeka pride okoli pest teh odpadkov na življenje.

Janez Strnad:

Delno da, tudi zato, ker so z drugimi izviri energije težave, energija obnovljivih izvirov pa ima večinoma majhno gostoto.

Rafael Martinčič:

Sam vidim dva razloga (pa verjetno nista edina): ogrevanje ozračja in povečana neodvisnost od nafte, plina in premoga

- c. Kakšno je vaše stališče do prihodnje širitve jedrskih reaktorjev na principu fisije za proizvodnjo električne energije?

Igor Grlicarev:

Glede na to, da sem iz te stroke, zadržkov nimam. Dejstvo je, da ravno pretirane širitve ni v planu. Konec koncev gre za jedrske materiale, ki so pod nadzorom, zato zmeraj obstaja sum oziroma dvom, da bi to kdo utegnil to zlorabiti in iz tega naredil jedrsko orožje. Ta tehnologija prav za zelo široko uporabo ni. Dejstvo je, da morajo biti elektrarne čim večje, zato ne pridejo v poštev lokalni manjši reaktorji. Želje so bile in načrti, da bi razširili število jedrskih reaktorjev, pa tega niso realizirali. Veliko držav se želi vključiti v krog jedrskih držav (Nemčija, Indonezija). Široke ekspanzije zaenkrat še ni videti. Določene države (Španija, Nemčija, Švedska) pa so še zelo zadržane, kljub temu da imajo jedrski program in jedrsko energijo, novih elektrarn še ne načrtujejo.

Janez Strnad:

Zadeva ne sodi toliko v fiziko kot v politiko. Skrajna stališča (na primer avstrijsko) se ne zdijo plodna, razmere se spreminjajo, tudi s časom. Državljeni naj se sami ali prek izvoljenih zastopnikov demokratično odločijo, ali za reaktorje ali proti njim. Težava je v tem, da jih je težko objektivno poučiti o prednostih in slabostih. Do katere mere naj bo država glede energije neodvisna? Kolikšna je cena energentov na svetovnem trgu, saj jih moramo veliko uvoziti?

Rafael Martinčič:

Fisija za proizvodnjo energije je začasna resitev; naslednji korak je fuzija nato pa...kdo ve.

- d. Ali podpirate zamisli nekaterih politikov v Sloveniji, da bi kazalo investirati še v nov blok jedrskega reaktorja v Krškem?

Igor Grlicarev:

To je politična odločitev. S samo investicijo ni problem, temveč v jedrski energetiki ni kadrov za še eno elektrarno. Kadre je potrebno še vzgojiti in povečati kadrovski potencial. Pri nas 20% energije zagotavlja jedrska, fosilna energija pa malo več kot 40%, potem pa cela vrsta obnovljivih virov.

Janez Strnad:

Potem, ko bi do skrajnosti varčevali z energijo in če bi se pokazalo, da ni drugih boljših možnosti, bi se odločil za da ("boljše jedrska elektrika kot tema").

Rafael Martinčič:

Da, zmanjšati moramo odvisnost od nafte, plina in premoga in prispevati k zmanjšanju onesnaženosti ozračja (nisem popolnoma prepričan, da se ozračje res dolgoročno segreva, vendar pa sem trdno prepričan, da kakršno koli onesnaževanje ozračja ni koristno).

2. Jedrska fuzija

24. maja 2006 so predstavniki Evropske Unije, ZDA, Rusije, Indije, Kitajske, Japonske in Južne Koreje v Bruslju podpisali sporazum o skupnem raziskovalnem projektu ITER- International Thermonuclear Experimental Reactor. Tehnologija nuklearne fuzije obeta razrešitev nekaterih okoljskih problemov, ki jih povzročata fisija, npr. razrešitev problema jedrskih odpadkov. Projekt lahko odpre nove priložnosti za človeštvo na področju reševanja zaostrenih energetskih in ekoloških problemov, lahko propade zaradi zapletenih tehnoloških, tehničnih pogojev ter velikih stroškov, lahko pa prinese nove še neodkrite nevarnosti za okolje in človeka.

- a. Menite, da je znanost v že zadovoljivi meri rešila tehnične probleme, ki so povezani z jedrsko fuzijo in ali ni morda prezrla nevarnosti, ki so skrite v tej tehnologiji?

Igor Grlicarev:

Tehnološki problemi so še kar daleč od rešitve. Kako dolgo zadržati plazmo skupaj, da deluje? Čas zadržanja se zaenkrat meri še v sekundah. O tem, koliko pa je od sekunde do stalnega zadrževanja, pa se kaže zamisliti.

Janez Strnad:

S teoretične strani je zamisel dokaj dozorela, s tehniške pa še niso rešena vsa vprašanja, na primer, dolgotrajno zadrževanje plazme (redkega plina jeter vodika in elektronov), dobivanje elektrike z magnetohidrodinamičnim generatorjem (naravnost s plazmo, brez turbine in generatorja z žicami). Pri fuzijskem reaktorju ni radioaktivnih razcepkov (srednjetežkih jeter, na dve taki se razcepi jedro urana), ki so glavna težava pri uranskem reaktorju. Pri obeh pa postanejo radioaktivni deli naprav, ker jih obsevajo nevtroni. Mislim, da so za zdaj bolj v ospredju tehniške težave kot varnostne.

Rafael Martinčič:

Ne še; če bi, potem bi imeli že delujoče fuzijske 'reaktorje'. Ne poznam, ne spremljam področja tako podrobno, da bi lahko sodil ali so prezrte nekatere nevarnosti.

- b. Ali obstaja nevarnost, da bi naftni in drugi energetski lobiji, ob eventuelnem uspehu eksperimentalnega jedrskega fuzijskega reaktorja, pričeli ovirati njegovo implementacijo?

Igor Grlicarev:

Naftni lobiji se s tem ne ukvarjajo, ker se zdi ta projekt še zelo oddaljen. Vsak ve, da so tisti, ki sedaj držijo nitke v rokah prepričani, da se za časa njihovega življenja ne bo nič hujšega zgodilo glede tega projekta. Če se bo pa kaj zgodilo, bodo morali za to skrbeti njihovi nasledniki. Ta stvar je preprosto preveč dolgoročna. Kdo jim še verjame. Če pogledamo kakšne so bile napovedi pred 20. leti za danes, so kljub vsej pameti in znanju, bolj slabe. Jasnovidstvo pa pri tehnologiji odpove in je proti zdravi pameti. Tudi jasnovidstvo slabo napove. Tako da, če se vpraša mene, naftnih lobijev to prav nič ne skrbi. Če to preberejo v časopisu, je to samo ena od novic.

Janez Strnad:

Da, a tudi drugi, na primer nepoučeni del civilne družbe.

Rafael Martinčič:

O tem nimam argumentiranega mnenja. Če tudi jo bodo morda poskušali, implementacije ne morejo preprečiti. V skrajnem primeru jo morda lahko samo upočasnijo.

- c. Ker sporazum o financiranju projekta ITER sloni na zelo raznolikih interesih najbolj odločilnih držav sveta na področju energetike, morda lahko pričakujemo pred njegovim zaključkom spore med podpisniki sporazuma?

Igor Grlicarev:

Za ta projekt gre res zelo veliko denarja, vendar ne tako veliko, da si ga ena od teh glavnih držav ne bi mogla privoščiti (npr. ZDA). Če bi bilo eni od teh držav zares v nacionalnem interesu menim, da bi lahko nekaj dosegla, če bi denar vložila in bi tekla v okviru ene države. Projekt je koristen in ima svoje pozitivne lastnosti, države so izkazale interes. Če kakšna od teh manjših držav odstopi, to ne bo imelo nekega silnega vpliva na projekt. Če pa se bodo začele kolobocije med vsemi državami, pa bo to seveda vplivalo na projekt. Evropski uniji je ta projekt v interesu in bi sigurno našla način, da bo stvar tekla, četudi z počasnejšim tempom. Francija je zelo zainteresirana za določene projekte, tudi fizijske, in lahko marsikaj izpelje. Če pa se stroški porazdelijo je ponavadi vse lažje.

Janez Strnad:

Med raziskovalci v mednarodnih ustanovah doslej ni bilo odprtih sporov.

Rafael Martinčič:

Spori so vedno mogoči, posebno, če projekt ni uspešen.

- d. Ob novih tehnologijah se praviloma pojavijo tudi družbena gibanja, ki nasprotujejo uvajanju novosti. Ali obstaja nevarnost, da bodo ta družbena gibanja skupaj z gospodarskimi interesi ponudnikov klasičnih energetskega virov in tehnologij, preprečila jedrsko fuzijo?

Igor Grlicarev:

Teh gibanj se toliko ne dotika ob poplavi vseh teh informacij, glede na to, da živimo v komunikacijski družbi. Mislim, da ljudi to ne skrbi. Nobenega to kaj dosti ne zanima. Je dosti drugih bolj prikladnih, tekočih zadev, zaradi katerih se ljudje organizirajo. Ta gibanja rabijo samo neko orodje, fuzija za njih niti ne obstaja. Iščejo taka področja, npr. klimatske spremembe, da pokažejo zaskrbljenost ljudi. Če pa jim rečejo, da bo fuzijski reaktor to odpravil, pa si verjetno želijo videti enega, pa ga ni za pokazat. Bomo videli, če bo tiste v pleninah ta projekt navdušil. Če bo ta projekt realiziran bo to vseeno nekaj veličastnega. Problem je v tehnologiji.

Janez Strnad:

Ta nevarnost se zdi manjša, najbrž je mogoče dopovedati aktivistom, da so fuzijski reaktorji manj nevarni.

Rafael Martinčič:

V zgodovini še nihče ni uspel preprečiti napredka/razvoja – morda ga je zavrl za nekaj časa, ne pa preprečil.

- e. Jedrski fuzijski reaktorji bodo v primeru uspešne implementacije, domnevno, že zaradi zahtevnih tehničnih in tehnoloških pogojev, veliki centralizirani objekti. Bo obstajala nevarnost terorističnih napadov na bodoče jedrske fuzijske reaktorje?

Igor Grlicarev:

Ja seveda bo, kot tudi na vse ostale reaktorje.

Janez Strnad:

Teroristični napad na uranski reaktor bi bil precej uspešnejši, kot na fuzijskega, ko bo deloval.

Rafael Martinčič:

Ta nevarnost bo vedno obstajala ne glede na vrsto objekta – fanaticnost ne pozna mej (saj prav zato je fanaticnost) – vendar zaradi te nevarnosti ne bi smeli oklevati pri implementaciji jedrske fuzije.