

ITER – NAJVEĆI MEĐUNARODNI ZNANSTVENI PROJEKT DANAŠNJICE

# U Francuskoj se gradi najveći fuzijski reaktor na svijetu

PRIPREMILA:  
Anđela Bogdan

Na projektu zajednički surađuju Europska unija, Kina, Japan, Južna Koreja, Indija, Rusija i Sjedinjene Američke Države ujedinjene u namjeri da na Zemlji stvore "minisunce", odnosno da proizvodnjom energije pomoću fuzije riješe energetske probleme našeg planeta

## Uvodne napomene

ITER (engl. *International Thermonuclear Experimental Reactor*) najveći je međunarodni istraživački i inženjerski projekt iz područja nuklearne fuzije, čija je gradnja trenutačno u tijeku. Kada se dovrši, bit će to najveći i najnapredniji eksperimentalni nuklearni fuzijski reaktor na svijetu.

Prema sadašnjim procjenama, u projekt se ulaže približno 15 milijardi eura, a zajednički ga financiraju EU, Kina, Japan, Južna Koreja, Indija, Rusija i SAD. Te politički često suprotstavljene zemlje ujedinjene su u zajedničkoj namjeri da na Zemlji stvore "minisunce", odnosno da proizvodnjom energije pomoću fuzije riješe energetske probleme našeg planeta. Cilj je ITER-a proizvodnja tzv. samogoruće plazme koja grije samu sebe energijom fuzijskih reakcija, oponašajući pritom način na koji Sunce proizvodi energiju.

Cilj je ITER-a proizvodnja tzv. samogoruće plazme koja grije samu sebe energijom fuzijskih reakcija, oponašajući pritom način na koji Sunce proizvodi energiju

ITER bi trebao potvrditi izvedivost kontrolirane nuklearne fuzije i omogućiti razvoj tehnologije za izgradnju komercijalnih fuzijskih elektrana.

Naime, termonuklearna fuzija jest proces spajanja lakih jezgara izotopa vodika u težu jezgru helija uz oslobađanje toplinske energije. Zbog mogućnosti postiza-

nja fuzije i samogoruće plazme u ITER-u se želi postići temperatura od čak 150 milijuna °C, što je 10 puta veća temperatura od one u središtu Sunca, dok će volumen plina zahvaćenog fuzijom biti osam puta veći od onoga u sadašnjim najvećim fuzijskim reaktorima u svijetu. Dakle, cilj nije napraviti bombu, niti plazma može eksplodirati kao što se to može dogoditi u klasičnoj nuklearnoj elektrani u procesu fuzije. U procesu fuzije ne koristi se kruta tvar, nego razrijeđeni plin. Fuzijskim istraživačkim programima želi se postići kontrolirana fuzijska reakcija na Zemlji koja bi davala energiju. Projektirana ulazna snaga ITER-ova reaktora iznosi 50 MW, dok će izlazna snaga iznositi čak 500 MW, što bi značilo da će reaktor proizvesti 10 puta više energije nego što je potroši.

Ideja o tome megaprojektu rodila se davne 1985. kada su se u Ženevi sastali

sovjetski predsjednik Mihail Gorbačov i američki predsjednik Ronald Reagan te potpisali sporazum o gradnji zajedničkoga fuzijskog reaktora. Sporazum su podržali i britanska premijerka Margaret Thatcher, francuski predsjednik François Mitterrand te japanski premijer, a kao jedna od mogućih lokacija spominjao se prostor na području tadašnje Jugoslavije. Kasnije se pregovaralo o tome da bi reaktor bio izgrađen u francuskoj Cadaracheu ili u japanskoj selu Rokkasho. Kada su 2005. konačno bili dovršeni nacrti budućeg reaktora, odlučeno je da će se ipak graditi u Francuskoj, a za glavnog direktora ITER-a tada je izabran Japanac Kaname Ikeda.

## Najveće gradilište u Francuskoj

Mjesto Cadarache, u kojemu se gradi ITER, nalazi se 60-ak kilometara sjeveroistočno od Marseillea. Zanimljivost toga područja jest ta što se u neposrednoj blizini gradilišta nalaze stari dvorci koji su nekada bili sjedišta poznatih francuskih aristokratskih obitelji. Nedaleko od Cadarachea nalazi se dvorac Mirabeau, u kojemu je navodno živio slavni grof



Položaj ITER-a na zemljovidu

Honoré-Gabriel Riqueti de Mirabeau, govornik i političar iz doba prosvjetiteljstva i Francuske revolucije, jedan od autora *Deklaracije o pravima čovjeka i građanina*. Nedaleko od Cadarachea jest i znameniti dvorac Vauvenargues, koji je, prema nekim navodima, posjedovao slavni Pablo Picasso.

Golemo gradilište prostire se na približno 180 hektara zemljišta u neposrednoj blizini znanstvenoga istraživačkog centra *Cadarache*, specijaliziranog za istraživanje nuklearne energije, koji je francuski predsjednik Charles de Gaulle svečano otvorio 1959.

Golemo gradilište prostire se na približno 180 hektara zemljišta u neposrednoj blizini znanstvenoga istraživačkog centra *Cadarache*, specijaliziranog za istraživanje nuklearne energije, koji je francuski predsjednik Charles de Gaulle svečano otvorio 1959. Na platformi, čije je veličina približna onoj 60 nogometnih igrališta, niču znanstvene zgrade i objekti čija je izgradnja započela 2013. Francuski konzorcij što ga čine tvrtke *VINCI Construction Grands Projects*, *Dodin Campenon Bernard*, *VINCI Construction France*, *Ferrovial Agro-*

*man i Razel-Bec* je s agencijom *Fuzija za energiju* potpisao ugovor o gradnji ITER-a vrijedan 300 milijuna eura. Europska unija u projekt ulaže 46 posto potrebnih sredstava, dok ostale članice ulažu po devet posto.

Agencija *Fuzija za energiju* (*Fusion for Energy*) osnovana je 27. ožujka 2007. kako bi upravljala europskim doprinosom ITER-u, a sjedište joj je u Barceloni. Jedna od glavnih zadaća te agencije jest suradnja s europskim organizacijama u području građevinarstva, industrije i znanstvenih istraživanja kako bi se uspješno proveo taj megaprojekt.

Hrvatska, zahvaljujući članstvu u Europskoj zajednici za atomsku energiju (Euratom), također sudjeluje u provedbi toga najzahtjevnijeg energetskeg eksperimenta današnjice.

U velikoj međunarodnoj konkurenciji konzultanata hrvatska tvrtka *Primakon* potpisala je čak dva ugovora o suradnji. Prvi ugovor odnosi se na savjetovanje i podršku projektnog tima u planiranju, dok se drugi ugovor odnosi na suradnju kao konzultanta na projektu. Rad na fuzijskoj elektrani od velike je važnosti za energetske budućnost ne samo Europe, već i cijeloga svijeta, jer fuzijske elektrane omogućuju sigurniju i čistiju proizvodnju uz vrlo dostupno gorivo, s minimalnom količinom radijacije.

Dovršetak gradnje tog megaprojekta predviđen je krajem 2022., postizanje samogoruće fuzijske plazme u reaktoru predviđeno je polovinom 2027. godine, a prva bi fuzijska elektrana nazvana *DEMO* trebala biti dovršena do 2035.

Dovršetak gradnje tog megaprojekta predviđen je krajem 2022. Postizanje samogoruće fuzijske plazme u reaktoru predviđeno je početkom 2026. godine, dok bi prva fuzijska elektrana nazvana *DEMO* trebala biti dovršena do 2035. Na gradilištu ITER-a trenutačno je zaposleno 5000 radnika, a kada se dovrši, zapošljavat će više od 6000 ljudi.

### Najsloženiji uređaj u povijesti civilizacije

Nuklearni centar ITER sastojat će se od 39 zgrada i tehničkih jedinica. Središnji dio budućega najvećeg nuklearnog reaktora na svijetu jest uređaj tokamak, čiji naziv potječe od ruskog akronima koji zapravo znači "prstenasta komora s magnetnim zavojnicama".

Nuklearni centar ITER sastojat će se od 39 zgrada i tehničkih jedinica, središnji dio budućega najvećeg nuklearnog reaktora na svijetu jest uređaj tokamak

Tokamak jest uređaj za proizvodnju magnetnog polja za razgraničavanje plazme. To je jedan od najviše istraživanih uređaja za proizvodnju kontrolirane fuzijske energije na svijetu.

Prvi tokamak izumljen je u Rusiji 1956. U novije se vrijeme uređaji takvog tipa nazivaju zajedničkim nazivom "fuzijski reaktori". Danas ih je 26 u pogonu, a grade se u Japanu, Rusiji, SAD-u, Kini, Češkoj, Kanadi i Iranu. U Europi je trenutačno najveći *Joint European Tokamak JET* u Engleskoj, ali kada bude dovršen,



Predstavnici ITER-a iz Francuske i drugih zemalja članica tijekom sastanka u Barceloni



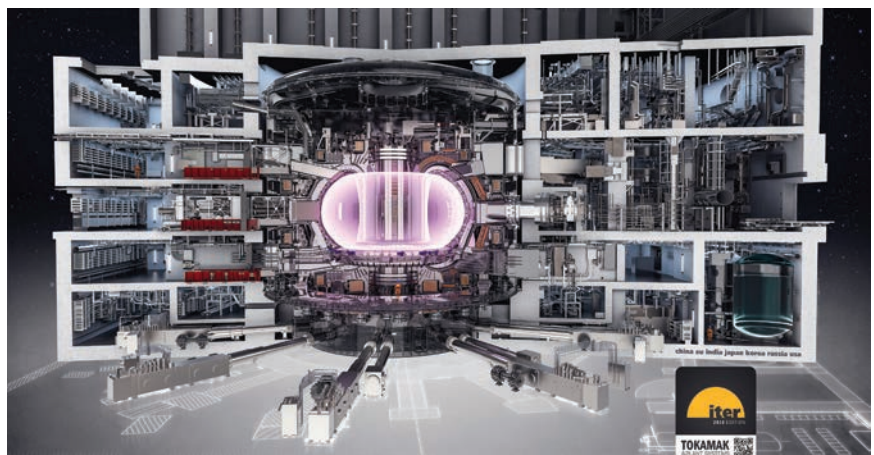
Sadašnji izgled gradilišta

tokamak ITER zauzet će prvo mjesto po veličini. U usporedbi s njim, kako se navodi na službenim mrežnim stranicama projekta, *space shuttle*, nuklearna podmornica ili nosač zrakoplova čine se relativno jednostavnim objektima.

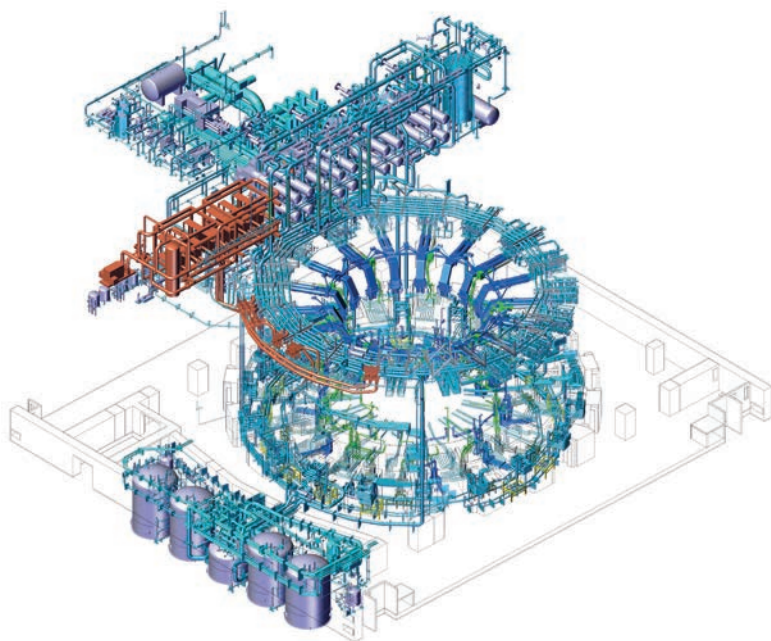
Tokamak sadrži reaktivnu plazmu koja se spiralno omotava oko reaktora. Budući da je potreban velik broj reakcija u sekundi da bi reakcija u tokamaku bila održana, neutroni visoke energije oslobađaju se u većim količinama. Ti neutroni više nisu zadržani u toku plazme toridalnim magnetima te se mogu nastaviti gibati sve dok se ne zaustave na stijenci tokamaka. To je velika prednost tokamakova reaktora jer su to neutroni vrlo visoke energije koji omogućuju jednostavnu odvodnju topline iz protoka plazme. Unutarnja stijenka tokamaka mora se stalno hladiti jer su ti neutroni izloženi vrlo visokim temperaturama te bi mogli rastopiti stijenkku reaktora. Za hlađenje stijenske uglavnom se koriste tekući helij i tekući dušik. Keramičke

ploče, koje su posebno dizajnirane kako bi mogle podnijeti visoke temperature, postavljene su s unutarnje strane stijenske reaktora kako bi zaštitile magnet i reaktor. U fuzijskome reaktoru jest plazma, slična onoj u električnome luku kod zavarivanja, ali puno vrelija. Ona se drži u sredini prstenaste cijevi pomoću jakih, supravodljivih magneta.

ITER-ov tokamak bit će visok 28 metara i imat će promjer 29 metara, a debljina temeljnih ploča iznositi će 1,5 m. Izvest će se kao armiranobetska konstrukcija sa sedam katova, s time da je 13 metara konstrukcije ukopano ispod razine tla. Cijela ta konstrukcija bit će teška 44.000 tona, što je dvostruko više od mase Eiffelova tornja u Parizu. Glavni izazovi



Tokamak ITER jedan je od najsloženijih uređaja koji su ikada projektirani



3D model sustava za rashlađivanje vode u tokamaku

s kojima se susreću inženjeri nisu bezopasni. Naime, u reaktoru ih očekuju stvaranja jakih magneta, zadržavanje plazme dovoljne gustoće, visoki vakuum i ekstremno niske temperature te složeno daljinsko upravljanje cijelim sustavom.

Kada bude završen, ITER će sadržavati 10 milijuna različitih dijelova, što ga zasigurno čini najsloženijim uređajem u povijesti čovječanstva. Svakako je golem izazov postaviti i uskladiti te komponente koje se proizvode u različitim postroje-

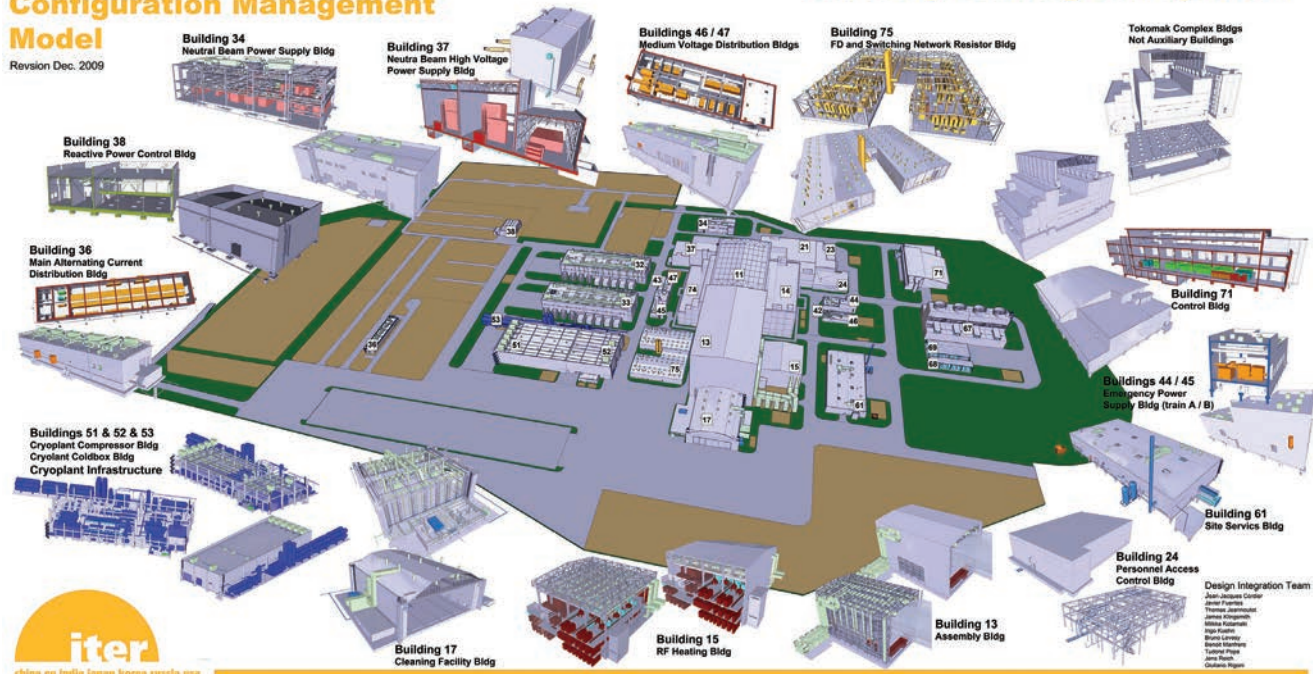
njima diljem svijeta, a potom će se transportirati na gradilište. Sve to čini ITER najvažnijim znanstvenim pothvatom u 21. stoljeću.

Pomoćne zgrade koje su potrebne za funkcioniranje toga golemog sustava gradit će se u blizini tokamaka, a u njima će se nalaziti rashladni uređaji, električne instalacije, kontrolna soba te prostorije za sigurno skladištenje otpada. Zemljani radovi na gradilištu započeli su početkom 2014., nakon čega su započeli radovi na montaži elemenata. Da bi se prostor pripremio za tokamak i ostale pomoćne građevine na gradilištu, iskopano je čak 2,5 milijuna kubnih metara zemlje. Za potrebe montaže elemenata konstrukcije tokamaka u lipnju 2016. na gradilište su postavljene dvije goleme dizalice, koje podižu montažne elemente mase do 1500 tona.

Za potrebe izgradnje magnetnih zavojnica u ITER-ovu tokamaku inženjeri su morali osigurati čak 100.000 kilometara supravodiča od legura niobij-kositra, materijala koji može izdržati visoka magnetna polja, čija je duljina dovoljna da se cijela planeta omota dva puta. Proizvodnja su-

## ITER Organization Configuration Management Model

Revision Dec. 2009



Pomoćne zgrade i sustavi ITER-a



Gradilište nakon završetka pripremnih zemljanih radova

pravodiča za ITER trajala je od 2009. do 2014., a proizvodili su se u tvornicama u Kini, Europi, Japanu, Koreji, Rusiji i SAD-u. Zanimljiv je podatak da je godišnja proizvodnja materijala za te vodiče u spomenutom razdoblju iznosila 150 tona na godinu, čime je znatno povećan ukupan opseg svjetske proizvodnje tog materijala (prije izgradnje ITER-a opseg godišnje proizvodnje iznosio je samo 15 tona godišnje).

Za potrebe izgradnje magnetnih zavojnica u ITER-ovu tokamaku inženjeri su morali osigurati čak 100.000 kilometara supravodiča od legura niobij-kositra, materijala koji može izdržati visoka magnetna polja, čija je duljina dovoljna da se cijela planeta omota dva puta

ITER će imati i poseban sustav za dijagnostiku kako bi se provela mjerenja potrebna za kontrolu, procjenu i optimizaciju radnih svojstava plazme. Taj se sustav sastoji od približno 50 pojedinačnih mjernih podsustava koji koriste niz suvremenih modernih dijagnostičkih tehnika plazme, uključujući lasere, X-zrake, neutronske kamere, monitore

za nečistoće, spektrometre za čestice, detektore slaboga elektromagnetnog zračenja, uređaje za analizu tlaka i plina te optička vlakna. Uređaji će raditi u vrlo nepovoljnim uvjetima unutar vakuumske komore te će morati imati visoku točnost i preciznost.

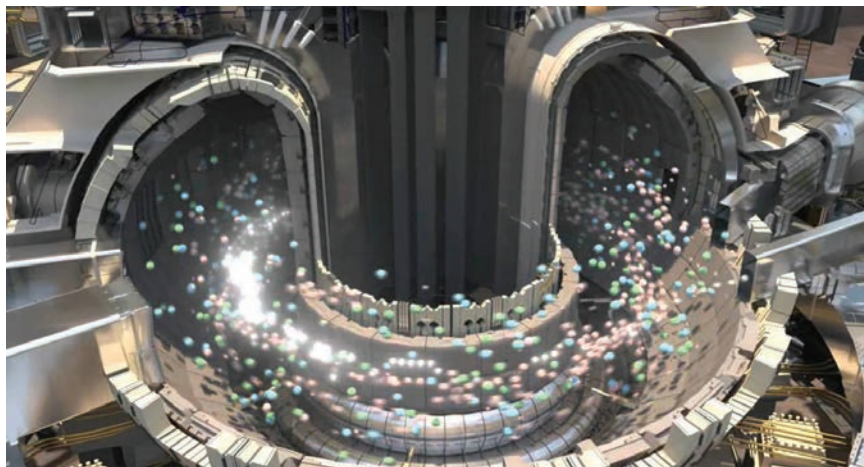
Dok je s jedne strane ITER fascinantna primjer međunarodne znanstveno-tehnološke suradnje, u stvarnosti se taj megaprojekt suočava s cijelim nizom problema. Neučinkovita administracija, slab menadžment i neprihvatljivo spor napredak na projektu, zbog čega su troškovi gradnje ITER-a s pet milijardi eura, koliko je bilo planirano 2005., povećani na 13 milijardi eura, samo su neke od kritika navedenih u izvješčaju ITER-ova Nadzornog odbora objavlj-



Pomoćna zgrada u kojoj će se instalirati rashladni uređaji



Detalj s gradilišta ITER-a



Vizualizacija nuklearne fuzije u tokamaku

nog u veljači 2016. Zbog toga je u Upravi ITER-a došlo je do smjene odgovornih pa je u ožujku 2016. novim glavnim direktorom imenovan dr. sc. Bernard Bigot, koji je prije toga bio zaposlen kao direktor francuske Agencije za atomsku energiju (CEA) koja zapošljava približno 16.000 ljudi.

### Prednost fuzijskih reaktora

Trenutačno 35 država svijeta, uključujući sve članice Europske unije, sudjeluje u izgradnji ITER-a, prototipa elektrane na nuklearnu fuziju. ITER bi trebao nadmašiti trenutačna tehnološka ograničenja te otvoriti put prema sigurnoj, čistoj energiji u velikim količinama. Najvjerojatnije je to da će energija nuklearne fuzije, ako je uopće i bude, biti znatno "čišća" od one koja se proizvodi u procesu nuklearne fuzije.

**Trenutačno 35 država svijeta, uključujući sve članice Europske unije, sudjeluje u izgradnji ITER-a, prototipa elektrane na nuklearnu fuziju**

Inženjeri koji rade na projektu tvrde da, za razliku od "klasične" nuklearke, kod ITER-a nema problema s potrošenim nuklearnim gorivom koje treba čuvati 10.000 godina. Prekine li se dotok tricija ili se poremeti tok plazme, fuzija presta-

što je malo vjerojatno, četiri kilograma deuterija i tricija spojilo bi se s kisikom iz zraka i stvorilo oko 20 litara vode u obliku pare, odnosno ništa strašno za okoliš i zdravlje ljudi.

**Prednost je fuzijskog reaktora da je za njegov rad potrebno gorivo čije su rezerve u prirodi praktično neiscrpne, prva je komponenta deuterij, a druga tricij**

Osim toga fuzijski reaktor nikada ne bi mogao uzrokovati nesreću kao onu u

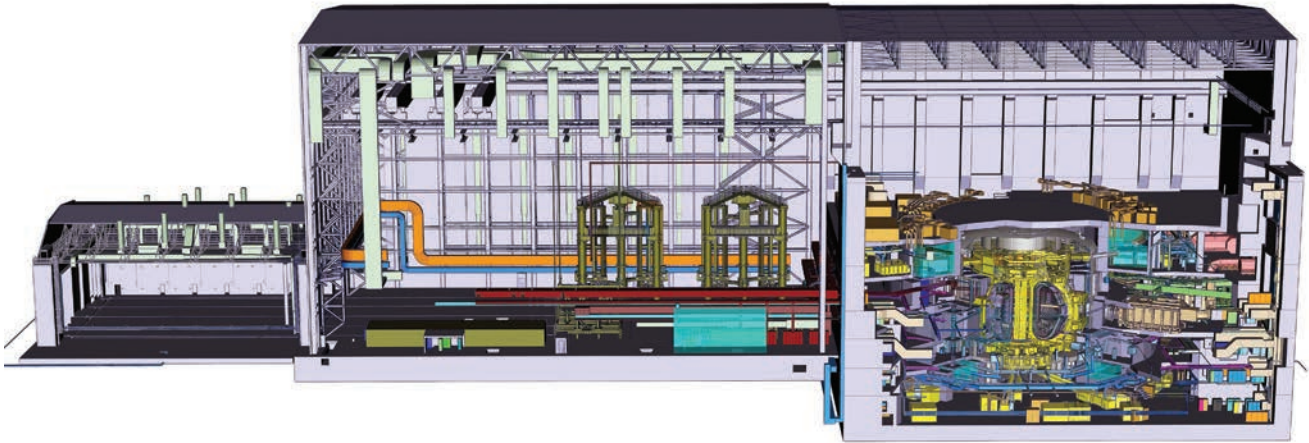


Gradilište tokamaka

je, a taj proces stručnjaci laički uspoređuju s dotokom plina u štednjaku koji se nalazi u svakome domaćinstvu. Ako nestane plina, nema ni šanse da se dogodi eksplozija. Osnovni nusproizvod nuklearne fuzije jest helij, inertni plin potpuno neškodljiv za ekosustav koji ne doprinosi globalnome zagrijavanju kao ugljični dioksid iz termoelektrana. No jedan od problema mogao bi biti radioaktivni tricij, ali njegova je očekivana količina mala, a vrijeme poluraspada kratko (12 godina). Stručnjaci tvrde da u slučaju da plazma tricija ipak progori stijenku tokamaka,

Černobilu 1986. jer se radi s malim količinama nuklearnog goriva dovoljnima tek za nekoliko minuta rada (fizijski reaktori u sebi imaju goriva za višemjesečni kontinuirani rad).

Fuzijski reaktor ima još jednu prednost: za njegov rad potrebno je gorivo čije su rezerve u prirodi praktično neiscrpne. Prva je komponenta deuterij, izotop vodika prisutan u vodi, a druga tricij koji se može proizvesti iz litija, u izobilju prisutnog u Zemljinoj kori. Za razliku od fizijskih reaktora koji kao gorivo koriste skupi i rijetki uranij i njegove derivate, fuzijski reaktori



Presjek zgrade u kojoj će se provoditi nuklearna fuzija

koriste neuporedivo pristupačnije i manje opasno gorivo. Međutim, problem radijacije postoji i kod fuzijskih elektrana, ali u daleko manjoj mjeri. Procjenjuje se da će nakon stotinu godina postoperativnoga radioaktivnog raspada cjelokupni opasni otpad ITER-a, težak oko 6000 tona, stati u kocku dijagonale svega deset metara. Prednost je fuzijskih reaktora ta što oni neće poslužiti kao sredstvo za proizvodnju oružja masovnog uništenja, što je s fizijskim reaktorima sasvim moguće. Time korištenje fuzije ne bi potaknulo daljnju ekspanziju nuklearnog naoružavanja.

### Umjesto zaključka

Iako sve navedeno u teoriji zvuči izvrsno, ipak se postavlja pitanje treba li nam još jedna nuklearna tehnologija za proizvodnju energije s obzirom na brojne (ponajprije ekološke) probleme i poneku katastrofu (poput one u Černobilu 1986.) koje smo imali s fizijskim reaktorima.

Mišljenja su podijeljena. Na jednoj su strani članice ITER-a koje su i do sada velik dio električne energije proizvodile u nuklearnim elektranama (Francuska i do 70 posto), a na drugoj države (među njima i Hrvatska) koje su, reagirajući pomalo autistično i neshvaćajući globalnu prirodu problema, unaprijed zabranile gradnju nuklearnih postrojenja, odlučujući se za ostale, ni izbliza tako izdašne izvore energije.

Treba dakle pričekati 2035. da bismo se uvjerali u to je li to taj koncept po kojemu

će se ubuduće graditi fuzijske elektrane svugdje u svijetu ili možda nije. Neki smatraju da taj koncept dolazi prekasno te da nas fuzija neće spasiti od klimatskih promjena. Što je onda rješenje? Možda se iz svega navednoga može zaključiti to da je trenutno jedino održivo rješenje raspolagati onime što imamo, i to u neograničenim količinama – Sunčevom energijom

i energijom vjetrova koja je izravni rezultat Sunčeva "grijanja" našega planeta.

### Izvori:

<https://www.iter.org/construction/construction>

<http://fusionforenergy.europa.eu/understandingfusion/iter.aspx>



Pogled noću na gradilište