

EVROPSKI SONČNI CENTER FONT ROMEU

Alenka Vesel, Aleksander Drenik, Miran Mozetič

Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana

STROKOVNI ČLANEK

POVZETEK

V tem prispevku je kratko opisano največje evropsko središče za raziskave vedenja materialov pri obsevanju s koncentrirano sončno svetlobo. Sistem za zbiranje sončne svetlobe lahko koncentrira do 1 MW sončne moči na razmeroma majhno površino, tako da je gostota sproščene moči na enoto ploščine več kot 10 MW/m². Tovrstna naprava zagotavlja ogrevanje vzorcev do ekstremno visokih temperatur, odvisno od snovnih lastnosti obdelovanca. Poleg te močnostne naprave razpolaga središče z več manjšimi sistemi, ki so specializirani za specifične namene. Mnogi koncentrirajo sončno svetlobo v vakuumске posode, v katerih je mogoče obdelovati specifične materiale pri ekstremnih razmerah.

Ključne besede: sončni reaktor, koncentrirana sončna svetloba, MW, plazma, visokotemperaturno gretje vzorcev

European solar facilities Font Romeu

ABSTRACT

A brief description of the largest European solar facility is presented. Concentrated solar radiation is predominantly used for treatment of solid materials. The optical system is capable of concentrating up to 1 MW of solar power to a rather small surface, so the released power per unit area exceeds 10 MW/m². Such a solar furnace allows for rapid heating of large materials to extremely high temperature. The temperature depends on properties of particular materials. Apart from the main furnace, the solar facilities include several smaller systems specialized for particular treatments. Many are equipped with vacuum chambers so that the processing of materials by concentrated solar radiation takes place under vacuum or controlled atmosphere.

Keywords: solar reactor, concentrated solar radiation, MW, plasma, high-temperature heating of samples

1 UVOD

Sodobna civilizacija potrebuje vedno več energije. Sedaj so največji vir energije fosilna goriva, biomasa, jedrska energija ter energija vode in vetra. Potrebe po energiji stalno naraščajo, obenem pa zaloge najpomembnejšega energijskega vira – to so fosilna goriva, počasi upadajo. Človeštvo se zaveda omejenosti zalog aktualnih energijskih virov in pospešeno išče alternativne vire.

Največ si obetamo od jedrske fuzije, ki je vir energije za ogrevanje, podobno kot je to na Soncu in drugih zvezdah. Žal so raziskave jedrske fuzije izredno zahtevne in le počasi napredujejo, zaradi česar si masovne proizvodnje energije iz tega vira ne moremo obetati pred letom 2070. Dotelej si moramo pomagati z drugimi viri energije. Notranost Sonca je po sedanjih ocenah ogreta do temperature okoli 10 milijonov K, kar omogoča popolno ionizacijo vodikovih atomov in zlivanje vodika v težje elemente. Tako sproščena energija ogreva zunanje plasti Sonca. Kot vsako drugo telo, ki je ogreto do visoke tempera-

ture, tudi Sonce seva elektromagnetno valovanje. Ker je temperatura površine Sonca zgolj okoli 5800 K, je večji del sproščene energije na področju vidne svetlobe.

Gostota energijskega toka, ki je na površini Sonca ogromna, pada z oddaljenostjo od Sonca, tako da je na razdalji, kjer je naša Zemlja, le še 1 kW/m². Če upoštevamo prerez naše Zemlje, ki je približno 4 · 10¹³ m², dobimo za energijo, ki jo prejme naša Zemlja v časovni enoti, vrednost $P = A \cdot E = 4 \cdot 10^{17}$ W. Pri tem je A presek Zemlje ($A = \pi r^2$), E pa je energija, ki pade na kvadratni meter površine pri razdalji, ki je enaka tisti med Zemljo in Soncem. Ocenjene sedanje potrebe prebivalstva na Zemlji so okoli 3 · 10¹⁰ W. Naše Sonce nam torej zagotavlja vsaj milijonkrat več energije, kot jo človeštvo potrebuje. Sonce je torej neizčrpen vir energije.

Razlog, zakaj se človeštvo sploh ukvarja z energijskimi viri, je dejstvo, da je sončno energijo zelo težko pretvoriti v take vrste, ki jih uporablja človeštvo. Za poganjanje strojev in naprav namreč potrebujemo koncentrirano energijo, najrajši v obliki elektrike, lahko pa tudi v obliki tekočih energijskih virov. Da bi prebrodili zagato, človeštvo v zadnjem stoletju intenzivno raziskuje postopke za učinkovito in cenovno ugodno pretvorbo sončne energije v električno ali kemijsko. Zato so bila pred mnogimi desetletji zgrajena raziskovalna središča, ki se ukvarjajo s pretvorbo sončne energije, ali bolj splošno, s koristno uporabo sončne energije. Največji sončni center v Evropi in po nekaterih merilih tudi največji na svetu je v vasi Odeillo v bližini mesteca Font Romeu na jugu Francije.

2 ZNAČILNOSTI SONČNEGA CENTRA FONT ROMEU

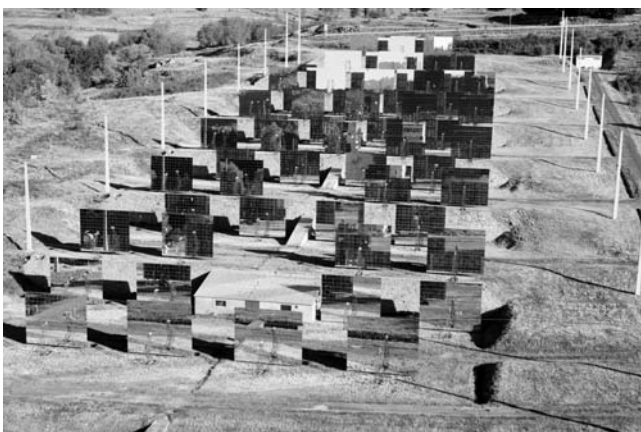
Sončni center Font Romeu (**slika 1**) je bil zgrajen okoli leta 1970, to je v času intenzivnih raziskav osnovnih procesov pri pretvorbi sončne energije. Že nekaj desetletij prej so v bližnjem mestecu Mont Louis zagnali eno izmed prvih sončnih peči na svetu. Razlog za izbiro južne Francije za tovrstne aktivnosti je v klimatskih razmerah. Dolina Cerdanya se razprostira med osrednjo verigo Pirenejev in južnimi grebeni tega gorstva. Specifični relief omogoča izredno sušno podnebje, tako da ima kraj Font Romeu več kot 300 sončnih dni letno.



Slika 1: Pogled na sončni center Font Romeu. Veliko poslopje višine 40 m, ki je prekrito z zrcali, prejema sončno svetlobo, ki jo odbijajo zrcala, nameščena na južnem pobočju.

Sončni center se nahaja na južnem pobočju na nadmorski višini približno 1600 m. Del pobočja je prekrit z velikimi zrcali, ki usmerjajo sončno svetlobo v eno največjih zgradb v tem delu Evrope (**sliki 1 in 2**). Zgradba raziskovalnega središča je visoka 40 m. Nasprotno od drugih sodobnih zgradb je stena poslopja, ki gleda proti zrcalom na pobočju, oblikovana kot parabola. Na parabolo so nameščena približno pol metra velika zrcala, ki odbijajo svetlobo na zelo majhno površino delovne postaje. Sončna svetloba je tako zbrana iz izredno velike površine, potem pa dodatno fokusirana. Tovrstna konstrukcija zagotavlja več svetovnih rekordov. Eden od njih je največja moč sončne peči (1 MW), drugi je največja gostota toka koncentrirane sončne svetlobe na velikih sistemih (10 MW/m^2), tretji pa ogrevanje velikih vzorcev na več kot 3500 K.

Samo poslopje je prevladujoča značilnost doline Cerdanya, saj ga je mogoče opaziti z vseh okoliških gora. Poleg velike sončne peči razpolagajo v solarnem centru tudi z več manjšimi reaktorji, ki značilno delujejo pri moči nekaj kilowatov. Manjši reaktorji so



Slika 2: Ploščata zrcala so gibljiva, kar omogoča sprotno sledenje navideznemu gibanju Sonca.

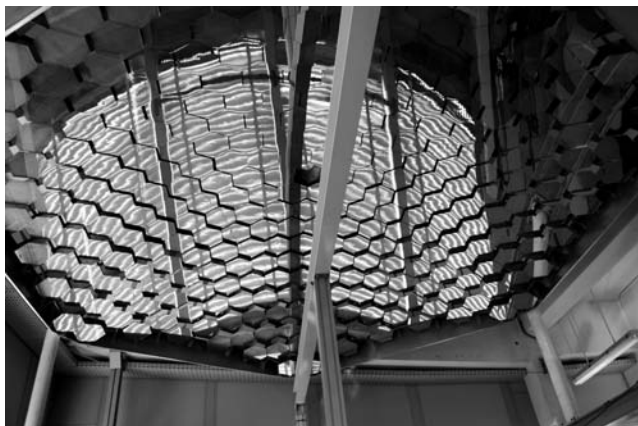


Slika 3: Standardna parabolična zrcala za izredno kakovostno koncentracijo 1 kW sončne svetlobe. S tovrstnimi zrcali dosežejo gostoto sončne moči na površini vzorca več kot 16 MW/m^2 . Nekateri starejši sodelavci centra trdijo, da so bila zrcala izdelana v Nemčiji med drugo svetovno vojno, njihova takratna namembnost pa povsem drugačna kot danes. V Font Romeu imajo na zalogi več 10 tovrstnih zrcal, le peščico pa jih dejansko uporabljajo.

namenjeni za specifične raziskave vzorcev, ki so značilno veliki okoli 1 cm^2 . Manjši sistemi so konstruirani tako, da zagotavljajo maksimalno fleksibilnost. Značilno uporabljajo eno samo ploščato oz. nekoliko ukrivljeno zrcalo, ki odbija sončno svetlobo v natančno izdelano parabolo. Ta koncentrira tako zbrano sončno svetlobo, in v nekaterih sistemih je mogoče doseči maksimalno moč na površinsko enoto do 16 MW/m^2 (**slika 3**). Tovrstni sistemi omogočajo hitro ogrevanje majhnih vzorcev in njihovo taljenje oz. uparjanje (**slika 4**). Mnogi tovrstni reaktorji so opremljeni z vakuumski komorami. Vzorce značilno obdelujejo v srednjem ali visokem vakuumu, da bi preprečili kontaminacijo s plinskimi molekulami. Večina sistemov omogoča kontrolirano vpuščanje različnih plinov, s katerimi je mogoče dodatno vplivati



Slika 4: Velika moč koncentrirane svetlobe omogoča taljenje večine materialov, ki niso prozorni za vidno svetlobo. Na fotografiji je vzorec jeklene pločevine dimenzij $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ po obdelavi z agresivno kisikovo plazmo. Sončna svetloba je bila fokusirana na sredino vzorca.

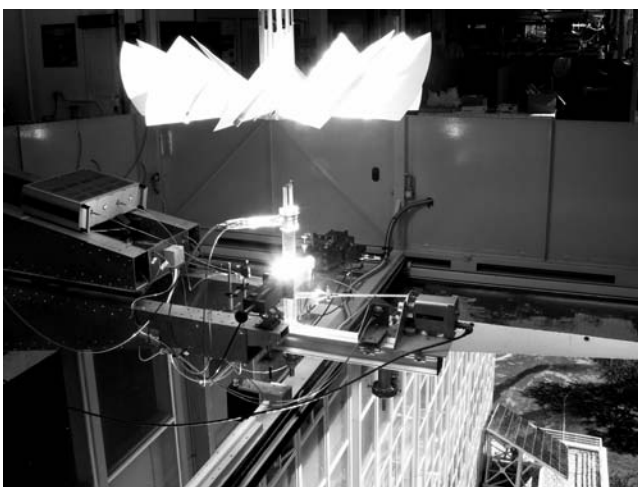


Slika 5: Del parabole manjšega reaktorja MESOX. Množica šestkotnih zrcal koncentrira svetlobo moči 6 kW v središče plazemskega reaktorja.

na spremembe materialov, ki so izpostavljeni koncentrirani sončni svetlobi.

V srednje velikem reaktorju po imenu MESOX imajo poleg vakuumskega sistema na voljo tudi mikrovalovni generator za vzbujanje plazme v različnih plinih. Reaktor MESOX deluje pri koncentrirani sončni svetlobi maksimalne moči 6 kW, medtem ko je maksimalna uporabna moč plazemskega generatorja okoli 1 kW. Naprava omogoča hkratno obdelavo materialov s koncentrirano sončno svetlobo in plinsko plazmo (sliki 5 in 6).

Najpomembnejše raziskave, ki potekajo z uporabo tega reaktorja, so povezane z vesoljskimi programi ameriške in evropske vesoljske agencije NASA in ESA. Znano je, da vesoljska plovila vstopijo v zunanje plasti atmosfere z zelo veliko hitrostjo. Hitrost vesoljskih plovil je krepko večja od hitrosti zvoka v razredčeni atmosferi, zaradi česar se pred vesoljskim plovilom ustvari zgoščina plina, ki se zaradi izredno velike usmerjene hitrosti spremeni v stanje plinske plazme. Zaradi tega in posebej zaradi močnega trenja,



Slika 6: Reaktor MESOX. Nad reaktorjem so delno odprte zaslonke, s katerimi regulirajo gostoto sončne moči.

ki nastopi kot posledica vstopa vesoljskega plovila v atmosfero, se zunanje površine plovila močno segrejejo. Plovilo mora biti torej prevlečeno s plastjo materiala, ki prenese ekstremne razmere – zelo visoko temperaturo in plinsko plazmo. Eden najboljših simulatorjev tovrstnih razmer na svetu je brez dvoma reaktor MESOX. Zaradi tega ne preseneča dejstvo, da raziskave, ki se odvijajo na tem reaktorju, naročajo vse sodobne vesoljske misije, tudi za Mars in Venero (Cosmic Vision 2015–2025).

Reaktor MESOX s pridom uporabljajo za svoje raziskave tudi raziskovalci iz Društva za vakuumsko tehniko Slovenije. Že od leta 2005 redno sodelujejo pri raziskavah vedenja različnih materialov v ekstremnih razmerah.

V vakuumskem sistemu, ki je črpan z dvostopenjskimi rotacijskimi črpalkami, lahko ustvarimo plinsko plazmo v kremenovi cevi, ki je postavljena v mikrovalovni resonator. Slednji je priključen na izvir mikrovalov z nazivno močjo 1000 W, ki deluje pri standardni frekvenci 2,45 GHz. Uskladitveni člen omogoča nastanek stojnega valovanja v resonatorju, s čimer postane jakost električnega polja v tej cevi tako visoka, da se plin ionizira. Ker so mikrovalovi omejeni na razmeroma majhen volumen v valovnem vodniku, je plazma prav tako omejena na majhen volumen. Zaradi velike sproščene moči glede na volumen je mogoče v tovrstnem reaktorju doseči precej gosto plinsko plazmo, ki izredno agresivno deluje na obdelovance, ki so značilno nameščeni v sredini razelektrivene cevi. Konstrukcija sistema omogoča hkratno izpostavo vzorcev koncentrirani sončni svetlobi.

Kot smo že omenili, je največja moč koncentriranega sončnega obsevanja 6 kW. S posebnimi zaslonkami je mogoče to moč poljubno zmanjšati (slika 5). Vzorci, ki so nameščeni v plazemski reaktor, se že zgolj zaradi interakcije s plazemskimi delci ogrejejo do 500 °C. Dodatno ogrevanje omogoča koncentrirana sončna svetloba, tako da je mogoče praktično vsak material segreti do tališča. Tovrstne razmere omogočajo zanimive poskuse, kot so npr. raziskave fuzijsko relevantnih materialov pri ekstremnimi razmerah, sintezo različnih vrst nanomaterialov in tudi vedenje materialov za prevleke vesoljskih vozil.

Plinsko plazmo za obdelavo materialov za vesoljska plovila ustvarimo v plinu, ki prevladuje v atmosferi planetov, kamor so misije namenjene. Za Mars in Venero je to atmosfera ogljikovega dioksida z dodatkom nekaterih drugih plinov. Slovenski raziskovalci so razvili tehniko za karakterizacijo tovrstne plazme, ki se danes uporablja za določanje stopnje reaktivnosti plazme ogljikovega dioksida.

Več delovnih postaj v sončnem centru Font Romeu so zgradili za preučevanja sinteze in modifikacije

nanomaterialov. Znano je, da sinteza nekaterih vrst nanomaterialov poteka pri visoki temperaturi. S tega vidika je sončni center kot nalašč, saj omogoča ogrevanje večjih vzorcev do domala poljubne temperature. Ta značilnost sončne peči omogoča sintezo velikih količin nanomaterialov v razumnem času. Velike količine nanodelcev so na primer potrebne za razvoj nove generacije sončnih celic. To so preproste naprave, ki zagotavljajo neposredno transformacijo vidne svetlobe, ki pride s Sonca, v električno energijo. Pri sintezi materialov za sončne celice smo priča posebni zanimivosti: koncentrirano sončno energijo uporabljamo za sintezo materialov, ki omogočajo uporabo sončne energije za proizvodnjo elektrike.

S tem pa zanimivosti še ni konec. V sončnem središču Font Romeu raziskujejo optimizacijo sončnih celic tako, da namesto navadne sončne svetlobe uporabljajo koncentrirano. Z uporabo koncentrirane sončne svetlobe je namreč mogoča miniaturizacija sončnih celic in s tem bistveno znižanje cene. Jasno je namreč, da je enota površine zrcala, ki zbere sončno energijo, bistveno cenejše od ustrezne površine sončnih celic.

3 VPETOST V EU-PROJEKTE

Kot največje sončno središče v Evropi je raziskovalna organizacija v Font Romeu tradicionalno vpeta v evropske projekte. Že v 6. okvirnem programu je imelo sončno središče Font Romeu poseben status v okviru evropskega raziskovalnega prostora, ki je omogočal zainteresiranim uporabnikom brezplačen dostop do razpoložljivih sončnih reaktorjev. V programu z imenom Solface (High Flux SOLar FACilities for Europe) je v obdobju od leta 2005 do 2010 gostovalo v Font Romeu več raziskovalnih skupin iz različnih evropskih držav, pa tudi iz držav pridruženih članic.

Program mednarodnega znanstvenega sodelovanja je bil nadgrajen v 7. okvirnem programu, tokrat z imenom SFERA (Solar Facilities for the European

Research Area). Pri obeh programih plodno sodelujejo tudi raziskovalci, ki so aktivni člani Društva za vakuumsko tehniko Slovenije. Cilj skupnih raziskav je koncentracija znanja in raziskovalnih kapacitet za opravljanje eksperimentov, ki sicer niso izvedljivi v nobenem drugem laboratoriju. Seznam raziskav, ki so namenjene širjenju znanstvenih spoznanj, je javno dostopen. Poleg tega se uporabniki že pri prijavi projekta skupnih raziskav zavežejo, da bodo rezultate objavili kot znanstvene članke v mednarodno uveljavljenih znanstvenih revijah.

Povsem drugače je z industrijsko ali vojaško orientiranimi raziskavami. V tem primeru se morajo sodelujoči raziskovalci zavezati k molččnosti, saj bi lahko razkritje rezultatov tovrstnih raziskav negativno vplivalo na status naročnika in izvajalca storitev. Zaradi tega ni mogoče oceniti, kolikšen delež raziskav se opravi v Font Romeu za potrebe industrijskega razvoja in razvoja novih naprav in tehnologij za vojaške namene.

4 SKLEP

V prispevku je bilo predstavljeno sončno središče Font Romeu v osrčju vzhodnih Pirenejev. Izredno ugodne klimatske razmere so botrovale gradnji največjih evropskih kapacitet za koncentrirano sončno energijo. To je mogoče uporabiti za procesiranje materialov pri ekstremno visokih temperaturah, kakor tudi kot metodo za dovajanje energije materialom med plazemsko obdelavo. Nabor materialov, ki jih uporabljajo pri raziskavah interakcije koncentrirane svetlobe s trdnimi materiali, je izredno širok, od drobnih ogljikovih nanocevk preko nanomaterialov za fotovoltaike do prevlek za vesoljska plovila in fuzijske reaktorje. Rezultati raziskav so odprli tudi nov pogled na pretvorbo sončne energije v električno – namesto velikih panelov sončnih celic je mogoče uporabiti manjše specialne elemente, ki delujejo na koncentrirano sončno energijo.