

2.7. Termofizika i metrologija toplote - K. Maglić

Rad u oblasti termofizike i metrologije toplote u Vinči datira od uvođenja sistematskih istraživanja termičkih procesa u okviru razvoja gorivnih elemenata za nuklearne reaktore koja su započeta u prvoj polovini 60-ih godina. Prvobitno postavljeni problem odnosio se na istraživanje zakona koji određuju toplotni otpor na kontaktu metalnog goriva i košuljice od lakih metala/legura, kao jednog od osnovnih mehanizama koji ograničavaju odvođenje toplote sa goriva na rashladni fluid - nosilac toplote. Za istraživanje kontaktnog otpora bilo je neophodno poznavanje termofizička osobine materijala u kontaktu: toplotnu provodnost, temperatursku provodnost, koeficijent toplotnog širenja i specifičnu toplotu. Većina podataka za materijale o kojima se radilo nisu bili raspoloživi, pa se moralo pristupiti osvajanju i razvoju metoda za eksperimentalno utvrđivanje ovih osobina [1]. Pošto se za različite termofizičke osobine, materijale, opsege temperatura i opsege osobina metode veoma razlikuju, a ispunjenje graničnih uslova na kojima se metode zasnivaju, zahvaljujući višestrukosti mehanizma prostiranja toplote veoma je teško, pogotovu na povišenim temperaturama, ovim radom otvorena je nova eksperimentalna naučnoistraživačka oblast. Iz ovoga je tako usledilo jedno od metroloških usmerenja ITE, čiji je kontinualni razvoj tokom više od 30 godina uvrstio Metrološku laboratoriju ITE među vodeće termofizičke eksperimentalne istraživačke institucije.

Tokom rada na eksperimentalnoj termofizici, a i u svim eksperimentalnim istraživanjima na polju prenosa toplote što predstavlja osnovnu delatnost ITE, ubrzo se pokazalo da za jedinicu temperature, osnovni parametar u ovim istraživanjima, u zemlji ne postoji nacionalni etalon, odnosno da nema mogućnosti za svodenje merenja temperature na jedinstvenu i međunarodno utvrđenu meru. Odatle je proistekla potreba za rad na stvaranju sopstvenog metrološkog sistema za temperatursku etalonažu, koji će biti usaglašen sa međunarodnim propisima i rešiti potrebe istraživanja u "Vinči". Iz ove delatnosti je docnije proistekao drugi pravac u oblasti metrologije ITE koji i danas traje. Taj rad doveo je do realizovanja nacionalnog etalona za jedinicu temperature u metrološkoj laboratoriji ITE krajem sedamdesetih godina, odnosno do razvoja novih definicijskih tačaka prema međunarodnoj temperaturskoj skali ITS-90 uvedenoj 1996. godine, tokom devedesetih godina. O ovoj delatnosti će takođe dalje biti reči.

Vremenski gledano, istraživanja u oblasti toplotnog kontaktnog otpora vršena su u periodu 1962.-1968. Ona vezana za reaktore sa gasnim hlađenjem obuhvatila su uticaje hrapavosti, toplotnog fluksa, pritiska na kontaktu i kombinacije metala u kontaktu na kontaktni otpor. Kombinacija prirodnog urana i aluminijuma odn. magnoksa istraživana je u ravnoj geometriji. Prelazak na tip reaktora sa vodenim hlađenjem uveo je keramičko gorivo, prenoseći eksperimentisanje na, za ovaj tip realnu, cilindričnu geometriju. Eksperimenti su pored podataka o kontaktnom otporu davali i podatke o integralu toplotne provodnosti, iz kojeg su dobijane zavisnosti toplotne provodnosti UO_2 u širokom opsegu temperatura. Gašenjem nuklearnog programa ugasilo se kod nas interesovanje i za kontaktni otpor. Ova problematika se ponovo otvara tek krajem 90-ih godina u saradnji sa Univerzitetom u Lionu, vezano za materijale visokih tehnologija odnosno njihove kombinacije i kao i za karakterizaciju višeslojnih materijala.

Saglasno raspoloživoj mernoj opremi tog vremena, metode čijem se osvajanju prvo pristupilo, pripadale su kategoriji stacionarnih metoda, koje karakteriše dugotrajna priprema, uz odvijanje eksperimenata u stacionarnim uslovima. U kategoriji toplotnih transportnih osobina, razvoj metoda započet je osvajanjem metode "aksijalnog toka" za merenje toplotne provodnosti metala, sa maksimalnom temperaturom određivanja zavisnosti do 500 °C. Sledeće su bile "disk" metoda za nemetale (do 120 °C) i metoda "zaštićene tople ploče" za rastresite i termoizolacione materijale (do 100 °C). U kategoriji kalorimetrijskih osobina usledio je razvoj "metode mešavina" za merenje entalpije i specifične toplote, koja je davala veoma pouzdane i tačne rezultate do 900 °C.

Uskoro posle pojave dinamičke, laserske "fleš" metode za merenje temperaturske provodnosti, koja za razliku od stacionarnih koristi male uzorke, ima visoku produktivnost i prouzrokuje malu promenu temperature uzorka u toku merenja, pristupilo se njenom osvajanju. Rad o ovoj metodi i njenoj primeni na reaktorske materijale dobio je u Splitu 1971. Godišnju nagradu ETAN-a. Već 1973. objavljen je u međunarodnom časopisu prvi rad o studiji metode [2]. Kao i u svetu, ova metoda je i u Vinči postala glavni oslonac za termofizička istraživanja najrazličitijih materijala. Metoda je tokom proteklih 25 godina razvijana i usavršavana, u saglasnosti sa napretkom merne i računarske opreme i usavršavanjem metoda analize i obrade podataka. Danas se koristi sa referentnom tačnošću i pouzdanošću u području od sobne temperature do 1500 °C [3,4]. Mnoge međunarodne interkomparacije u koje je naša laboratorija obavezno pozivana (u toku je takođe jedna) ukazivala su da realizacija koja se kod nas koristi spada u najtačnije i najpouzdanije.

Početakom osamdesetih godina, pored postojećih mernih metoda, uvedena je impulsna metoda za merenje specifične toplote i električne provodnosti elektroprovodnih materijala sa milisekundnom rezolucijom. Metoda, kod koje se eksperiment od sobne do maksimalne temperature odvija u vremenu reda sekunde [5] razvijena je samostalno u Vinči i predstavlja dopunu i poboljšanje postojeće impulsne metode koja se u svetu

primenjuje u oblasti pirometrije (iznad 1000 °C). Nizom usavršavanja dostignuta je gornja granica merenja od 2300 °C [6], pri čemu je pored prve dve osobine na istoj aparaturi i na istim uzorcima u toku istih eksperimenata omogućeno određivanje totalne hemisferne i normalne spektralne emisivnosti. Sa ove dve dinamičke metode, laserskom "fleš" i impulsnom milisekundnom, pokrivena je karakterizacija širokog spektra homogenih materijala i temperatura, sa mernom nesigurnosti na nivou najboljih svetskih referentnih merenja.

Sada je u toku razvoj dve nove dinamičke metode: metode za istraživanje temperaturske provodnosti vrlo tankih dijamantskih slojeva deponovanih iz pare ugljenika (CVD) [7] i metode za karakterizaciju industrijskih nemetalnih i relativno nehomogenih materijala. Prva je vezana za osvajanje novih materijala u okviru naučnog programa MNT do kraja veka, a druga je namenjena za davanje podataka prema potrebama revitalizacije termoenergetskih postrojenja u prvom redu.

Postojeće metode primenjivane su za različite ciljeve i na najširu gamu čvrstih materijala, za obezbeđivanje tekućih istraživačkih i razvojnih programa pouzdanim ulaznim podacima, za istraživanje metala i legura i njihovih faznih prelaza odnosno anomalija, kao učešće u međunarodnim kooperativnim programima za ustanovljavanje i karakterizaciju standardnih referentnih materijala za toplotne osobine (programi ASTM, NIST, GOST, NPL, DKG) [8-11] Kroz učešće u ustanovljavanju baze podataka o toplotnim osobinama reaktorskih materijala (IAEA) [12] u razvoju naoružanja i vojne opreme JNA (među ostalim *Atlas podataka o termofizičkim osobinama materijala*) itd. Navodeći samo glavne grupe materijala, istraživani i karakterisani su čisti feromagnetni metali: Fe, Ni, Co [13]; nerđajući čelici i legure na bazi nikla: nihrom, konstantan, inkonel, hasteloid i drugi [14]; visokotemperaturski metali: W, Mo, Nb, Tn, V [15]; reaktorski materijali: U, UO₂, U₃O₈, cirkaloj, magnoks i drugi; pirokarbon [16], noseći i termozaštitni kompoziti, gume, stakla i plastike; standardni referentni materijali i kandidati za ove materijale: austenitni čelik St 1.4970, molibden, volfram, bakar, elektrolitičko gvožđe, Al₂O₃, silicijum, POCO AXM-5Q1 grafit, ceramtec-, pyroceram- [17] (9 referenci); razni toplotno izolacioni materijali u čvrstom i granularnom stanju, keramički materijali itd.

Termofizička laboratorija ITE je svojim malobrojnim snagama dala značajan doprinos međunarodnom naučnom organizovanju i radu na očuvanju znanja u oblasti termofizike prikupljenih u svetu u zlatnom periodu nauke, od pedesetih do osamdesetih godina ovog veka. Laboratorija je, prema mnogima, realizovala do tog doba pa i kasnije jednu od najuspešnijih Evropskih konferencija o termofizičkim osobinama materijala, - šestu po redu, održanu u Dubrovniku 1978. godine. Posle te konferencije, Međunarodni komitet Evropskih termofizičkih konferencija usvojio je program sistematizovanja znanja u oblasti eksperimentalne termofizike, s time da se u prvom koraku izvrši sistematizacija savremenih i efikasnih metoda za merenje toplotno-transportnih, toplotno-radijacionih i kalorimetrijskih osobina čvrstih materijala, koje uključuju toplotnu provodnost, temperatursku provodnost, specifičnu toplotu, entalpiju, emisivnost, termoelastičnost itd. Za drugu fazu rada na ovom programu bilo je predviđeno da se odaberu i detaljno obrade one metode koje su u svom razvoju dostigle punu zrelost, tako da se za njihovo reprodukovanje mogu preporučiti standardni postupci koji garantuju pouzdanost i tačnost rezultata, a obuhvataju određivanje osobina materijala koje su za primenu od najvećeg značaja. Realizovanje ovog programa bilo je povereno tročlanom Uređivačkom odboru na čelu sa dr Kostom Magličem, rukovodiocem Termofizičke laboratorije u Vinči.

Rezultat ovog rada je u svetskim razmerama značajno dvotomno referentno delo "Kompendijum metoda za merenje termofizičkih osobina materijala", koje čine tom 1: "Pregled mernih metoda" [18] i tom 2: "Preporučene metode i merni postupci" [19]. Izdavač ove u naučnoj i stručnoj javnosti zapažene serije je Plenum Pres (Njujork-London), uređivači i autori dr Kosta Maglič, dr Ared Cezairliyan iz Nacionalnog instituta za etalone i tehnologiju u Vašingtonu i dr Vladislav Eduardovič Peletski iz Instituta visokih temperatura u Moskvi. Objavljivanjem ovih referentnih knjiga (1984. i 1992.), koje predstavljaju nezamenljivu literaturu u svakoj laboratoriji koja se bavi određivanjem termofizičkih osobina materijala, priveden je kraju dvanaestogodišnji uporan, naporan i plodotvoran rad međunarodnog tima, u kojem je pored Uređivačkog odbora učestvovalo više od trideset vodećih svetskih eksperata za pojedine merne metode iz sedam zemalja Evrope i Severne Amerike, uz daljih tridesetak vrhunskih stručnjaka za pojedine merne metode koji su učestvovali u naučnom i stručnom ocenjivanju.

Krajem osamdesetih godina započeta je još jedna kvalitetna aktivnost u oblasti karakterizacije materijala vezana za pokretanje Koordinisanog istraživačkog programa (CRP) Međunarodne agencije za atomsku energiju u Beču (MAAE) sa ciljem oformljenja baze podataka o termofizičkim osobinama materijala za lakovodne i teškovodne reaktore. Program je pokrenut na našu inicijativu, u saglasnosti sa zaključcima Međunarodne radne grupe MAAE za napredne tehnologije kod vodom hlađenih reaktora. Program [12] je bio izuzetno značajan jer obezbeđivanjem tačnih i pouzdanih ulaznih podataka omogućava zemljama van kruga najmoćnijih da vrše svoje nezavisne procene i sigurnosne analize nuklearnih reaktora. Ovaj program smo u okviru Agencije vodili do

1992. odn. do uvođenja sankcija prema našoj zemlji. Prva faza je završena bez nas 1995. a postoji mogućnost uključanja u rad u narednom periodu ako dođe do normalizacije međunarodnih odnosa.

Termofizička laboratorija ITE je imala veoma razvijenu međunarodnu naučnu saradnju sa nizom svetski uglednih institucija do sankcija. Saradnju smo imali sa sledećim institucijama:

- National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, SAD (NIST);
- Institut visokih temperatura AN SSSR, Moskva, SSSR (IVTAN);
- Kernforschungsanlage Jülich (Kfa), Nemačka;
- Međunarodna agencija za atomsku energiju u Beču (IAEA);
- Purdue University, West Lafayette, Indiana SAD (TPRL);

Saradnja je obuhvatala standardizovanje metoda za termofizičku karakterizaciju (NIST), razvoj i karakterizaciju novih standardnih referentnih materijala za termofizičke osobine (NIST, Kfa, TPRL, IVTAN), razvoj novih mernih metoda u oblasti visokih temperatura (NIST, IVTAN), oformljenje baze podataka o termofizičkim osobinama reaktorskih materijala (IAEA) itd.

Danas postoji oficijelna saradnja sa Francuskom, uspostavljena 1996. godine sa Institut National des Sciences Appliquées de Lyon et Université Claude Bernard, u Lionu i saradnja sa National Physical Laboratory, Teddington, (NPL) u Engleskoj, na razvoju novih standardnih referentnih materijala za termofizičke osobine, koja međutim nema status zvanične međunarodne saradnje.

Period sankcija dočekan je sa kvalitetnim kadrom i dobrom opremom nabavljenom kroz brojne međunarodne i unutrašnje saradnje. Fluktuacija kadra poslednje decenije je pogodila i ovu oblast; dolaskom međutim trojice kvalitetnih mladih istraživača uz podršku starijih taj problem je uspešno prevaziđen. Mladost je donela i značajne pozitivne efekte u obliku poleta i kreativnosti. Sa ispravnim aparaturama, sa kombinacijom iskustva i poleta, sa nemogućnošću rada na primenjenim programima (sem termometrije), uz dobijanje uzoraka od prijatelja u svetu, tokom ovog zatišja veoma mnogo je urađeno na brojnim istraživanjima materijala koji bi inače teško došli na dnevni red. Tu su u prvom redu visokotemperaturni metali (W,V,Mo,Nb,Ta) [15] i standardni referentni materijali (Si,Al₂O₃,Cu) i drugi. Ovi rezultati su veoma lepo prihvaćeni u svetu, svi su objavljeni u vodećim naučnim časopisima i bili su predmet pozvanih referata na velikim međunarodnim konferencijama. Mora se ipak istaći, da za vreme tog perioda nismo bili u mogućnosti da pratimo razvoj novih metoda, koji je zasnivajući se na novim tekovinama merne i akvizicione opreme, u međuvremenu u svetu načinio krupne korake.

U oblasti termometrije razvoj je tekao sa manje kontinuiteta i zavisio je u prvom redu od klime u nacionalnoj metrološkoj kući, Saveznom zavodu za mere i dragocene metale (SZMDM). U vreme pozitivnog razvoja u SZMDM, tokom sedamdesetih godina započet je rad na realizovanju primarnih definicijskih tačaka IPTS-68, Međunarodne praktične temperaturske skale. Posao je okončan 1984. godine kad je realizovana tačka očvršćavanja zlata (1064 °C). Ovim primarnim definicijskim tačkama, tačkama očvršćavanja Sn, Zn, Sb, Ag i Au pokriveno je područje od trojne tačke vode do gornje granice kontaktne termometrije.

Razvoj termometrije u svetu u međuvremenu doveo je do usvajanja 1989. godine nove i tačnije temperaturne skale, ITS-90. Ova, tzv. Međunarodna temperaturna skala iz 1990. godine stupila je na snagu naredne godine. Nova skala učinjena je fleksibilnijom od prethodne, sa više segmenata koji mogu da se reprodukuju nezavisno od celine skale, smanjujući time cenu etaloniranja i nepotrebno izlaganje primarnog termometra povišenim temperaturama. Nova skala je uvela i određen broj novih primarnih tačaka: temperaturu topljenja Ga, i temperature očvršćavanja In i Al. Takođe, u oblasti pirometrije, tačka očvršćavanja Au dopunjena je sa još dve alternativne fiksne tačke očvršćavanja Ag i Cu [20], u uslovima crnog tela.

Iz ovoga je proizašao novi program rada u oblasti termometrije koji je realizovan kroz program tehnološkog razvoja MNT u periodu posle 1991. godine. Obuhvatio je realizovanje novih primarnih tačaka topljenja Ga i očvršćavanja In i Al u području kontaktne termometrije, odn. realizovanje primarnih pirometrijskih fiksni tačaka očvršćavanja Ag i Cu, u proširenju nacionalne temperaturske skale na oblast pirometrije. Sva istraživanja realizovana su tokom perioda 1992-1997. godina, ostala je samo tačka očvršćavanja Al za naredni program tehnološkog razvoja. Praktično sve je realizovano od rezervi materijala iz prethodnog perioda, uz pomoć Instituta visokih temperatura Ruske akademije nauka iz Moskve koji je poklonio čiste metale Ga i In, i Instituta za bakar u Boru koji je obezbedio Cu visoke čistoće.

Treba naglasiti da postavljanje metrološke infrastrukture za područje pirometrije realizovano u ovom periodu predstavlja i izuzetan tehnološki doprinos, jer do sada u našoj zemlji nije bilo mogućnosti za metrološku verifikaciju pirometara, nabavljenih bilo kada i od ma kog proizvođača.

Pored rada na primarnoj termometriji, značajan je i rad na primenjenoj termometriji, odn.

korišćenju teorijskih znanja i eksperimentalnog iskustva stečenog kroz rad na termofizici i razvoju primarnih etalona jedinice temperature, za podizanje nivoa metrologije temperature u privredi zemlje [21]. Od polovine sedamdesetih godina u ITE postoji Ovlašćena laboratorija za termometriju, koja je u prvo vreme pored ovlašćenja za rad U nacionalnom metrološkom istemu radila i u metrološkom podsistemu JNA. Postignuti rezultati u overi instrumenata i termičkih uređaja u nizu fabrika SFRJ doneli su puno priznanje ovoj laboratoriji, pa je i niz međunarodnih organizacija za kvalitet (Lloyd, Veritas, itd) priznavao samo ateste koje je davala ova laboratorija iz Vinče. Ovlašćena laboratorija u civilnom sistemu je u punoj funkciji, i danas ima veoma značajnu funkciju sa širenjem pokreta za uvođenje sistema kvaliteta u zemlji.

Sistemske pristup sređivanju saznanja o metrologiji u nas, a posebno o metrologiji kao osnovnom infrastrukturnom elementu za kvalitet i sistem kvaliteta koji su dobili u značaju sa svetskim pokretom i međunarodnim standardima za sistem kvaliteta, rezultirali su u monografskom delu "Primarna termometrija" [22] koje je pripremano i napisano tokom perioda 1992-1996. godina. Posvećeno u prvom redu metrologiji temperature, ovo delo napisano od strane saradnika na metrološkom SIT projektu iz Vinče, SZMDM i Fizičkog fakulteta, obradilo je međunarodne osnove metrologije, fizičke osnove razvoja metrologije temperature i istorijat razvoja međunarodnog etalona ove jedinice, predlog strategije razvoja metrologije temperature u našoj zemlji, fizička rešenja za realizovanje nedostajućih elemenata nacionalnog etalona temperature i pregled načina organizovanja i sadržaja rada nacionalnih metroloških institucija u Evropi. Ova monografija dobila je Oktobarsku nagradu Beograda za nauku u 1996. godini.

U prethodnom tekstu je kod svake grupe materijala ili oblasti istraživanja navedeno kao ilustracija 1 do 2 reference, pri čemu je ukupni broj radova daleko veći. Publikovanost u oblasti metrologije toplote iznosi 75 radova, u domaćim časopisima i na domaćim skupovima, u međunarodnim časopisima i na međunarodnim skupovima (u časopisima pretežno)radova, i 2 monografije; u oblasti metrologije temperature ukupan broj je 15 radova, u domaćim časopisima i na domaćim skupovima, na međunarodnim skupovimaradova, i 4 monografije; u oblasti prenosa toplote i mase ukupno 14 radova.

Istraživanjima u oblasti termofizike, metrologije toplote i temperature u Vinči značajan doprinos dali: Kosta Maglič (1961-), Zoran Životić (1963-1987), Nenad Perović (1974-1997), Aleksandar Dobrosavljević (1980-1990), Andrej Stanimirović (1992 -), Gligo Vuković (1993-) i Nenad Milošević (1996-).

Ilustrujuće reference za oblast metrologije toplote

1. K. Maglič, B. Maršićanin, L. Jović, Z. Životić, T. Marković, "Razvoj aparature i merenje temperaturske provodnosti nekih reaktorskih materijala impulsnom metodom", *Zbornik radova XV Jugoslovenske konferencije ETAN*, Split, 629-639, 1971
2. K. Maglič, B. Maršićanin, "Factors affecting the accuracy of transient response of intrinsic thermocouples in thermal diffusivity measurement", *High Temp.-High Pressures*, 5, 101-110, 1973
3. R.E. Taylor, K.D. Maglič, "Pulse method for thermal diffusivity measurement", in *Compendium of thermophysical property measurement methods*, Vol.1: "Survey of Measurement Techniques", Ed. K.D. Maglič, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, 305-336, Plenum Press NY 1984
4. K.D. Maglič, R.E. Taylor, "The apparatus for thermal diffusivity measurement by the laser pulse method", in "Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods" Vol.2: "Recommended measurement techniques and measurement practices", ed. K.D. Maglič, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, Plenum Press, New York, 281-314, 1992
5. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglič, "Evaluation of a direct pulse heating method for measurement of specific heat and electrical resistivity in the range 300K-1900K", *High Temp.-High Pressures*, 21, 411-421, 1989
6. K.D. Maglič, A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, A.M. Stanimirović and G.S. Vuković, "A decade of development and application of millisecond resolution calorimetry between 300 and 2500 K at the Institute of nuclear sciences "Vinča", Review Paper, *High Temp.-High Pressures* 27/28 1005/1996
7. A.M. Stanimirović, K.D. Maglič, N.Lj. Perović, G.S. Vuković, "Measurement of thermal diffusivity of thin films by AC calorimetric Method", *High Temp.-High Pressures* (recenzovano, u štampi)
8. K. Maglič, N. Perović, Z. Životić, "Thermal diffusivity of candidate standard reference materials", in *Thermal Conductivity* 17, Ed. J.G. Hust, 163-173, Plenum Press NY, 1981
9. A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, K.D. Maglič, "Thermophysical properties of POCO AXM-5Q1 graphite in the 300K to 1800K range", *High Temp. -High Pressures*, 19, 303-310, 1987
10. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglič, N.Lj. Perović: "Thermal difusivity measurements of tungsten standard reference material", *High Temp.-High Pressures*, 21, 329-312, 1989

11. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, N.Lj. Perović, V.E. Peletskij, A.A. Zolotuhin, "Sovetsko-jugoslavskie isledovanija po razrabotke vysokotemperaturnogo standartnogo obrasca temperaturoprovodnosti", *Teplofizika vysokih temperatur*, 27, 352-359, 1989
12. K.D. Maglić, J. Kupitz, V. Krett, "IAEA-coordinated research programme for the establishment of a database of thermophysical properties of reactor materials", *High Temp.-High Pressures*, 23, 113-120, 1991
13. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, N.Lj. Perović, "Specific heat measurements of ferromagnetic materials by the pulse heating technique", *High Temp. -High Pressures*, 17, 591-598, 1985
14. N.Lj. Perović, K.D. Maglić, A.M. Stanimirović, G.S. Vuković, "Transport and calorimetric properties of AISI 321 by pulse thermal diffusivity and calorimetric techniques", *High Temp.-High Pressures* 27/28, 53-58 1995/1996
15. K. Maglić, N.Lj. Perović, G.S. Vuković and LjP. Zeković, Specific heat and electrical resistivity of niobium measured by subsecond calorimetric technique, *Int.J. Thermophysics*, 15, 5, 963-972, 1994
16. K.D. Maglić, N.Lj. Perović, A.M. Stanimirović, "Calorimetric and transport properties of zircaloy 2, zircaloy 4 and inconel 625", *Int.J. Thermophysics*, 15, 741-755, 1994
17. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, "Heat capacity and electrical resistivity of copper research material for calorimetry", *High Temp.-High Pressures*, 23, 173-178, 1991
18. Compendium of thermophysical property measurement methods, Vol.1: "*Survey of measurement techniques*", Ed. K.D. Maglić, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, Plenum Press NY, p. 789 1984
19. Compendium of thermophysical property measurement methods Vol.2: "*Recommended measurement techniques and measurement practices*", Ed. K.D. Maglić, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, Plenum Press: New York, pp 643, 1992
20. N.Lj. Perović, K.D. Maglić, G.S. Vuković, "Freezing temperatures of silver and copper as fixed points for optical pyrometer calibration", *Proc. TEMPMEKO_96 Symposium* Ed. F. Righini, Turin, Italy September 1996 (recenzovano, u štampi)
21. K. Maglić, "High temperature measurement", in *Measurement techniques in heat and mass transfer*, Ed. R.I. Soloukhin and N. Afgan, Hemisphere Publishing Corp. Washington, 259-277, 1983
22. K.D. Maglić, G. Danković, N.Lj. Perović, Lj.P. Zeković, A.M. Stanimirović, *Primarna termometrija, monografija Jugoslovenskog društva termičara, Beograd s. 320, 1996*

Prilog: Radovi u oblasti metrologije toplote objavljeni u periodu od 1980. - 1997. godina

1. K. Maglić, N. Perović, Z. Životić, "THERMAL DIFFUSIVITY OF CANDIDATE STANDARD REFERENCE MATERIALS", in *Thermal Conductivity* 17, Ed. J.G. Hust, 163-173, Plenum Press NY, 1981
2. Z. Životić, K. Maglić, N. Perović, "ISLEDOVANIE TEPLIFIZIČESKIH SVOISTV OGNEUPORNIH MATERIALLOV", u "Procesi perenosa v vysokotemperaturnih i himičeski reagirujuščih potokah", Monografija ITF SO AN SSSR, 142, Novosibirsk, 1982
3. K. Maglić, "HIGH TEMPERATURE MEASUREMENT", in *Measurement techniques in Heat and Mass Transfer*, Ed. R.I. Soloukhin and N. Afgan, Hemisphere Publishing Corp. Washington, 259-277, 1983
4. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, "PULSE HEATING METHOD FOR SPECIFIC HEAT AND ELECTRICAL RESISTIVITY MEASUREMENT IN THE RANGE 100°C TO 1200°C, in *Measurement techniques in Heat and Mass Transfer*, Ed. R.I. Soloukhin and N. Afgan, Hemisphere Publishing Corp. Washington, 411-420, 1983
5. COMPENDIUM OF THERMOPHYSICAL PROPERTY MEASUREMENT METHODS, Vol.1: "*Survey of Measurement Techniques*", Ed. K.D. Maglić, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, Plenum Press NY, p. 789 1984
6. R.E. Taylor, K.D. Maglić, "PULSE METHOD FOR THERMAL DIFFUSIVITY MEASUREMENT", in COMPENDIUM OF THERMOPHYSICAL PROPERTY MEASUREMENT METHODS, Vol.1: "*Survey of Measurement Techniques*", Ed. K.D. Maglić, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, 305-336, Plenum Press NY 1984
7. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, N.Lj. Perović, "SPECIFIC HEAT MEASUREMENTS OF FERROMAGNETIC MATERIALS BY THE PULSE HEATING TECHNIQUE", *High Temp. -High Pressures*, 17, 591-598, 1985
8. A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, K.D. Maglić, "THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF POCO AXM-5Q1 GRAPHITE IN THE 300K TO 1800K RANGE", *High Temp. -High Pressures*, 19, 303-310, 1987
9. K.D. Maglić, A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, "EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSPORT AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF NICKEL" in *Thermal Conductivity* 20, Ed. D.P.H.

- Hasselmann and J.R. Thomas, Jr., 81-91, Plenum Press NY 1989
10. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, "EVALUATION OF A DIRECT PULSE HEATING METHOD FOR MEASUREMENT OF SPECIFIC HEAT AND ELECTRICAL RESISTIVITY IN THE RANGE 300K-1900K", High Temp.-High Pressures, 21, 411-421, 1989
 11. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, N.Lj. Perović: "EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSPORT AND THERMODYNAMIC PROPERTIES OF COBALT", High Temp.-High Pressures, 21, 317-324, 1989
 12. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, N.Lj. Perović: "THERMAL DIFFUSIVITY MEASUREMENTS OF TUNGSTEN STANDARD REFERENCE MATERIAL", High Temp.-High Pressures, 21, 329-312, 1989
 13. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, N.Lj. Perović: V.E. Peletskij, A.A. Zolotuhin, "SOVETSKO-JUGOSLAVSKIE ISLEDOVANIIA PO RAZRABOTKE VYSOKOTEMPERATURNOGO STANDARTNOGO OBRASCA TEMPERATUROPROVODNOSTI", Teplofizika vysokih temperatur, 27, 352-359, 1989
 14. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, "MEASUREMENT OF ELECTRICAL RESISTIVITY OF FERROMAGNETIC MATERIALS IN THE VICINITY OF SOLID-SOLID PHASE TRANSITIONS", in Thermal Conductivity 21, ed. C.J.Cremers and H.A.Fine, 523-530, Plenum Press: New York, 1991
 15. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, "HEAT CAPACITY AND ELECTRICAL RESISTIVITY OF COPPER RESEARCH MATERIAL FOR CALORIMETRY", High Temp.-High Pressures, 23, 173-178, 1991
 16. N.Lj. Perović, K.D. Maglić, "THERMAL DIFFUSIVITY OF PYROCERAM", High Temp.-High Pressures, 23, 217-224, 1991
 17. K.D. Maglić, A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, "THERMODYNAMIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF NICHROME 5", High Temp.-High Pressures, 23, 23-29, 1991
 18. K.D. Maglić, J. Kupitz, V. Krett, "IAEA-COORDINATED RESEARCH PROGRAMME FOR THE ESTABLISHMENT OF A DATABASE OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF REACTOR MATERIALS", High Temp.-High Pressures, 23, 113-120, 1991
 19. K.D. Maglić, A.S. Dobrosavljević, "SUBSECOND THERMOPHYSICS RESEARCH AT THE BORIS KIDRIČ INSTITUTE VINČA", Int.J. Thermophysics, 13, 1, 3-6, 1992
 20. A.S. Dobrosavljević, K.D. Maglić, "MEASUREMENTS OF SPECIFIC HEAT AND ELECTRICAL RESISTIVITY OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL (ST. 1.4970) IN THE RANGE 300K-1500 K BY PULSE CALORIMETRY", Int.J. Thermophysics, 13, 1, 57-64, 1992
 21. "COMPENDIUM OF THERMOPHYSICAL PROPERTY MEASUREMENT METHODS" Vol.2: "Recommended Measurement Techniques and Measurement Practices", Ed. K.D. Maglić, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, Plenum Press: New York, pp 643, 1992
 22. K.D. Maglić, N.Lj. Perović, "MEASUREMENT OF SEEBECK COEFFICIENT BY THE LASER PULSE TECHNIQUE", In "Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry", 215-219, Instrument Society of America, 1992
 23. K.D. Maglić, R.E. Taylor, "THE APPARATUS FOR THERMAL DIFFUSIVITY MEASUREMENT BY THE LASER PULSE METHOD", in "Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods" Vol.2: "Recommended measurement techniques and measurement practices", ed. K.D. Maglić, A. Cezairliyan and V.E. Peletsky, Plenum Press, New York, 281-314, 1992
 24. K.D. Maglić, N.Lj. Perović, A.M. Stanimirović, "TRANSPORT AND CALORIMETRY PROPERTIES OF HASTELLOY X BY PULSE THERMAL DIFFUSIVITY AND CALORIMETRY METHODS", High Temp.-High Pressures, 25, 429-434, 1993
 25. K.D. Maglić, N.Q. Perović, A.M. Stanimirović, "CALORIMETRIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF ZIRCALOY 2, ZIRCALOY 4 AND INCONEL 625", Int.J. Thermophysics, 15, 741-755, 1994
 26. N.Lj. Perović, K.D. Maglić, A.M. Stanimirović, "SPECIFIC HEAT CAPACITY AND ELECTRIC RESISTIVITY OF NICHROME AND CONSTANTAN THERMOCOUPLE ALLOYS", Proc. 5th International Symposium on Temperature and Thermal Measurement in Industry and Science TEMPMEKO_93, 367-376, Prague 1993
 27. K.D. Maglić, N.Q. Perović, A.M. Stanimirović, "DOPRINOS INSTITUTA U VINČI USPOSTAVQAWU BAZE PODATAKA MAAE O TERMOFIZIČKIM OSOBINAMA MATERIJALA", XXIII Jugoslovenska konferencija ETAN, Zbornik radova, 143-148, Beograd 1993
 28. D.D. Maglić, N.Lj. Perović, G.S. Vuković and LjP. Zeković, SPECIFIC HEAT AND ELECTRICAL RESISTIVITY OF NIOBIUM MEASURED BY SUBSECOND CALORIMETRIC TECHNIQUE, Int.J. Thermophysics, 15, 5, 963-972, 1994
 29. K.D. Maglić, A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, A.M. Stanimirović and G.S. Vuković, "A DECADE OF DEVELOPMENTS IN THE MILLISECOND RESOLUTION PULSE CALORIMETRY BETWEEN 20 AND 2200°C AT THE VINCHA INSTITUTE, pozvano uvodno predavanje za 4. Azijsku konferenciju o termofizičkim osobinama materijala, Tokio, septembar 1995

30. K.D. Maglić, G. Danković, N.Q. Perović, Q. Zeković, A.M. Stanimirović, METROLOGIJA TEMPERATURE, monografija Jugoslovenskog društva termičara, Beograd 1996
31. N.Lj. Perović, K.D. Maglić, A.M. Stanimirović, "SPECIFIC HEAT CAPACITY AND ELECTRIC RESISTIVITY OF NICHROME AND CONSTANTAN THERMOCOUPLE ALLOYS", Proc. 5th International Symposium on Temperature and Thermal Measurement in Industry and Science TEMPMEKO_93, 367-376, Prague 1993
32. K.D. Maglić, N.Q. Perović, A.M. Stanimirović, "CALORIMETRIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF ZIRCALOY 2, ZIRCALOY 4 AND INCONEL 625", Int.J. Thermophysics, 15, 741-755, 1994
33. N.Lj. Perović, K.D. Maglić, A.M. Stanimirović, G.S. Vuković, TRANSPORT AND CALORIMETRIC PROPERTIES OF AISI 321 BY PULSE THERMAL DIFFUSIVITY AND CALORIMETRIC TECHNIQUES, High Temp.-High Pressures 27/28, 53-58 1995/1996
34. N.Lj. Perović, K.D. Maglić and G.S. Vuković, THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF TUNGSTEN ELECTRODES BY SUBSECOND PULSE CALORIMETRY, Int.J. Thermophysics, 17, 7, 1047-1056, 1996
35. G.S. Vuković, N.Lj. Perović and K.D. Maglić, IMPROVEMENTS IN DATA REDUCTION IN DIRECT PULSE HEATING CALORIMETRY, Int.J. Thermophysics, 17, 7, 1057-1068, 1996
36. K.D. Maglić, A CONTRIBUTION TOWARD MORE ACCURATE AND MORE RELIABLE DATA ON THERMODYNAMIC AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF NUCLEAR REACTOR MATERIALS, Invited lecture, 14th IUPAC Conf. on Chemical Thermodynamics, Osaka, September 1996
37. K.D. Maglić, A.S. Dobrosavljević, N.Lj. Perović, A.M. Stanimirović and G.S. Vuković, "A DECADE OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MILLISECOND RESOLUTION CALORIMETRY BETWEEN 300 AND 2500 K AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR SCIENCES "VINČA", Review Paper, High Temp.-High Pressures 27/28 1005/1996
38. K.D. Maglić, N.Lj. Perović, G.S. Vuković, SPECIFIC HEAT AND ELECTRIC RESISTIVITY OF MOLYBDENUM BETWEEN 400 AND 2500K, High Temp.-High Pressures, 29, 97-102 1997
39. K.D. Maglić, N.Lj. Perović, G.S. Vuković, FREEZING TEMPERATURES OF SILVER AND COPPER AS FIXED POINTS FOR OPTICAL PYROMETER CALIBRATION, Proc. TEMPMEKO_96 Symposium Ed. F. Righini, Turin, Italy September 1996 (recenzovano, u štampi)

Priznanja i nagrade

Priznanja domaća i međunarodna metrologiji toplote u Vinči posledica su visokog kvaliteta rezultata sa kojima se ova naučna oblast i malobrojna grupa istraživača ITE javlja u svetu tokom poslednjih 25 godina. Priznanja, mahom rukovodiocu grupe prof. dr Kostu Magliču, koja su navedena u daljem tekstu u prvom redu su priznanja i svim saradnicima koji su gore navedeni. Oni su svi zajedno, kao tim ili učesnici u timu u pojedinim periodima, dali svoje pune doprinose da oblast termofizike, metrologije toplote i temperature u znaku nastavka najbolje vinčanske tradicije, bude ovako jaka i u svetu priznata.

Priznanja K. Magliču su:

- · Član redakcionog odbora časopisa International Journal of Thermophysics, Vašington (od osnivanja 1979).
- · Član redakcionog odbora časopisa Revue International des Hautes Temperatures et Refractaires, Pariz (od 1986).
- · Član redakcionog odbora časopisa High Temperatures-High Pressures, London (od 1993).
- · Član Međunarodnog organizacionog komiteta Evropskih konferencija o termofizičkim osobinama materijala (od 1974).
- · Predsednik 6. Evropske termofizičke konferencije u Dubrovniku (1978).
- · Predsedavanje sesijama na 10 evropskih termofizičkih konferencija (između 1976. i 1996.), 1 američkoj (1979) i 1 azijskoj (1995).
- · Član naučnog komiteta 22. Međunarodne konferencije o termofizičkim osobinama materijala u Tempe, Arizona, novembra 1993.
- · Počasni član (FELLOW) 16. Međunarodne konferencije o termofizičkim osobinama materijala u Čikagu 1979.
- · Zaslužni član Saveza društava termičara Jugoslavije (1984).
- · Godišnja nagrada za osnovna istraživanja u nauci Instituta za nuklearne nauke "Boris Kidrič" u Vinči u 1984.god.

- . Jedan od pokretača Međunarodnog termofizičkog društva (formiranje u toku).
- . Član Svetskog termofizičkog kongresa od 1982.
- . Ekspert UNESCO-a 1976.

Među nagradama i priznanjima članovima celog tima treba istaći već pomenute:

- Godišnju nagradu XV Jugoslovenske konferencije ETAN u 1974 (5 saradnika)
- Oktobarsku nagradu Grada Beograda u 1996. (3 saradnika iz Vinče),
kao i
- Nagradu mr Gligu Vukoviću, za najuspešnijeg mladog saradnika u Vinči u 1996. godini.