

ENERGETSKA ANALIZA REKONSTRUKCIJE LEDENE DVORANE SPORTSKOG I POSLOVNOG CENTRA VOJVODINA**ENERGY ANALYSIS OF THE RECONSTRUCTION OF THE ICE RINK AT THE SPORTS AND BUSINESS CENTER VOJVODINA**

Mina Solaković, Igor Mujan, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U uvodu rada najpre je prikazano trenutno stanje naučnih istraživanja koje se tiče ledenih dvorana i energetskog modelovanja. Prikazani su razlozi i ciljevi rada. U okviru sekcije metodologija, kratko je opisana konkretna ledena dvorana i dat je postupak modelovanja, uz osvrt na teorijsku osnovu programskog paketa koji je upotrebljen. Nakon toga, prikazani su rezultati simulacija, koji su upoređeni sa dostupnim podacima iz literature uz zaključke i buduće pravce istraživanja.

Ključne reči: energetska efikasnost, energetska rekonstrukcija, energetsko modelovanje, ledena dvorana

Abstract – First, the paper presents the current state of scientific research related to ice rinks and energy modeling with the outlined motivations and objectives of the study. Within the methodology section, a brief description of the specific ice rink is provided, along with the modeling procedure, including a discussion of the theoretical foundation of the software package used. Subsequently, the simulation results are presented and compared with data available in literature. Finally, the paper summarizes the key findings and examines future research directions.

Keywords: energy efficiency, energy retrofit, energy modeling, ice rink

1. UVOD

Klimatske promene i globalno zagrevanje predstavljaju ozbiljan izazov, a ključnu ulogu u njihovom ublažavanju imaju smanjenje potrošnje energije, povećanje energetske efikasnosti i korišćenje obnovljivih izvora. S obzirom na to da zgrade troše oko 40% globalne finalne energije, sektor zgradarstva ima poseban značaj. Iako klizališta čine mali udeo u ukupnom građevinskom fondu, njihova potrošnja energije je i do tri puta veća od one u tipičnim poslovnim objektima, što opravdava potrebu za ciljanom analizom njihove energetske efikasnosti [1], [2].

Uprkos napretku u oblasti energetske efikasnosti zgrada, ledene dvorane zahtevaju poseban pristup zbog svoje tehničke složenosti i specifičnih procesa. U njima funkcioniše više različitih tehničkih sistema, od kojih su neki izuzetno energetski zahtevni.

Ova kompleksnost ogleda se i u stručnoj literaturi, koja,

iako ograničena po broju radova u poređenju s drugim tipovima objekata, pokriva širok spektar tema: od sistema za održavanje ledene piste [2], uticaja infiltracije [3], uticaja obnavljanja ledene površine na kvalitet vazduha [4] i distribucije vazduha pomoću ventilacionog sistema [5], do modelovanja celokupnih sistema u ledenim dvoranama [6], [7].

Predmet ovog rada je ledena dvorana sportskog i poslovnog centra Vojvodina (SPENS), koji je izgrađen pre više od 40 godina. Objekat i sistemi u njemu su redovno održavani, ali nikada nisu rekonstruisani, tako da se u budućnosti planira sanacija celog objekta, uključujući i ledenu dvoranu [8].

Cilj ovog rada je da se primenom energetskog modelovanja izvrši analiza energetskih karakteristika ledene dvorane SPENS-a, kao i uticaja primene različitih mera na poboljšanje energetske efikasnosti. Takva analiza pruža uvid u potencijalne uštede energije koje se mogu ostvariti na klizalištima putem adekvatnog sprovođenja mera za poboljšanje energetske efikasnosti.

2. METODOLOGIJA

Za izradu energetskog modela korišćen je programski paket OpenStudio, koji se zasniva na EnergyPlus-u. Program je u osnovi baziran na metodi toplotnog bilansa. Važno je naglasiti da model ne uzima u obzir sistem za održavanje ledene piste, iz razloga što programski paket ne sadrži modul koji bi mogao da se upotrebi u te svrhe.

2.1. Karakteristike ledene dvorane

Prema literaturi [8], SPENS predstavlja sportsko-kulturni kompleks i jedan je od najvećih objekata te vrste u regionu. Podeljen je na tri međusobno povezana bloka: A, B i C. Zatvoreno klizalište je deo bloka B.

Kompleks praktično funkcioniše neprekidno, 24 sata dnevno, 7 dana u nedelji, pri čemu je za javnost otvoren od 08:00 do 24:00. Klizalište radi u periodu od 1. oktobra do 30. aprila.

Zatvoreno klizalište obuhvata površinu od 2.730 m² i raspolaže tribinama kapaciteta 1.283 + 340 sedišta.

Kompleks se snabdeva toplotnom energijom iz sistema daljinskog grejanja Grada Novog Sada, koji je u funkciji od 1979. godine. U kompleksu postoje tri glavne toplotne podstanice (TP1, TP2, TP3), po jedna za svaki blok, odakle se toplota dalje distribuira do potrošača preko sekundarnih podstanica.

Podstanica TP1 snabdeva 30 sistema, među kojima se nalaze i sistemi u okviru ledene dvorane: klima sistem iznad ledene piste, zagrevanje temelja, klima sistem u holu

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Igor Mujan, docent

između ledene i male dvorane, klima sistem na tribinama ledene dvorane i dr. Takođe, sastavni deo sistema klimatizacije su i rotacioni rekuperatori koji značajno poboljšavaju energetska efikasnost čitavog sistema, uz mogućnost upotrebe kako osetne tako i latentne toplote sadržane u izbacnom vazduhu.

Sistem za klimatizaciju vazduha koristi centralizovano pripremljenu hladnu vodu temperature 7/12 °C. Rashladni sistem radi na principu parno-kompresorske tehnologije sa četiri vijčana kompresora i napaja se električnom energijom.

2.2. Metoda toplotnog bilansa

Metoda toplotnog bilansa (HBM) je ASHRAE-ova metoda za izračunavanje toplotnih dobitaka i gubitaka. Tako je nazvana jer se bazira na jednačinama toplotnog bilansa za vazduh u prostoriji, kao i za unutrašnju i spoljašnju površinu pregrade koja odvaja prostoriju od okoline. U odnosu na ostale metode koje se koriste u ovu svrhu, metoda toplotnog bilansa je najfundamentalnija i najsloženija, pa je s obzirom na to, neophodno korišćenje softverskih alata za njenu primenu [9].

Prema literaturi [10], osnovni procesi koji se posmatraju pri primeni metode toplotnog bilansa mogu se podeliti na četiri zasebne celine: toplotni bilans spoljne površine pregrade, proces kondukcije kroz pregradu, toplotni bilans unutrašnje površine pregrade, toplotni bilans vazduha u prostoriji.

Zbog svoje fundamentalne prirode metoda toplotnog bilansa zahteva mnogo dublje poznavanje termičke zone na koju se primenjuje.

Što se tiče uopštenih podataka, zbog proračuna koji uključuju sunčevo zračenje neophodno je poznavanje prostornih i vremenskih odrednica lokacije, orijentacije termičke zone u prostoru, kao i njene visine od poda do poda. Takođe, ako postoji namera da se spoljašnji koeficijent prelaza toplote smatra promenljivim, potrebno je poznavati pravac i brzinu vetra, kao i hrapavost terena. Obično ove karakteristike imaju neke predodređene vrednosti, ali postoji mogućnost njihove promene.

S obzirom da zidovi učestvuju u tri fundamentalna procesa koji su deo metode toplotnog bilansa, potrebno je poznavati veliki broj njihovih karakteristika. Što se tiče staklenih površina, slično kao i sa zidovima, zahtevaju poznavanje većeg broja parametara, a naročito zbog njihovog uticaja na solarne dobitke toplote.

Što se tiče dobitaka toplote od unutrašnjih izvora, u termičkoj zoni može da postoji više vrsta unutrašnjih izvora: ljudi, osvetljenje, električni uređaji, infiltracija. Toplotni dobitci od infiltracije se mogu odmah uvrstiti u toplotni bilans vazduha u prostoriji. Što se tiče drugih izvora, za njih je neophodno poznavanje određenih karakteristika.

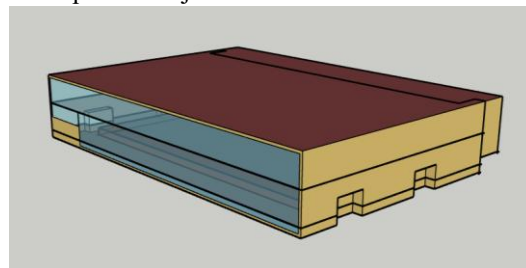
2.3. Priprema modela

Iz razloga što nacionalna regulativa ne uzima u obzir specifičnosti ledenih dvorana, za definisanje uslova termičkog komfora u različitim zonama klizališta korišćene su smernice Međunarodne hokejaške federacije (IIHF). Prema njima, temperatura vazduha do visine od 1,5 m iznad ledene piste treba da iznosi 6 °C, dok se za prostor tribina preporučuje raspon od 10 do 15 °C. Površinska temperatura leda treba da bude između -3 °C i -5 °C.

Preporučena relativna vlažnost vazduha je ispod 70%, kako bi se sprečila pojava magle u zoni glava klizača, kao i pojava buđi i korozije. Takođe se preporučuje da klimatizacioni sistemi koji opslužuju ledenu pistu i tribine budu razdvojeni, što je u skladu s postojećim rešenjem u ledenoj dvorani SPENS-a. Sve smernice odnose se na male ledene dvorane, prema klasifikaciji IIHF-a, u koje spada i klizalište na SPENS-u [11].

Objekat se nalazi u Novom Sadu, tako da su u toku modelovanja upotrebljeni dostupni klimatski podaci u odgovarajućem formatu.

Geometrija je definisana prema dostupnim tehničkim crtežima i prikazana je na slici 1.



Slika 1. Prikaz geometrije objekta

Iako čitav prostor dvorane u realnosti predstavlja jednu celinu, upotrebom "vazдушnih zidova" moguće je pretpostaviti različite uslove u ovim oblastima i na taj način povećati tačnost simulacije. Prostor dvorane podeljen je na 5 oblasti (Tabela 1.).

Tabela 1. Pregled termičkih zona u objektu

Naziv zone	Opis zone	Zadata temperatura
Termička zona 1	Tribine	15 °C
Termička zona 2	Prostor iznad ledene piste, do visine od 1,5 m	6 °C
Termička zona 3	Prostor oko ledene piste, u istoj visini kao zona 2	6 °C
Termička zona 4	Prostor iznad zona 2 i 3	15 °C
Termička zona 5	Prostor iznad zone 4	15 °C

Konstrukcije elemenata građevinske fizike su definisane na osnovu dostupnih podataka.

Konstrukcija poda prvobitno je definisana prema preporukama IIHF-a, ali je, usled problema u modeliranju ledene piste, morala biti iskorišćena kao deo inženjerskog rešenja tog problema. Zbog ograničenja programskog paketa, karakteristike površine leda, posebno temperaturu, nije bilo moguće direktno zadati. Problem je prevaziđen korišćenjem opcije za proizvoljno zadavanje temperature tla, koja je postavljena na -5 °C. Konstrukcija poda ispod piste modelovana je sa visokim koeficijentom prolaza toplote, dok je pod oko piste definisan tako da ima izuzetno nizak koeficijent, čime je simulirana temperatura površine leda od -4,8 °C, a temperatura poda oko piste u rasponu od 4 °C do 15 °C, što se smatra prihvatljivim za potrebe simulacije.

Kako ne postoji zvaničan raspored upotrebe ledene dvorane na SPENS-u, za potrebe simulacije on je pretpostavljen na osnovu dostupnih podataka.

Što se tiče boravka ljudi, definisani su odvojeni rasporedi za ledenu pistu i za prostor tribina. Pretpostavljeno je da se

hokejaške utakmice održavaju tri puta nedeljno, u sezoni od oktobra do aprila, u terminu od 18:30 do 20:30 časova, dok se treninzi odvijaju četiri puta nedeljno, od 14:30 do 16:30 časova. Tokom utakmica, na tribinama se nalazi 1.600 gledalaca. Na ledu je svakog dana prisutno 80 osoba u periodu od 09:00 do 21:00 čas, pri čemu njihova aktivnost zavisi od toga da li je u pitanju utakmica, trening ili termin za rekreativno klizanje. Pretpostavljena specifična metabolička snaga iznosi 270 W/č za hokejaše, 190 W/č za rekreativne klizače i 125 W/č za publiku [12]. Rasveta radi svakodneвно od 08:00 do 22:00 časa, sa snagom od 12 W/m² za treninge i rekreativne termine, odnosno 150 W/m² za vreme utakmica. Infiltracija je modelovana korišćenjem postojećih definicija iz biblioteke softverskog paketa OpenStudio za prostore koji se koriste kao skladišta [8].

Prema preporukama IIHF-a definisani su termostati, da bi se temperatura u termičkim zonama 2 i 3 održavala na 6 °C, a u ostalim zonama na 15 °C. Takođe su definisani higrostat i za kontrolu vlažnosti vazduha. Za zone 2 i 3 relativna vlažnost se održava na 65%, a za ostale zone na 60%.

Kao što je prethodno navedeno, klizalište ima dva odvojena klimatizaciona sistema koji opslužuju tribine i prostor iznad ledene piste. U modelu su predstavljena dva identična sistema sa promenljivim protokom vazduha i dogrevanjem u zoni, čiji su grejači i hladnjaci povezani na zajednički grejni i rashladni krug. U sastav klimatizacionog sistema uključeni su i rotacioni rekuperatori vazduha.

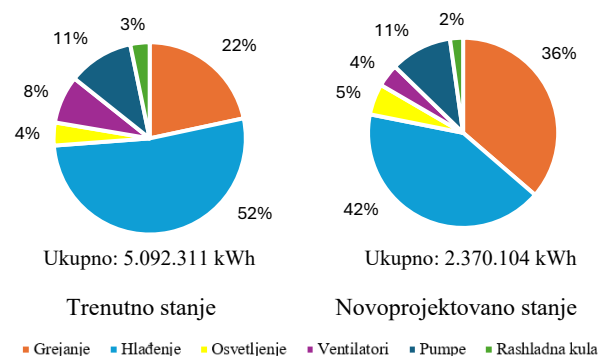
Odvlaživanje je rešeno postavljanjem odvlaživača u svaku termičku zonu, koji održavaju relativnu vlažnost u skladu sa preporukama. Iako se objekat trenutno koristi od oktobra do aprila, simulacija je sprovedena za celu godinu, s obzirom na planirano celogodišnje korišćenje nakon rekonstrukcije.

U novoprojektovanom stanju planirana je izgradnja nove sportske dvorane ispred jugozapadne fasade, zbog čega je geometrija klizališta izmenjena u skladu sa dostupnom tehničkom dokumentacijom. Predviđena je energetska sanacija građevinskog omotača celog objekta, povećanje zaptivenosti, što podrazumeva smanjenje infiltracije za 50%, kao i zamena postojeće rasvete LED sistemima, gde je pretpostavljena snaga od 8 W/m² za treninge i građanske smene i 35 W/m² za utakmice [8]. U vezi klimatizacionih sistema, jedino unapređenje odnosi se na ugradnju novih rotacionih rekuperatora, uz pretpostavljenu efikasnost od 85%.

3. REZULTATI

Upoređivanjem ukupne godišnje potrošnje energije utvrđeno je da novoprojektovano stanje rezultira smanjenjem sa 3.097,4 MWh/god. na 1.615,6 MWh/god, što predstavlja smanjenje godišnje potrošnje od 48%. Pored toga, specifična potrošnja energije, značajna za uporednu analizu sa objektima slične namene, iznosi 918 kWh/m²/god. u trenutnom i 479 kWh/m²/god. u novoprojektovanom stanju, pri ukupnoj površini ledene dvorane od 3.374 m². Iako sistem za održavanje ledene piste nije direktno uključen u model, radi potpunijeg prikaza ukupne energetske potrošnje izvršena je aproksimacija na osnovu literature [11], prema kojoj ovaj

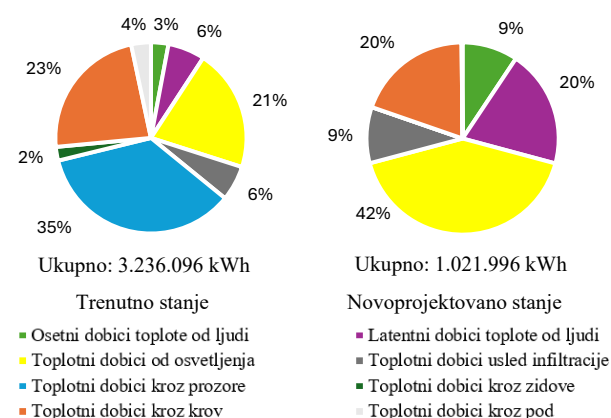
sistem koristi više od 50% ukupne električne energije. U skladu s tim, potrošnja je uključena u dijagram raspodele krajnje potrošnje energije (Slika 2.) pod kategorijom hlađenja. Zaključuje se da raspodela energije u novoprojektovanom stanju ostaje slična postojećem, uz manja odstupanja.



Slika 2. Potrošnja energije ledene dvorane prema krajnjoj upotrebi

Razlika u raspodeli energije između grejanja i hlađenja proističe iz odsustva toplotnih dobitaka kroz staklene površine u novoprojektovanom stanju. To dovodi do manjih potreba za hlađenjem i većih potreba za grejanjem. Ukupni toplotni dobitci na godišnjem nivou u trenutnom stanju iznose 3.236 MWh, dok za novoprojektovano stanje iznose 1.022 MWh. Sledi da je postignuto smanjenje toplotnih dobitaka za 68%, što predstavlja značajno umanjenje.

Na slici 3. upoređena je raspodela toplotnih dobitaka po vrstama za trenutno i novoprojektovano stanje. Može se uočiti da najveći udeo toplotnih dobitaka u trenutnom stanju potiče od prolaza toplote kroz prozore i krov, kao i od osvetljenja. Što se tiče novoprojektovanog stanja, kako prozori na fasadi više ne postoje, dominantne vrste dobitaka ostaju osvetljenje i prolaz toplote kroz krov. Pored ovih dobitaka, do izražaja dolaze i dobitci od ljudi koji borave u prostoru i to u većem procentu latentni dobitci.



Slika 3. Toplotni dobitci prema vrstama

U nastavku rada rezultati koji su dobijeni simulacijama i prikazani u prethodnom delu rada biće upoređeni sa drugim dostupnim podacima koji opisuju objekte iste namene.

Pregledom literature pronađeni su podaci o potrošnjama ledenih dvorana širom sveta i sumirano su prikazani u tabeli 2. Za potrebe poređenja rezultata simulacije sa prikazanim podacima u nastavku poglavlja, potrošnja

električne energije je uvećana za 50%, kao što je ranije objašnjeno. Može se zaključiti da je trenutna potrošnja ledene dvorane na SPENS-u značajno veća od prosečnih potrošnji sličnih objekata u svetu, međutim u novoprojektovanom stanju potrošnja bi trebalo dovoljno da se smanji tako da se ledena dvorana može uvrstiti u prosečne po svojoj potrošnji.

Tabela 2. Poređenje prosečne potrošnje sa rezultatima simulacije

	Toplotna energija [kWh/m ² /god.]	Električna energija [kWh _e /m ² /god.]	Ukupno [kWh/m ² /god.]
Kvebek, Kanada [13]	-	-	250 - 760
Švedska [14]	-	-	400
Procene istraživača iz Boldera, SAD [2]	-	-	750
Istanbul, Turska (konkretno klizalište) [15]	271	474	745
Simulacija, trenutno stanje	327	1.182	1.509
Simulacija, novoprojektovano stanje	253	452	705

4. ZAKLJUČAK

Analiza pokazuje da novoprojektovano stanje omogućava 48% manju godišnju potrošnju energije u poređenju s postojećim stanjem, što predstavlja značajnu uštedu. Najveći doprinos ima uklanjanje velikih staklenih površina na jugozapadnoj fasadi. Gubici toplote u novoprojektovanom stanju smanjeni su za 68%, a dobitke toplote većim delom čine osvetljenje i prisutni korisnici, za razliku od ranije dominantnih spoljašnjih uticaja. Zaključuje se da je postojeće stanje ledene dvorane na SPENS-u energetski neefikasno, ali primenom predloženih mera moguće je smanjiti potrošnju na nivoe koji dostižu gornje granice prosečnih vrednosti.

S obzirom na ograničenja ovog rada, buduća istraživanja bi najpre uključivala poboljšanje modela klizališta kroz modeliranje sistema za održavanje ledene piste, što bi bilo moguće ostvariti programiranjem novog modula u okviru OpenStudio-a ili upotrebom nekog drugog softverskog paketa koji ima takve mogućnosti. Nakon toga, radi validacije i kalibracije modela bilo bi neophodno prikupiti realne podatke o potrošnji energije i uslovima komfora u klizalištu putem primene mernih tehnika. Pored toga, upotrebom CFD metoda za modeliranje bilo bi moguće prikupiti podatke neophodne za poboljšanje rezultata energetskog modela, najviše na polju infiltracije i razmene toplote između različitih termičkih zona u objektu.

5. LITERATURA

- [1] European Council, „European Council - Fit for 55 - Buildings“, <https://www.consilium.europa.eu>. Приступљено: 14. Мај 2025. [На Интернету]. Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>
- [2] J. Mun и M. Krarti, „An ice rink floor thermal model suitable for whole-building energy simulation analysis“,

Build Environ, том 46, изд. 5, стр. 1087–1093, Мај 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.11.008.

- [3] J. T. Lin и Y. K. Chuah, „Prediction of infiltration rate and the effect on energy use for ice rinks in hot and humid climates“, *Build Environ*, том 45, изд. 1, стр. 189–196, Јан. 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.06.001.
- [4] C. Yang, P. Demokritou, Q. Chen, и J. Spengler, „Experimental Validation of a Computational Fluid Dynamics Model for IAQ applications in Ice Rink Arenas“, *Indoor Air*, том 11, изд. 2, стр. 120–126, 2001.
- [5] M. Taebnia, S. Toomla, L. Leppä, и J. Kurnitski, „Air distribution and air handling unit configuration effects on energy performance in an air-heated ice rink arena“, *Energies (Basel)*, том 12, изд. 4, Феб. 2019, doi: 10.3390/en12040693.
- [6] L. Seghouani, A. Daoud, и N. Galanis, „Prediction of yearly energy requirements of indoor ice rinks“, *Energy Build*, том 41, изд. 5, стр. 500–511, Мај 2009, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.11.014.
- [7] A. Palmowska и B. Lipska, „Experimental study and numerical prediction of thermal and humidity conditions in the ventilated ice rink arena“, *Build Environ*, том 108, стр. 171–182, Нов. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.08.024.
- [8] K. Theofylaktos и остали, „Energetska procena i pregled aranžmana za izvođenje EE rekonstrukcije SPENS-a“, Novi Sad, Дец. 2019.
- [9] S. J. Rees, J. D. Spitler, M. G. Davies, и P. Haves, „Qualitative comparison of North American and U.K. Cooling load calculation methods“, *HVAC and R Research*, том 6, изд. 1, стр. 75–99, 2000, doi: 10.1080/10789669.2000.10391251.
- [10] *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. Peachtree Corners, Georgia, USA: ASHRAE, 2021.
- [11] „IIHF ICE RINK GUIDE“, Апр. 2016.
- [12] B. Todorović, *KLIMATIZACIJA*, Треће изданје. Beograd: SMEITS, 2009.
- [13] L. Nichols, „Improving Efficiency In Ice Hockey Arenas“, *ASHRAE Journal*, том 51, Atlanta, Georgia, USA, стр. 16–20, Јуни 2009.
- [14] M. Karampour, „MEASUREMENT AND MODELLING OF ICE RINK HEAT LOADS“, Master of Science Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2011.
- [15] H. Sunnetci и D. Yilmaz, „Investigation on Energy Consumption of an Olympic Ice Rink and Sports Facility“, *Tecnica Italiana-Italian Journal of Engineering Science*, том 65, изд. 1, стр. 113–118, Мај 2021, doi: 10.18280/ti-ijes.650117.

Kratka biografija:



Mina Solaković рођена је у Новом Саду 1999. год. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Енергетика и процесна техника одбранила је 2022. год. Од 2023. год. је запослена у званју сарадника у настави, на Катедри за тоplotну технику, Департаман за енергетику и процесну технику. контакт: solakovicmina@uns.ac.rs



Docent dr Igor Muja рођен је у Новом Саду 1987. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2021. године. Од 2022. године је у запослен у званју доцента, на Катедри за тоplotну технику, Департаман за енергетику и процесну технику.