

MOGUĆNOST KORIŠĆENJA KISELOG GASA IZ GASNOG LEŽIŠTA „NOVO MILOŠEVO“
ACID GAS FROM THE „NOVO MILOŠEVO“ GAS WELL USAGE POSSIBILITIES

Jovan Prole, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – Predmet rada je mogućnost korišćenja kiselog gasa iz gasnog nalazišta „Novo Miloševo“ kao gorivo za gasne turbine koje bi proizvodile električnu i toplotnu energiju, kao i proračun emisije ugljen-dioksida koji nastaje pri sagorevanju tog gasa i poređenje dobijenih emisija sa emisijama već postojećih sistema.

Ključne reči: kisel gas, prirodni gas, gasne turbine, ugljen-dioksid

Abstract – This paper shows possible usage of acid gas from “Novo Miloševo” gas well as a fuel for gas turbines in order to produce electric and heat energy, and calculation process for CO₂ emissions calculation. Those emissions are then compared with the emissions from existing power plants.

Key words: acid gas, gas turbines, natural gas, carbon dioxide

1. UVOD

U radu je prikazana mogućnost korišćenja kiselog gasa u postrojenjima koja bi kao pogonsko gorivo koristilo kisel gas iz gasnog nalazišta „Novo Miloševo“. Prvo postrojenje se sastoji iz gasne turbine GT OPRA OP16 koja kao gorivo koristi kisel gas, dok se drugo postrojenje sastoji od gasne turbine PT SOLAR MERCURY 50 koja kao gorivo koristi namešani gas i parnog kotla koji kao gorivo koristi kisel gas.

Cilj rada jeste da se pokaže uticaj postrojenja u kojima bi se koristio kisel gas na životnu sredinu. U radu je procenjena količina ugljen-dioksida CO₂ specificirana po kWh isporučene energije koja bi emitovala iz postrojenja. Specificirana emisija upoređena je sa emisijama iz već postojećih sistema.

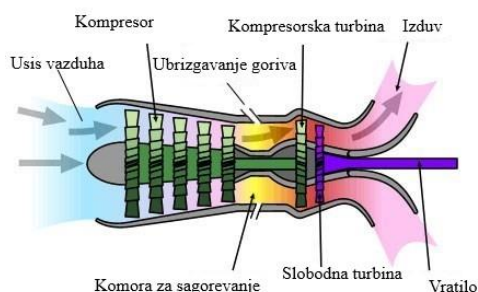
2. TEORIJSKE OSNOVE

Prvu gasnu turbinu patentirao je Džon Barber (John Barber) 1791. godine. Prva turbina zbog ograničenja u materijalima i tehnologijama izrade svog vremena nije mogla da ostvari pozitivan rad na vratilu [1]. Pvu gasnu turbinu koja je mogla da ostvari pozitivan rad patentirao je 1884. godine Džens Viliam Egidus Eling (Jens William Aegidus Elling) [2]. Prva gasna turbina koja je korišćena kao mlazni motor patentirana je 1930. godine od strane Frenka Vitla (Frank Whittle) [5]. Prva gasna turbina sa stepenom efikasnosti iznad 60 % napravljena je 2011. god [5].

NAPOMENA:

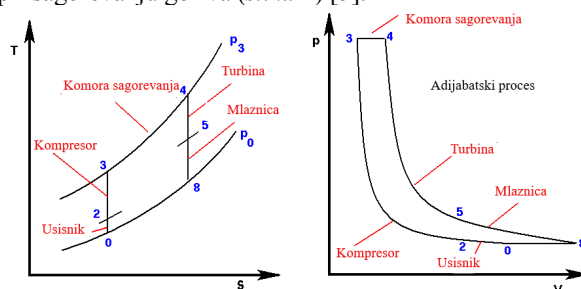
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Siniša Bikić, vanr. prof.

Gasna turbina predstavlja rotacioni motor koji se pokreće pomoću energije toka gasa proizvedenog sagorevanjem goriva. Svaka gasna turbina se sastoji iz tri osnovna dela. Na prednjem delu se nalazi kompresor, nakon njega u telu turbine se nalazi komora za sagorevanje i posle komore za sagorevanje se nalazi i sama turbina. Pored ovih delova većina turbina još poseduje i usis vazduha koji se često hladi, vratilo koje prenosi mehaničku energiju, otvore na komori za sagorevanje za ubrizgavanje goriva i izdov vrelih gasova (slika 1) [4].



Slika 1. Osnovni delovi gasne turbine [4]

Gasna turbina radi na principu termodinamičkog ciklusa koji se naziva Brajtonov ciklus (Brayton cycle) Tok ciklusa je sledeći: atmosferski vazduh se komprimuje, nakon toga komprimovani vazduh ulazi u komoru za sagorevanje gde se meša sa gorivom i gde dolazi do paljenja nastale smeše i zatim vreli gasovi prolaze kroz proces ekspanzije u turbini, gde fluid oslobađa više energije nego što je potrebno za komprimovanje gasa, zahvaljujući energiji koja se dobija pri sagorevanju goriva (slika 2) [5].



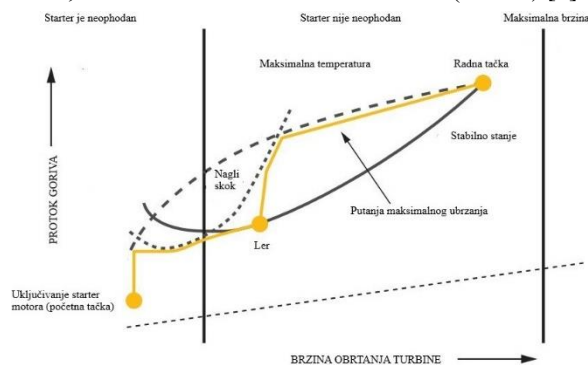
Slika 2. Idealan Brajtonov ciklus [6]

Gasne turbine mogu da imaju otvoren ili zatvoren ciklus. Razlika između ova dva ciklusa se ogleda u rešenju komore za sagorevanje. Kod turbine sa otvorenim ciklusom radni fluid i gorivo se mešaju u komori, dok kod turbine sa zatvorenim ciklusom to nije slučaj. Prednost turbine sa zatvorenim ciklusom jeste ta što je moguće lako kontrolisati kvalitet vazduha i što izbor goriva nije ograničen, takođe lopatice ne dolaze u direktan kontakt sa vrelim izduvnim

gasovima i samim tim mogu biti izrađene od materijala lošijih karakteristika u odnosu na uobičajene materijale. Međutim upravo zbog te niže temperature fluida na lopaticama stepen korisnosti ovih turbina je niži u odnosu na turbine sa otvorenim ciklusom i one se implementiraju samo ukoliko u neposrednoj blizini postoji mogućnost jeftinog eksploataisanja goriva [1].

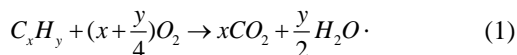
Prilikom rada gasne turbine energija koju gorivo sagorevanjem preda ne može u potpunosti da se pretvori u mehanički rad. Najveći deo energije napušta sistem u vidu toplotne energije. Iz tog razloga se gasne turbine najčešće vezuju u kogenerativni sistem gde se ta toplota, koja bi inače bila puštena u atmosferu iskoristi, pa se samim tim povećava i ukupan stepen efikasnosti sistema, jer za istu ulaznu energiju goriva dobija korisna mehanička energija i korisna toplotna energija [9]. Prilikom kogeneracije stepen iskorišćenja energije ide i do 80 %, dok u sistemima gde kogeneracija nije implementirana stepen iskorišćenja uglavnom bude ispod 30 % [11].

Kako bi se gasna turbina startovala potrebno je započeti ciklus pražnjenja, kako bi se izbegla pojava zapaljivog gasa u izduvnom sistemu. Da bi se to postiglo najpre se uključuje starter motor, koji rotira vratilo turbine niskom brzinom u trajanju koje je prethodno definisano. Nakon završetka ciklusa pražnjenja starter motor se ubrzava i u komoru za sagorevanje se injektuje gorivo i pali se pilot plamen. Starter motor nastavlja da ubrzava sve dok turbina ne bude u stanju da samostalno funkcioniše, na ler brzini. Nakon što sistem dostigne ler brzinu, starter motor se gasi i može se početi sa postepenim opterećivanjem sistema, sve dok se ne dođe do radne tačke (slika 3) [5].



Slika 3. Startovanje turbine

Prilikom sagorevanja prirodnog gasa dolazi do emisije ugljen-dioksida CO₂ u atmosferu. Potrebna količina kiseonika za potpuno sagorevanje se može izračunati pomoću stehiometrijske jednačine sagorevanja:



Kako bi se odredila količina ugljen-dioksida koja se oslobodi u atmosferu prilikom sagorevanja prirodnog gasa neophodno je odrediti mase ugljen-dioksida CO₂ i ugljovodonika koji se sagoreva:

$$m = n \cdot M_r \quad (2)$$

gde su:

m - masa [kg];

n - broj molova [mol] i

M_r - molarna masa [kg/mol].

Nakon što se odrede mase, neophodno je odrediti i zapreminu ugljovodonika na normalnim uslovima:

$$V = n \cdot V_m \quad (3)$$

gde su:

V - zapremina [m³] i

V_m - molarna zapremina [m³/mol]

Zapreminska koncentracija ugljovodonika u prirodnom gasu glasi:

$$C_v = \frac{V_z}{V_s} \cdot 100 \% \quad (4)$$

gde su:

C_v - zapreminska koncentracija [%];

V_z - zadata zapremina ugljovodonika u prirodnom gasu [m³] i

V_s - zapremina smeše prirodnog gasa [m³].

Kada je poznata i zapremina, preko proporcije se može odrediti masa ugljen-dioksida CO₂ koja se oslobodi prilikom sagorevanja kiselog gasa:

$$V_z : x = V : m \quad (5)$$

gde je:

x - tražena masa ugljen-dioksida [kg].

Prethodno izračunatoj masi ugljen-dioksida neophodno je dodati i masu ugljen-dioksida CO₂ koja se već nalazi u kiselom gasu pre sagorevanja. Kako bi se ta masa izračunala neophodno je prvo proračunati gustinu ugljen-dioksida CO₂ na normalnim uslovima:

$$\rho = \frac{p}{\frac{R_u}{M_r} \cdot T} \quad (6)$$

gde su:

ρ - gustina gasa [kg/m³];

p - apsolutni pritisak pri normalnim uslovima [Pa];

R_u - univerzalna gasna konstanta [J/mol K] i

T - temperatura pri normalnim uslovima [K].

Nakon što je izračunata gustina ugljen-dioksida CO₂ neophodno je proračunati njegovu masu:

$$m = V \cdot \rho \quad (7)$$

Ovaj postupak se ponavlja za prva četiri ugljovodonika, jer viši ugljovodonici imaju veoma mali udeo u prirodnom gasu (ispod 0,2%) i ne utiču bitno na tačnost proračuna.

Kako bi se dobila ukupna masa ugljen-dioksida CO₂ koja se emituje prilikom rada sistema neophodno je sabrati masu ugljen-dioksida CO₂ koja se emituje prilikom sagorevanja prva četiri ugljovodonika, kao i masu ugljen-dioksida CO₂ koja je već postojala u gasu i koja se prilikom sagorevanja takođe emituje:

$$m_u(CO_2) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + m(CO_2) \quad (8)$$

gde su:

$m_u(CO_2)$ - ukupna masa CO₂ koja se emituje prilikom sagorevanja 1 m³ prirodnog gasa pri normalnim uslovima [kg/ m³];

x_1 - masa CO₂ koja se emituje prilikom sagorevanja metana iz 1 m³ prirodnog gasa pri normalnim uslovima [kg/ m³];

x_2 - masa CO₂ koja se emituje prilikom sagorevanja etana iz 1 m³ prirodnog gasa pri normalnim uslovima [kg/ m³];

x_3 - masa CO₂ koja se emituje prilikom sagorevanja propana iz 1 m³ prirodnog gasa pri normalnim uslovima [kg/ m³];

x_4 - masa CO₂ koja se emituje prilikom sagorevanja butana iz 1 m³ prirodnog gasa pri normalnim uslovima [kg/ m³];

$m(CO_2)$ - masa CO₂ koja je bila prisutna u 1 m³ prirodnog gasa pri normalnim uslovima koja se emituje prilikom sagorevanja [kg/ m³].

Kako bi se proračunala masa CO₂ koja se godišnje emituje potrebno je prvo proračunati koju količinu prirodnog gasa na normalnim uslovima sistem utroši tokom jednog časa:

$$G_h = \frac{G_D}{24}, \quad (9)$$

gde su:

G_h - satni konzum sistema [m³/h] i

G_D - dnevni konzum sistema [m³].

Nakon što se proračuna satni konzum, neophodno je proračunati i godišnji konzum:

$$G_g = G_h \cdot T_g, \quad (10)$$

gde su:

G_g - godišnji konzum sistema [m³] i

T_g - godišnji broj sati rada sistema [h].

Kada je poznat godišnji konzum sistema, ukupna masa CO₂ koja se godišnje emituje pri radu sistema je:

$$m_g(CO_2) = G_{gO} \cdot m_U(CO_2), \quad (11)$$

gde je:

$m_g(CO_2)$ - godišnja emisija CO₂ u sistemu [kg/ m³].

Ukupna korisna energija koju predaje predloženo postrojenje u zimskom režimu glasi:

$$E_Z = E_{TO} + E_{EO} + E_{ESK} + E_{TSKZ}, \quad (12)$$

gde su:

E_Z - ukupna količina energije koju postrojenje predaje u zimskom režimu [kWh];

E_{TO} - toplotna energija koju predaje gasna turbina OPRA OP16 [kWh];

E_{EO} - električna energija koja se dobija radom gasne turbine OPRA OP16 [kWh];

E_{ESK} - električna energija koja se dobija radom sistem sa gasnom turbinom PT SOLAR MERCURY 50 i parnim kotlom [kWh] i

E_{TSKZ} - toplotna energija koju predaje sistem sa gasnom turbinom PT SOLAR MERCURY 50 i parnim kotlom u zimskom režimu [kWh].

Ukupna korisna energija koju predaje predloženo postrojenje u letnjem režimu glasi:

$$E_L = E_{TO} + E_{EO} + E_{ESK} + E_{TSKL}, \quad (13)$$

E_L - ukupna količina energije koju postrojenje predaje u letnjem režimu [kWh] i

E_{TSKL} - toplotna energija koju predaje sistem sa gasnom turbinom PT SOLAR MERCURY 50 i parnim kotlom u letnjem režimu [kWh].

Ukupna količina CO₂ koja se emituje prilikom rada postrojenja tokom jednog sata ustaljenog režima je:

$$m_h(CO_2) = m_{hO}(CO_2) + m_{hM}(CO_2) + m_{hK}(CO_2) \quad (14)$$

gde su:

$m_h(CO_2)$ - masa CO₂ koju emituje postrojenje za jedan sat rada [kg];

$m_{hO}(CO_2)$ - masa CO₂ koju emituje gasna turbina OPRA OP16 za jedan sat rada [kg];

$m_{hK}(CO_2)$ - masa CO₂ koju emituje parni kotao za jedan sat rada [kg] i

$m_{hS}(CO_2)$ - masa CO₂ koju emituje gasna turbina PT SOLAR MERCURY 50 za jedan sat rada [kg].

Masa ugljen-dioksida koja se emituje tokom jednog sata prilikom rada sistema se računa na sledeći način:

$$m_h(CO_2) = G_{hO} \cdot m_{UO} + G_{hM} \cdot m_{UO} + G_{hS} \cdot m_{US}. \quad (15)$$

Specifična emisija CO₂ u zimskom režimu rada postrojenja proračunava se pomoću sledećeg izraza:

$$m_{ZS}(CO_2) = \frac{m_h(CO_2)}{E_Z}, \quad (16)$$

gde je m_{ZS} - specifična emisija CO₂ u zimskom režimu rada [kg/kWh].

Specifična emisija CO₂ u letnjem režimu rada sistema proračunava se pomoću sledećeg izraza:

$$m_{LS}(CO_2) = \frac{m_h(CO_2)}{E_L}, \quad (17)$$

gde je m_{LS} - specifična emisija CO₂ u zimskom režimu rada [kg/kWh].

Specifična emisija CO₂ u postojećim postrojenjima:

$$e_{PS} = \frac{e_{EA1} + e_{EA2} + e_{EA4} + e_{EA6} + e_{EB1} + e_{EB2}}{7} + e_T, \quad (18)$$

gde su:

e_{PS} - prosečna specifična emisija CO₂ postojećih postrojenja [kg/kWh];

e_{EA1} - specifična emisija CO₂ bloka A1 TE „Nikola Tesla“ [kg/kWh];

e_{EA2} - specifična emisija CO₂ bloka A2 TE „Nikola Tesla“ [kg/kWh];

e_{EA4} - specifična emisija CO₂ bloka A4 TE „Nikola Tesla“ [kg/kWh];

e_{EA6} - specifična emisija CO₂ bloka A6 TE „Nikola Tesla“ [kg/kWh];

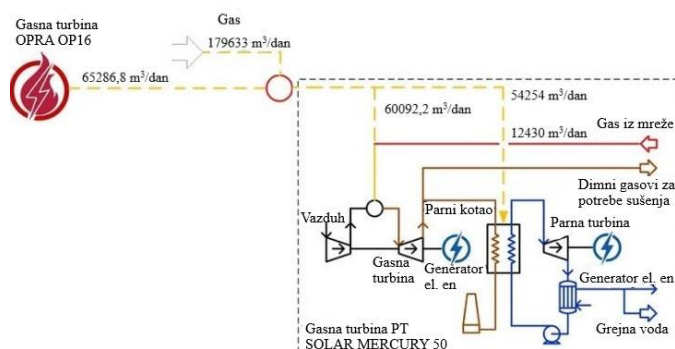
e_{EB1} - specifična emisija CO₂ bloka B1 TE „Nikola Tesla“ [kg/kWh];

e_{EB2} - specifična emisija CO₂ bloka B2 TE „Nikola Tesla“ [kg/kWh] i

e_T - Prosečna specifična emisija CO₂ toplanama u Srbiji [kg/kWh].

3. PRIKAZ REZULTATA

Šema predloženog postrojenja data je na slici 4.



Slika 4. Šema postrojenja

Sastavi kiselog i namešanog gasa prikazani su u tabeli 1 i tabeli 3. Karakteristike sistema sa gasnom turbinom OPRA OP16 i gasnom turbinom PT SOLAR MERCURY 50 date su u tabeli 2 i tabeli 4.

Tabela 1. Zapreminski sastav kiselog gasa

Azot (N ₂)	7,36 %
Ugljen-dioksid (CO ₂)	64,68 %
Metan (CH ₄)	26,73 %
Etan (C ₂ H ₆)	0,54 %
Propan (C ₃ H ₈)	0,13 %
Butan (C ₄ H ₁₀)	0,2 %

Tabela 2. Tehničke karakteristike postrojenja sa GT OPRA OP16

Potrošnja gasa	65 286,8 m ³ /dan
Toplotni konzum	3 200 kW
Električna sanga	1 913 kW

Tabela 3. Zapreminski sastav namešanog gasa

Azot (N ₂)	6,27 %
Ugljen-dioksid (CO ₂)	53,76 %
Metan (CH ₄)	38,63 %
Etan (C ₂ H ₆)	0,72 %
Propan (C ₃ H ₈)	0,2 %
Butan (C ₄ H ₁₀)	0,18 %

Tabela 4. Tehničke karakteristike postrojenja sa PT SOLAR MERCURY 50

Potrošnja namešanog gasa u turbini	75 522,2 m ³ /dan
Potrošnja kiselog gasa u kotlu	54 254 m ³ /dan
Električna snaga gasne turbine	4 845 kW
Električna sanga parnog kotla	3 776 kW
Isporuka grejne vode zimi	6 500 kW
Korisna toplotna snaga leti	2 600 kW

U tabeli 5 date su vrednosti specifičnih emisija već postojećih energetskih sistema u Republici Srbiji [12], [13]:

Tabela 5. Specifične emisije CO₂ u postojećim sistemima

Postrojenje	Spec. emisija CO ₂
TE "Nikola Tesla"	1,143 kg/kWh
Toplane u gradovima Srbije	0,235 kg/kWh
Ukupna specifična emisija	1,378 kg/kWh

U tabeli 6 prikazane su vrednosti specifične emisije ugljen-dioksida CO₂ predloženog postrojenja dobijene računskim putem.

Tabela 6. Vrednosti specifične emisije CO₂ predloženog postrojenja

Specifična emisija sistema zimi	0,6483 kg/kWh
Specifična emisija sistema leti	0,9063 kg/kWh

4. ZAKLJUČAK

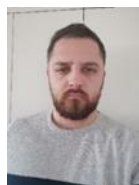
Predmet rada je bio proračun emisije ugljen-dioksida CO₂ koji nastaje sagorevanjem kiselog i namešanog gasa u predloženom postrojenju sa gasnim turbinama i parnim kotlom. Cilj rada je bio da se pokaže uticaj postrojenja u kojem bi se koristio kiseli gas na životnu sredinu. Planirana je izgradnja postrojenja koji se sastoji iz dve celine na nalazištu kiselog prirodnog gasa „Novo Miloševo“ koji nije isplativo prečišćavati kako bi se dostigao zadovoljavajući kvalitet da se taj gas pusti u gasnu mrežu. Na osnovnu dobijenih vrednosti vidi se da bi izgradnja ovog postrojenja bila ekološki opravdana, s'obzirom da bi sistem u poređenju sa već postojećim sistemima koji su u ovom radu uzeti u obzir u letnjem režimu emitovao 35 % manju količinu CO₂ u atmosferu, dok bi u zimskom režimu rada emisija bila čak 53 % niža. U budućnosti da bi se izgradnja postrojenja realizovala neophodno bi bilo tačno definisati mogućnosti upotrebe dobijene toplotne energije. S obzirom da sistem radi u

letnjem i zimskom režimu i da je specifična emisija tokom rada u letnjem režimu gotovo 40 % veća u odnosu na specifičnu emisiju tokom rada u zimskom režimu trebalo bi razmotriti mogućnosti trigeneracije i mogućnost plasmana dobijene rashladne energije kako bi se povećao stepen iskorišćenja predloženog sistema i kako bi se smanjila specifična emisija CO₂ u letnjem režimu rada. Implementacija ove tehnologije bi takođe pozitivno uticala na prost period otplate predloženog sistema.

5. LITERATURA

- [1] Milanović, Z. (2010). „Energetske mašine – Termodinamičke i strujne osnove toplotnih turbomašina“, Univerzitet u Banja Luci ISBN: 978-99938-39-27-9.
- [2] Radosavljević, D, Aćimović, D i Šotra, V (2017). „Istorijat klasifikacija i primena gasnih turbina“, 10th International Scientific Conference “Science and Higher Education in Function of Sustainable Development”, 06 – 07 October 2017, Mečavnik – Drvengrad, Užice, Serbia.
- [3] Brun, K. and Kurz, R. (2019). “Introduction to Gas Turbine Theory”, 3rd Edition, Solar Turbines Incorporated, ISBN: 978-0-578-48386-3
- [4] <https://www.ipieca.org/resources/energy-efficiency-solutions/power-and-heat-generation/open-cycle-gas-turbines/> 14.09.2021.
- [5] <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/brayton.html> 15.09.2021.;
- [6] Krawczyk, D, A. (2019). Buildings 2020+ - Energy sources, Printing House of Bialystok Univesity of Technology, ISBN 978-83-65596-72-7, <https://doi.org/10.24427/978-83-65596-73-4>
- [7] Kuiken, K. (2016) "Gas and dual fuel engines 1", Target Training Centre, ISBN-10 : 9079104043, ISBN-13 : 978-9079104048.
- [8] Marković, Z., Erić, M., Cvetinović, D., Stefanović, P., Spasojević, V., Škobalj, P. (2015) Proračun specifične emisije ugljen dioksida iz termoelektrana Nikola Tesla A i B, Termotehnika, DOI: <https://doi.org/10.5937/terteh42-11676>.
- [9] Stefanović, P.Q., Marković, Z.J., Bakić, V.V., Cvetinović, D.B., Turanjanin, V.M., Jovanović, M.P. (2011) “Emisija gasova sa efektom staklene baste u toplanama javnih preduzeća daljinskog grejanja u gradovima Srbije”, Termotehnika, 37(2), 183-195, UDK: 504.7:662.71/.74.

Kratka biografija:



Jovan Prole rođen je 16.01.1997. godine u Novom Sadu, Republika Srbija. Završio gimn. „Jovan Jovanović Zmaj“ i nakon toga diplomirao na Fakultetu Tehničkih Nauka na departmanu za energetiku i procesnu tehniku 2020. godine u Novom Sadu sa temom „Gasni motori“.