



PRIVREDNA KOMORA SRBIJE
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

RUDARSTVO 2022

ODRŽIVI RAZVOJ U RUDARSTVU I ENERGETICI

ZBORNİK RADOVA



RADOVA/ PROCEEDINGS

ori:
tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina
komora Srbije

Izdavač / Publisher

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina

Urednik / Editor
Miroslav Ignjatović

Štampa / Printed by
Akademska izdanja

Tiraž / Copies
180

ISBN: 978-86-80420-25-7.

Beograd, 23 maj 2022

13. Simpozijum „Rudarstvo 2022“ Održivi razvoj u rudarstvu i energetici

NAUČNI ODBOR

prof.dr Ljubiša Andrić, ITNMS, Beograd; dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; dr Dragan Radulović, ITNMS, Beograd; Prof. dr Neđo Đurić, Tehnički institut, Bjeljina; prof.dr Grozdanka Bogdanović, Tehnički fakultet; dr Dragana Jelisavac Erdeljan, MRE R. Srbije; dr Branislav Marković, ITNMS, Beograd; prof. dr Jovica Sokolović, Tehnički fakultet, Bor; prof.dr Predrag Jovančić, RGF, Beograd; dr Slavica Mihajlović, ITNMS, Beograd; dr Dragana Ranđelović, ITNMS, Beograd; dr Vladimir Jovanović, ITNMS, Beograd; Prof. Snežana Ignjatović, RGF, Beograd; dr Nevad Ikanović, JP Elektroprivreda BiH, prof.dr Omer Musić, RGG fakultet, Tuzla; dr Nataša Đorđević, ITNMS, Beograd; dr Zlatko Dragosavljević, rudnik GROT; dr Zajim Hrvat, JP Elektroprivreda BiH; Prof.dr Marina Dojčinović, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd; dr Edin Lapandić, JP Elektroprivreda BiH, dr Miro Maksimović, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; dr Rada Krgović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; dr Aleksandra Patarić, ITNMS, Beograd; dr Branko Petrović, JP EPS, Ogranak RB; Kolubara; mr Jadranka Vukašinović, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; mr Šefik Sarajlić, RMU Đurđevik; dr Dimšo Milošević, RiT „Ugljevik“, Ugljevik; dr Milisav Tomić, JP EPS, Ogranak RB Kolubara; dr Halid Čičkušić, ZDR „Kreka“, BiH, dr Milica Vlahović, IHTM, Beograd; dr Sanja Martinović, IHTM, Beograd; mr Žarko Nestorović, JPEPS, Ogranak HE Đerdap

PROGRAMSKI ODBOR

dr Miroslav Ignjatović, Privredna komora Srbije; Milan Jakovljević, JP EPS; Danko Prokić, JP EPS; Andrea Radonjić, Rio Tinto; Jovica Radisavljević, Zijin Bor Copper doo Bor; Prof. dr Milanka Negovanović, RGF, Beograd; Branko Đukić, JP PEU, Resavica; Borivoje Stojadinović, IRM Bor; Ivan Filipov, rudnik Kovin; Drago Vasović, rudnik Veliki Majdan; Mr Šahbaz Lapandić, rudnik mrkog uglja Banovići

SADRŽAJ / CONTENTS:**Plenarna predavanja / Plenary Presentations**

FITORUDARENJE NIKLA: RAZVOJ, METODE I MOGUĆNOST PRIMENE U SRBIJI Branislav Marković, Dragana Ranđelović, Gvozden Jovanović, Miroslav Sokić	5
NAUČNA STRUČNA VALIDACIJA BENTONITSKOG MINERALNOG RESURSA, NA OSNOVU FIZIČKO-HEMIJSKIH I MINERALOŠKIH ISPITIVANJA UZORKA BENTONITA IZ LEŽIŠTA „BIJELO POLJE“ – OPŠTINA BAR Dragan S. Radulović, Ljubiša Andrić, Branislav Ivošević, Dejan Todorović, Vladimir Jovanović, Sonja Milićević, Jelena Petrović	23
TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE LIGNITA KOLUBARSKOG UGLJONOSNOG BASENA, SRBIJA Bogoljub Vučković, Dragana Životić, Biljana Radovanović	38
POBOLJŠANJE TEHNOLOGIJE PODVODNE EKSPLOATACIJE UGLJA NA RUDNIKU KOVIN Ivan Filipov	48
PRIMENA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA KOD IZRADE VERTIKALNIH JAMSKIH PROSTORIJA-OKANA Duško Đukanović, Nemanja Đokić	59
PROIZVODNJA ČVRSTOG BIOGORIVA OD OTPADNE BIOMASE POSTUPKOM HIDROTERMALNE KARBONIZACIJE Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Ercegović, Marija Koprivica, Marija Kojić, Jelena Milojković, Jelena Dimitrijević	71
STRATEGIJA RUDARSKIH KOMPANIJA ZA VREME PANDEMIJE COVID-19 Slavica Miletić, Dejan Bogdanović, Miroslav Ignjatović, Emina Požega, Zdenka Stanojević Šimšić, Vesna Conić	77
TERMALNA ANALIZA MEHANIČKI AKTIVIRANOG NATRIJUM KARBONATA I NJEGOVE FAZNE PROMENE TOKOM VREMENA RELAKSACIJE Nataša Đorđević, Slavica Mihajlović, Sanja Martinović, Milica Vlahović	85
KARAKTERIZACIJA UZORKA HOLOVIM EFEKTOM I VAN DER PAUOVOM METODOM Emina Požega, Nikola Vuković, Danijela Simonović, Milijana Mitrović, Slavica Miletić, Miloš Janošević, Miomir Mikić	93
RECIKLAŽA OTPADA KOJI SADRŽI MATERIJALE NA BAZI KARBONATNIH MINERALNIH SIROVINA Slavica Mihajlović, Nataša Đorđević, Vladan Kašić, Vladimir Jovanović	107

Saopštenja / Contributions

PROCESNA ANALITIKA Zorica Gojak	125
DEFINISANJE OPTIMALNE KONTURE POVRŠINSKOG KOPA ZAGRAĐE 5 KOD BORA Daniel Kržanović, Radmilo Rajković, Miomir Mikić, Milenko Jovanović	118
OSKULTACIJA FLOTACIJSKIH JALOVIŠTA Sandra Milutinović, Ivan Svrkota, Ljubiša Obradović, Miomir Mikić	125
PRIMENA KOMBINOVANIH (HIBRIDNIH) MATERIJALA U GEOMEMBRANAMA Milenko Jovanović, Daniel Kržanović, Radmilo Rajković, Miomir Mikić Emina Požega	136
ANALYSIS OF STABILITY OF THE FINAL SLOPE OF THE OPEN PIT MINING SOUTH DISTRICT OF THE COPPER MINE MAJDANPEK IN THE NORTHWESTERN PART - LANDSLIDE ZONE Radmilo Rajković, Daniel Kržanović, Miomir Mikić, Milenko Jovanović, Emina Požega	144
REKULTIVACIJA SPOLJAŠNJEG ODLAGALIŠTA JALOVINE SARAKA POVRŠINSKOG KOPA „VELIKI KRIVELJ“, SRBIJA Miomir Mikić, Milenko Jovanović, Radmilo Rajković, Igor Svrkota	152
REKULTIVACIJE ODLAGALIŠTA KONCENTRATA PIRITA, FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA I ODLAGALIŠTA NEUTRALIZACIONOG MULJA NA LOKACIJI ČUKARU PEKI, SRBIJA Miomir Mikić, Sandra Milutinović, Milenko Jovanović, Daniela Urošević	170
MONITORING FORMIRANOG ODLAGALIŠTA U OTKOPANI PROSTOR PK KRAKU BUGARESKU CEMENTACIJA 1 Miomir Mikić, Emina Požega, Radmilo Rajković, Daniel Kržanović	188
BUDUĆNOST UGLJA U ENERGETICI REPUBLIKE SRBIJE NAREDNIH DECENIJA Mirko Ivković, Vladimir Todorović, Boban Branković, Zorica Ivković, Dejan Dramlić	179
BUDUĆNOST PODZEMNE GASIFIKACIJE UGLJA SA ASPEKTA ODRŽIVOG RAZVOJA David Petrović, Duško Đukanović, Nemanja Đokić, Vladimir Todorović	190
ANALIZA REZERVE UGLJA PREDISPONIRANIH ZA SISTEM PODZEMNE EKSPLOATACIJE U REPUBLICI SRBIJI Ivković Zorica, Tošić Dražana, Dramlić Dejan	201
UTICAJ SLOŽENIH RUDARSKO- GEOLOŠKIH FAKTORA NA IZBOR NAČINA OTKOPAVANJA ŠIROKOČELNOM OTKOPNOM TEHNOLOGIJOM Halid Čičkušić, Kenan Herco, Šefik Sarajlić	209
POSTUPAK IZRADE KVALITETNIH GEOLOŠKIH PODLOGA U SLUŽBI PRIMENJENE GEOLOGIJE, LEŽIŠTE UGLJA „POLJE G“, KOLUBARSKI UGLJONOSNI BASEN, SRBIJA Slobodan Lalatović	220

ZNAČAJ I REALIZACIJA GEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA ZA IZGRADNJU TE "KOLUBARA B"	233
Miodrag Kezović	
DETALJNA ANALIZA PRVOG UGLJENOG SLOJA U DELU LEŽIŠTA "TAMNAVA-ZAPADNO POLJE"	227
Miodrag Kezović	
KOMPJUTERSKI SIMULACIONI MODEL DISKONTINUALNOG SISTEMA EKSPLOATACIJE UGLJA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	259
Dimšo Milošević, Miro Maksimović	
ODREĐIVANJE UKUPNE ŽIVE U UGLJU POMOĆU ANALIZATOR AMA-254	269
Rada Krgović, Jadranka Todorović	
PREGLED OSNOVNIH SIROVINA ZA PROIZVODNJU ČELIKA U SVIJETU U RAZDOBLJU OD 2000. DO 2022. GODINE	294
Mirko Gojić, Stjepan Kožuh, Ivana Ivanić	
KOMASACIJA I ODRŽIVO KORIŠĆENJE POLJOPRIVRENOG ZEMLJIŠTA	308
Milan Trifković, Miroslav Kuburić, Jelena Tatalović, Žarko Nestorović	
KOMPLEKSNOŠĆ SISTEMA ODVODNJAVANJA NA PK GACKO	313
Aleksandar Ateljević, Dušan Nikčević, Nenad Lasica, Petar Marković, Ranko Stojanović	
MODELIRANJE ZAGAĐENJA ZEMLJIŠTA U ZONI RUDNIKA SA POVRŠINSKOM EKSPLOATACIJOM LIGNITA, PRIMENOM DALJINSKE DETEKCIJE I GIS-a	325
Milislav Tomić	
POJAM, ZNAČAJ I NAČIN FORMIRANJA ORGANIZACIONE KULTURE U DELATNOSTI RUDARSTVA	334
Blagoje Aleksić	
PRIMENA ANTRACITA KAO TEHNOLOŠKE SIROVINE U SPECIJALNE NAMENE	350
Bojana Maksimović, Branislav Stakić, Jovica Sokolović, Ivana Ilić	
UNAPREĐENJE UPRAVLJANJA POMOĆNOM MEHANIZACIJOM NA PK „DRMNO“ PRIMENOM KONCEPTA PAMETNOG RUDARSTVA	357
Filip Todorović, Goran Anđelić	

FITORUDARENJE NIKLA: RAZVOJ, METODE I MOGUĆNOST PRIMENE U SRBIJI

**Branislav Marković*, Dragana Ranđelović, Gvozden Jovanović,
Miroslav Sokić**

Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd

Apstrakt

*Razvoj industrije utiče na potražnju i cenu nikla u narednim godinama, što otvara mogućnost za razvoj i primenu dodatnih načina njegove eksploatacije iz sekundarnih resursa. Fitorudarenje nikla je in situ tehnologija koja koristi biljke sa mogućnošću hiperakumulacije ovog elementa za njegovo uklanjanje iz subekonomskih ruda. Ova studija predstavlja analizu trenutno ustanovljenih metoda i postignutih rezultata u hidrometalurškim postupcima pri fitorudarenju nikla, kao i mogućnost da se na teritoriji Srbije razviju adekvatne metode i primeni ova tehnologija u praksi. Naša istraživanja su dokazala da je moguće sintetisati soli nikla iz hiperakumulatorske vrste *Odontarrhena muralis*, koja se od prirode javlja na ultramafitskim zemljištima u Srbiji. U preliminarnim istraživanjima na domaćoj populaciji vrste koristeći ustanovljene metode, usled objektivnih operativnih ograničenja i manje količine početne biomase dobijene su soli nikla čistoće 60% i 73%. Obimnija istraživanja, koja podrazumevaju veće količine početne biomase i namensku kultivaciju biljaka na odgovarajućim ultramafitskim zemljištima, neophodna su kako bi se mogle ispitati dodatne mogućnosti za proizvodnju nikla i široke lepeze niklovih produkata, kao i tehnološke aspekte ove proizvodnje sa posebnim naglaskom na održivost i zaštitu životne sredine. Imajući u vidu takve benefite, kao i činjenicu da je cena nikla u trendu porasta, fitorudarenje u budućnosti može imati značajniji udeo u proizvodnji metala nikla i njegovih soli.*

***Ključne reči:** hiperakumulatori, tehnologija fitorudarenja, nikal, hidrometalurgija*

1. UVOD

Produkcija metalnih sirovina iz sekundarnih resursa privlači sve više pažnje u svetu jer omogućava zadovoljenje potreba za kritičnim resursima i omogućava primenu koncepta cirkularne ekonomije. Metode za ekstrakciju kritičnih sirovina iz sekundarnih resursa često su inovativne i "zelene" sa tendencijom da budu u što većoj meri održive i sa minimalnim uticajem na životnu sredinu. Fitorudarenje predstavlja jednu takvu *in situ* tehnologiju koja koristi biljke za uklanjanje metala iz subekonomskih ruda tj. ruda koje sadrže niže koncentracije elemenata od interesa da bi rudarenje klasičnim metodama bilo isplativo, koristeći sposobnost biljaka da akumuliraju metale u svojim organima. Fitorudarenje različitih elemenata poput Ag, Cd i Ni je trenutno u razvoju, a naročito je primenjivo u slučaju nikla, iz razloga što veliki broj biljaka sa sposobnošću akumulacije metala u visokim koncentracijama poseduje tu sposobnost upravo u odnosu na ovaj element [1]. Nikal je strateški dragoceni resurs jer se prevashodno koristi kao legirajuća sirovina za nerđajući čelik budući da mu daje plastičnost i čvrstoću potrebnu za deformaciju

PROIZVODNJA ČVRSTOG BIOGORIVA OD OTPADNE BIOMASE POSTUPKOM HIDROTERMALNE KARBONIZACIJE

Jelena Petrović¹, Marija Simić¹, Marija Ercegović¹, Marija Koprivica¹, Marija Kojić², Jelena Milojković¹, Jelena Dimitrijević¹

¹Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, ²Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za radijacionu hemiju i fiziku, „Gama“, Univerzitet u Beogradu, Beograd

Apstrakt

Poslednjih decenija, masovno iskorišćenje i eksploatacija fosilnih goriva dovodi do brojnih negativnih uticaja na životnu sredinu. Iz ovog razloga se se sve više teži ka implementaciji tehnologija koje bi omogućile proizvodnju biogoriva iz obnovljivih izvora. Hidrotermalna karbonizacija (HTC) je prepoznata kao jedna od visoko efikasnih i perspektivnih tehnologija za valorizaciju otpadne biomase kroz proizvodnju ugljeničnih materijala (hidročadži) široke upotrebne vrednosti. U okviru ovog rada komina grožđa je podvrgnuta HTC tretmanu na različitim temperaturama i izvršeno je ispitivanje gorivnih karakteristika dobijenih hidročadži. Rezultati su pokazali da sa porastom temperature karbonizacije rastu gornja i donja toplotna moć (od 20,40 do 26,78 MJ/kg i od 18,80 do 25,36 MJ/kg, redom), kao i energetska gustina u dobijenim hidročadžima, dok istovremeno atomski O/C i H/C odnosi, isparljive materije (sa 75,50 % na 61,22 %), i energetska prinos opadaju. Preliminarni rezultati ove studije sugerišu da dobijene hidročadži pokazuju poboljšana gorivna svojstva u odnosu na kominu grožđa i da konverzija primenom HTC-a može biti korisna metoda za upravljanje otpadom i povrat energije iz otpadne biomase.

Ključne reči: Hidrotermalna karbonizacija; biogorivo; HHV; hidročadž; gorivne karakteristike.

1. Uvod

Jedan od izazova sa kojima se svet danas suočava jeste dovođenje potražnje i ponude energije u ravnotežno stanje. Sve veća potražnja energije na globalnom nivou dovodi do sve intenzivnije eksploatacije uglja koji je njen najvažan izvor i na koji je oslonjena čitava moderna civilizacija. Međutim, iskorišćenje uglja za proizvodnju električne energije ima velike posledice po životnu sredinu koje uključuju; emisiju toksičnih gasova, globalno zagrevanje, itd. Pored toga uglj nije obnovljiv izvor i njegovo formiranje traje milionima godina [1-3]. Iz ovog razloga se razvila potreba za sve većom proizvodnjom energije iz obnovljivih izvora. Dobijanje energije iz obnovljivih izvora kao što su solarna, vetar i geotermalna energija zavisi od ogromnog niza varijabli koje uključuju troškove proizvodnje, efikasnost proizvodnje, dizajn i dostupnost tehnologije, i drugo. Stoga je potrebno vreme kako bi se ove tehnologije implementirale i neophodno je istražiti i druge alternativne izvore koji bi obezbedili održivu proizvodnju i ispunili zahteve za trenutnom potražnjom električne energije [1]. Posebna pažnja poslednjih godina je usmerena

ka iskorišćenju otpadne biomase [3-7]. Međutim, iako predstavlja ogromnu rezervu za proizvodnju obnovljive energije, nedostaci koji se javljaju tokom direktnog sagorevanja biomase umanjuju interesovanje za njenim iskorišćenjem [1]. Visoka vlažnost, vlaknasta i hidrofилna priroda, velika zapremina i niska kalorijska vrednost su neki od inferiornih kvaliteta otpadne biomase koji stvaraju prepreke i povećane troškove za laku proizvodnju obnovljive energije. Predtretman biomase i njena konverzija su se javili kao potencijalno rešenje za prevazilaženje ovih problema [1, 4-6]. Među dostupnim opcijama tretmana kao jedna od obećavajućih i veoma efikasnih tehnologija za konverziju vlažne otpadne biomase u multifunkcionalne materijale istakla se metoda hidrotermalne karbonizacije (HTC). HTC predstavlja termo-hemijski proces pri kom se biomasa karbonizuje u vodenom medijumu na umerenoj temperaturi (180-280 °C) i autogenom pritisku, tj pritisku koji se sam generiše unutar reaktora. Tokom ovog procesa, biomasa se zatvara u reaktor (autoklav) sa odgovarajućim sadržajem vode; zatim se smeša zagreva do karbonizacione temperature tokom konverziju širokog spektra otpadnih biomasa koje je ova tehnologija primenjena za konverziju širokog spektra otpadnih biomasa koje uključuju poljoprivredni otpad, kanalizacioni mulj, organski otpad i druge [1]. Dva glavna proizvoda ovog procesa su čvrsti ugljenikom-bogat materijal nazvan „hidročadž“ i procesna voda koju čine brojne rastvorene hemikalije i neorganski elementi iz polazne biomase. Formiranje finalnog proizvoda zavisi od različitih parametara procesa kao što su vreme reakcije, pritisak i temperatura i prisustvo katalizatora. Najvažniji parametar koji reguliše karakteristike konačnog proizvod jeste temperatura [4-6]. Glavna prednost HTC-a u odnosu na druge termohemijske konverzije tehnologije (piroliza, gasifikacija, torificacija i spaljivanje) je njegova sposobnost konverzije vlažne sirovine uz relativno visoke prinose bez prethodnog odvodnjavanja i sušenja i bez emisije gasova [5]. Konverzija biomase u hidročadž je egzoterman proces koji se odigrava mehanizmom centralnih reakcionih puteva koji obuhvataju reakcije hidrolize, dehidracije, dekarboksilacije [1, 4].

Dosadašnja istraživanja su pokazala da su hemijska struktura i energetska sadržaj hidročadži slični prirodnom uglju, što ga čini pogodnim za upotrebu kao čvrsto gorivo u konvencionalnom sagorevanju. Tokom ovog procesa dolazi do poboljšanja gorivnih karakteristika hidročadži u odnosu na polaznu biomasu, povećava se sadržaj ugljenika, masa i gustina energije, i poboljšava mogućnost odvodnjavanja [1, 5, 8, 9]. Pored toga HTC tretmanom se povećava hidrofobnost materijala i mogućnost njegovog mlevenja; što znači manje problema za skladištenje i transport. Zahvaljujući ovim karakteristikama hidročadži su dosada primenjene za prečišćavanje vode, kao izvor energije, za sekvstraciju ugljenika, za poboljšanje kvaliteta zemljišta (bio-đubriva), materijali za skladištenje energije itd [8]. Galvani cilj ovog rada jeste valorizacija otpadne kominu grožđa (KG) primenom HTC procesa. Akcenat je stavljen na ispitivanje uticaja temperature procesa na odabrane gorivne karakteristike dobijenih čvrstih hidročadži, kako bi se utvrdio njihov potencijal za dalju primenu kao čvrstih goriva. Dobijeni rezultati ispitivanja

elementarnog sastava, toplotnih moći, energetskog prinosa i gustine su upoređeni i analizirani, a na osnovu njih su se stekla saznanja o uticaju temperature na strukturu i karakteristike hidročađi, i njihove razlike u odnosu na polaznu biomasu. Ova studija pruža osnovu za proširenje polja primene HTC tehnologije i poboljšanje korišćenja dostupnih otpadnih resursa.

2. Materijali i metode

2.1.1. Priprema hidročađi

Hidročađi su pripremane tako što je 10 g KG i 150 mL ultra čiste vode karbonizovano u laboratorijskom autoklavu (Carl Roth, Model II). Karbonizacija je sprovedena na pet različitih temperatura (180, 200, 220, 240 i 260 °C) u toku od 1h. Dobijene hidročađi (H180, H200, H220, H240 i H260) su profiltrirane kako se bi odvojile od procesne vode, isprane ultra čistom vodom i osušene do konstantne mase u sušnici na 105 °C, a potom analizirane.

2.1.2. Karakterizacija hidročađi

Sadržaj isparljivih materija u KG i dobijenim hidročađima je određen gravimetrijski [8]. Kako bi se uporedili i pratili atomski O/C i H/C odnosi, KG i dobijene hidročađi su podvrgnute analizi elementarnog sastava primenom Vario EL III; C, H, N, S/O elementarnog analizatora. Sadržaj kiseonika je određen iz razlike tako što je sadržaj ostalih elemenata (C, H, N i S) oduzet od 100%, dok su gornja toplotna moć (HHV), donja toplotna moć (LHV), energetska gustina (EG) i energetski prinos (EP) izračunati na osnovu jednačina (1) - (4), redom [6, 9].

$$HHV = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211Pepeo \quad (1)$$

$$LHV = HHV - 0.21H - 0.008O - 0.024Vlaga \quad (2)$$

gde su C, H, S, O, N, pepeo i vlaga maseni procenti elementarnog ugljenika, vodonika, sumpora, kiseonika i azota, sadržaj pepela i vlage, redom.

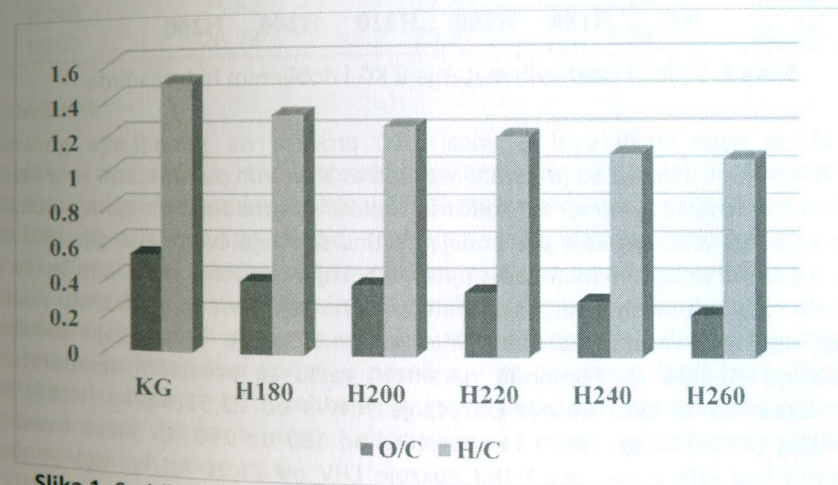
$$EG = \frac{HHV_{hidročid}}{HHV_{biomasa}} \quad (3)$$

$$EP = \frac{Prinos_{hidročidr} \times HHV_{hidročidr}}{Prinos_{biomase} \times HHV_{biomase}} \quad (4)$$

3. Rezultati i diskusija

Kako je cilj ove studije da se primenom HTC postupka poboljšaju gorivne karakteristike otpadne KG u dobijenim hidročađima je praćena promena atomskih odnosa, isparljivih materija, gornje i donje toplotne moći, kao i energetskog prinosa i gustine karbonizacije na različitim temperaturama i rezultati su upoređeni sa

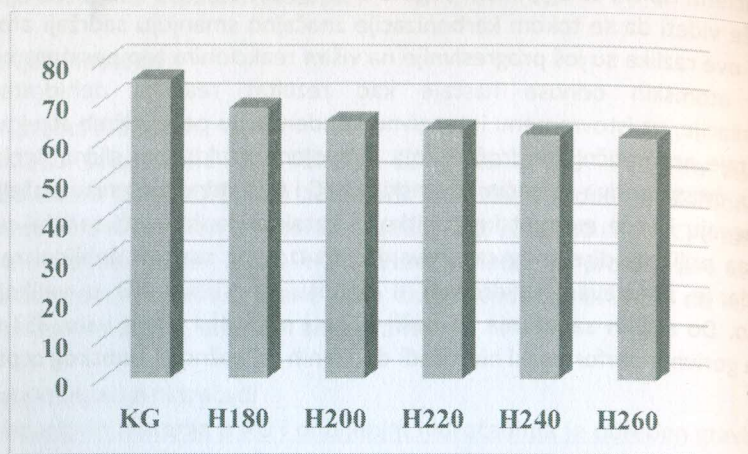
polaznom biomasom. Na osnovu rezultata elementarne analize su izračunati atomski O/C i H/C odnosi kako bi se stekao uvid u hemijsku transformaciju polazne sirovine tokom HTC procesa (Slika 1). Visok H/C i O/C atomski odnos ukazuje na prisustvo makro molekula biljaka, poput celuloze, hemiceluloze i lignina, dok su niski koeficienti tipični za ugljikom bogate aromatične strukture [10]. Sa Slike 1 se jasno može videti da se tokom karbonizacije značajno smanjuju sadržaji atomskih odnosa, a ove razlike su još progresivnije na višim reakcionim temperaturama. Ova redukcija atomskih odnosa nastaje kao rezultat reakcija dehidratacije i dekarboksilacije, uz istovremenu intenzivnu kondenzaciju policikličnih struktura pri čemu nastaje aromatičnija hidročađ koja je svojom strukturom slična lignitu [5]. Generalno, čvrsta goriva sa većim atomskim H/C i O/C odnosima nisu poželjna jer podrazumevaju i veće energetske gubitke, a karakteriše ih i veći sadržaj vodene pare i dima prilikom direktnog sagorevanja [4]. Iz ovog razloga dobijeni rezultati ukazuju da je sagorevanje hidročađi u odnosu na sirovu KG u velikoj meri poboljšano. Do sličnih zapažanja su došli i Lee i sar. [4] i Liang i sar. [3] tokom ispitivanja gorivnih performansi hidročađi dobijenih od kožnog i šumskog otpada.



Slika 1. Sadržaj O/C i H/C atomskih odnosa u KG i dobijenim hidročađima

Pored elementarnog sastava, bitna karakteristika čvrstih goriva jeste i sadržaj isparljivih materija. Generalno, sirova biomasa pokazuje visok sadržaj isparljivih materija, što ujedno predstavlja i glavnu prepreku za njeno direktno korišćenje kao goriva jer dovodi do niske efikasnosti sagorevanja i male entalpije, a uz to i problema sa emisijom štetnih gasova i pare [1]. Na osnovu dobijenih rezultata (Slika 2) može se zaključiti da je hidrotermalna karbonizacija doprinela značajnoj degradaciji isparljivih materija. Tako je u KG primećen sadržaj od 75,5 % isparljivih materija, dok se u dobijenim hidročađima ovaj sadržaj smanjuje sve do 61,2 % koliki je u H260 (Slika 2). Uočeno značajno smanjenje sadržaja isparljivih materija u proizvedenim hidročađima pri porastu temperature sa 180 na 260 °C najverovatnije

je izazvano hidrolizom, dehidracijom i dekarboksilacijom gradivnih komponenti polazne lignocelulozne biomase. Smanjenje isparljivih materija od oko 20% primećeno je i u prethodnim istraživanjima tokom hidrotermalne karbonizacije komine masline, lista paulovnije i šumskog otpada [3, 5].



Slika 2. Sadržaj isparljivih materija u KG i dobijenim hidročadima

Kako bismo dalje stekli uvid u uticaj HTC procesa na poboljšanje gorivnih performansi KG, u Tabeli 1 su prikazani rezultati analiziranih parametara. HHV i LHV predstavljaju faktore vezane za količinu toplote oslobođene iz goriva tokom sagorevanja, EG vrednost koja predstavlja gustinu sadržaja čvrste energije, dok EP zavisi od prinosa dobijenih hidročadi i njihovih gornjih toplotnih moći. Kao što se iz priloženih rezultata može videti, iako je KG sirovina koja poseduje relativno visoke sadržaje toplotnih moći, hidrotermalnim tretmanom se ti sadržaji dodatno poboljšavaju (Tabela 1). Pomenuti parametri rastu sa porastom temperature karbonizacije, pa se tako uočava povećanje HHV-a od 23,53 MJ/kg (H180) do 26,78 MJ/kg (H260) sa porastom temperature od 180 do 260 °C. Sličan trend je primetan i kod LHV-a, pa tako H180 pokazuje LHV od 21,91 MJ/kg, dok je ovaj parametar karbonizacijom na 260 °C povećan na 25,37 MJ/kg. Razlog porasta HHV i LHV-a u dobijenim hidročadima tokom HTC tretmana najverovatnije dolazi usled degradacije strukturnih konstituenata biomase sa niskim gorivnim moćima, na prvom mestu hemiceluloze i celuloze, kao i porasta sadržaja ugljenika, dok se sadržaj kiseonika smanjuje [5, 7]. Štaviše, porast reakcione temperature dovodi do sve brže degradacije strukturnih sastojaka, što uzrokuje formiranje hidročadi sa višim toplotnim moćima. Osim toga, u poređenju sa lignitom (16,3 MJ/kg) [5], sve dobijene hidročadi pokazuju bolji energetske potencijal od ovog komercijalnog uglja. Toplotne moći dobijene u ovoj studiji su više nego one koje dobijene prilikom karbonizacije komine grožđa [7] i supstrata za gajenje gljiva [9], a u skladu sa rezultatima HHV-a hidročadi dobijenih karbonizacijom šumskog otpada [3].

Pored toplotnih moći na poboljšanje gorivnih karakteristika KG primenom HTC procesa ukazuju i rezultati energetske gustine (Tabela 1). Kao što se može videti sa porastom temperature karbonizacije dolazi do povećanja ovog parametra sa 1,15 na 1,31. Suprotno ovom trendu, sadržaj energetske gustine opada (Tabela 1), iz razloga što se porastom temperature dobija sve manji prinos čvrste hidročadi. Slična zapažanja su imali i Liu i sar. [4] tokom istraživanja gorivnih kvaliteta hidročadi dobijenih od kokosovih vlakana i listova eukaliptusa.

Tabela 1. Sadržaj HHV, LHV, energetske gustine i energetske gustine u KG i hidročadima

Uzorak	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)	EG	EP (%)
KG	20,40	18,81		
H180	23,53	21,91	1,15	73,36
H200	23,67	22,10	1,16	73,18
H220	24,22	22,71	1,19	63,68
H240	25,32	23,87	1,24	65,34
H260	26,78	25,37	1,31	62,08

4. Zaključak

U okviru ove studije, hidrotermalna karbonizacija je uspešno korišćena za valorizaciju otpadne komine grožđa u čvrste materijale bogate ugljenikom. Dobijeni rezultati ukazuju da povećanje reakcione temperature uzrokuje smanjenje isparljivih materija i prinosa, uz istovremeno značajno povećanje sadržaja toplotnih moći i energetske gustine. Sumirajući rezultate dobijene u ovoj studiji, može se zaključiti da hidročadi dobijene na višim temperaturama karbonizacije pokazuju superiorne karakteristike goriva u poređenju sa polaznom biomasom. Ovaj rad naglašava potencijal HTC tehnologije za iskorišćenje otpadne biomase kao prekursora za dobijanje novih, alternativnih izvora energije sa poboljšanim performansama sagorevanja.

Zahvalnica

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci (ugovor br. 451-03-68/2022-14/200023).

Referenc lista

- [1] Sharma HB, Panigrahi S, Dubey BK. Hydrothermal carbonization of yard waste for solid bio-fuel production: Study on combustion kinetic, energy properties, grindability and flowability of hydrochar. Waste Management. 2019; 91: 108-119.
- [2] Finkelman RB. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. International Journal of Coal Geology. 2004; 59: 19-24.

[3] Liang W, Wang G, Xu R, Ning X, Zhang J, Guo X, Ye L, Li J, Jiang C, Wang P, Wang C. Hydrothermal carbonization of forest waste into solid fuel: Mechanism and combustion behavior. *Energy*. 2022; 246: 123343.

[4] Liu Z, Quek A, Hoekman SK, Balasubramanian R. Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization. *Fuel*. 2013; 103: 943-949.

[5] Petrović J, Simić M, Mihajlović M, Koprivica M, Kojić M, Nuić I. Upgrading fuel potentials of waste biomass via hydrothermal carbonization. *Chemical industry*. 2021; 75: 297-305.

[6] Mihajlović M, Petrović J, Maletić S, Kragulj Isakovski M, Stojanović M, Lopičić Z, Trifunović S. Hydrothermal carbonization of *Miscanthus x giganteus*: Structural and fuel properties of hydrochars and organic profile with the ecotoxicological assessment of the liquid phase. *Energy Conversion and Management*. 2018; 159: 254-263.

[7] Nguyen D, Zhao W, Makela M, Alwahabi Z, Kwong CW. Effect of hydrothermal carbonisation temperature on the ignition properties of grape marc hydrochar fuels. *Fuel*. 2022; 313: 122668.

[8] Lee J, Hong J, Jang D, Park KY. Hydrothermal carbonization of waste from leather processing and feasibility of produced hydrochar as an alternative solid fuel. *Journal of Environmental Management*. 2019; 247: 115-120.

[9] Kojić M, Petrović J, Petrović M, Stanković S, Porobić S, Marinović-Cincović M, Mihajlović M. Hydrothermal carbonization of spent mushroom substrate: Physicochemical characterization, combustion behavior, kinetic and thermodynamic study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2021; 155: 105028.

[10] Cao X, Ro KS, Libra JA, Kammann CI, Lima I, Berge N, Li L, Li Y, Chen N, Yang J, Deng B, Mao J. Effects of Biomass Types and Carbonization Conditions on the Chemical Characteristics of Hydrochars. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 2013; 61: 9401-9411.

STRATEGY OF MINING COMPANIES DURING THE PANDEMIC
COVID-19

Slavica Miletić¹, Dejan Bogdanović², Miroslav Ignjatović³, Emina Požega¹,
Zdenka Stanojević, Šimšić¹, Vesna Conić¹

¹ Mining and metallurgy Institute Bor, ² Technical Faculty Bor, University in Belgrade,
³ Privredna komora Srbije, Beograd

IZVOD

U radu se predlaže metodologija za donošenje trenutne strategije u rudarskim kompanijama za vreme pandemije Covid – 19. U tu svrhu, AHP analiza se preporučuje kao instrument za formulisanje optimalnih modela poslovanja. Izabrani modeli poslovanja su najpoželjniji za rešavanje preventivne strategije kod rudarskih kompanija. Metodologija rada pokazuje primenljivost predloženog modela za rešavanje realnih problema izazvanih pandemijom Covid – 19.

Ključne reči: Preventivna strategija, Rudarske kompanije, Covid-19.

ABSTRACT

The paper proposes a methodology for adopting the current strategy in mining companies during the Covid - 19 pandemic. For this purpose, as an instrument for formulating optimal business models, AHP analysis is recommended. Selected business models are the most desirable for solving the preventive strategy of mining companies. The work methodology shows the proposed model applicability to solve real problems caused by the Covid - 19 pandemic.

Keywords: Preventive Strategy, Mining Companies, Covid-19.

1. UVOD

Pandemija Covid -19 nije zaobišla ni jednu zemlju, prouzrokovala je značajnu štetu u privredama svuda u svetu. Koristeći literaturu, istraživanja pokazuju da mnoge kompanije ili su zatvorene ili su u velikim poslovnim problemima. Ekonomska kriza nije zaobišla ni rudarske kompanije. Nih je zadesila velika transformacija u poslovanju. Od decembra 2019 godine, nova bolest korana virusa brzo se širila počev od Kine što je dovela do globalne epidemije gde izaziva veliku zabrinost za poslovanja kompanija. Svi u svetu su svesni da ne postoji tačan lek za Covid -19 do danas, stoga je veoma bitno napraviti takve modele poslovanja da bi kompanije mogle da obavljaju svoje aktivnosti. Na početku pandemije kompanije su se snalazile, ali dugotrajna pandemija zahteva teške transformacije. Za uspešnu