Analiza normativa klimatskih uslova u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom u svetlu zakonske regulative Republike Srbije

NIKOLA M. LILIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

ALEKSANDAR S. CVJETIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 622.4(497.11)

DOI: 10.5937/tehnika1904517L

Savremenu podzemnu eksploataciju ležišta mineralnih sirovina, uključujući i rudarstvo u Srbiji, karakterišu tri opšta trenda: sve dublji rudnici, mehanizovanije rudarske aktivnosti i stroži standardi bezbednosti i zdravlja na radu. Ventilacija rudnika u datim uslovima predstavlja jednu od najznačajnijih komponenti troškova energije pri obezbeđivanju potrebnih količina vazduha za provetravanje, kvaliteta rudničke atmosfere i zahtevanih klimatskih uslova sa aspekta bezbednosti i zdravlja radnika. Pravilnik vezan za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina problematiku normativa klimatskih uslova reguliše vrlo konzervativno i u velikoj meri anahrono međunarodnom iskustvu pa čak i rešenju u pravilniku za podzemnu eksploataciju uglja. U okviru ovog rada izvršena je studijska analiza normativa za komfornu uslove rada u podzemnim rudnicima sa aspekta različitih indeksa toplotnog opterećenja i klimatskih uslova u različitim zemljama i izvršeno je poređenje sa rešenjima srpske regulative. Nakon sagledavanja i analize svetskih iskustava kao i iskustava domaće prakse predložena je izmena pravilnika tako da se i u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina klimatske prilike ocenjuju preko efektivne temperature, što će omogućiti ekonomičniju eksploataciju uz obezbeđivanje potrebnog nivoa bezbednosti i zdravlja radnika.

Ključne reči: podzemna eksploatacija, ventilacija rudnika, klimatski uslovi

1. UVOD

Savremenu podzemnu eksploataciju ležišta mineralnih sirovina karakterišu tri opšta trenda: sve dublji rudnici, mehanizovanije rudarske aktivnosti i stroži standardi bezbednosti i zdravlja na radu [1, 2]. Navedeni trendovi različito utiču na povećanje troškova energije i ekonomsku održivost rudnika. Veće dubine izvođenja rudarskih radova podrazumevaju potrebu za planiranjem tehnički izvodljivih i ekonomski opravdanih rešenja ventilacije rudnika radi ostvarivanja komfornih uslova rada sa aspekta povećanog toplotnog opterećenja radnika koji rade u tim uslovima [3,4].

U rudnicima sa podzemnom eksploatacijom ruda metala, ventilacija rudnika predstavlja jednu od najznačajnijih komponenti troškova energije pri obezbeđivanju potrebnih količina vazduha za provetrava-

nje kvaliteta rudničke atmosfere i zahtevanih klimatskih uslova [5].

Troškovi obezbeđivanja zahtevanih klimatskih (toplotnih) uslova, vrlo često, postaju ključni za procenu održivosti izvođenja rudarskih radova. Zbog toga je od suštinskog značaja da se utvrdi koji se uslovi mogu smatrati prihvatljivim, odnosno, gde su granice koje treba usvojiti prilikom procene [6]. U svakom slučaju, pre aspekta ekonomske opravdanosti, važno je sagledavanje pitanja bezbednosti i zdravlja radnika pri radu, i saglasno tome procena lokalnih i međunarodnih standarda je od suštinskog značaja [6].

Podzemna eksploatacija ruda metala u srpskoj rudarskoj praksi se do skora nije susretala sa problemom pojave visokih temperatura pri izvođenju rudarskih radova na većim dubinama eksploatacije. Mahom se radilo o rudnicima male dubine, brdskog tipa na većim nadmorskim visinama. Trenutno se u Srbiji radi na započinjanju izgradnje dva nova rudnika sa podzemnom eksploatacijom. U oba rudnika očekuje se pojava povišenih temperatura na dubinama izvođenja rudarskih radova pri eksploataciji i pripremi ležišta.

Adresa autora: Nikola Lilić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7

e-mail: nikola.lilic@rgf.bg.ac.rs

Rad primljen: 10.06.2019.

Rad prihvaćen: 20.06.2019.

Normativi za provetravanje rudnika podzemne eksploatacije ležišta mineralnih sirovina u Republici Srbiji su definisani kroz dva pravilnika: Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina (Službeni list SFRJ, br. 24/91) [7] i Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja (Službeni list SFRJ, br. 4/89, 45/89, 3/90 i 54/90) [8]. Problematika normativa za potrebne klimatske uslove u ova dva pravilnika je regulisana na različite načine. Pravilnik vezan za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina ovu problematiku reguliše vrlo konzervativno i u velikoj meri anahrono međunarodnom iskustvu pa čak i rešenju u Pravilniku za podzemnu eksploataciju uglja.

U okviru ovog rada biće prikazani i analizirani normativi vezani za komforne uslove rada u podzemnim rudnicima sa aspekta različitih indeksa toplotnog opterećenja i klimatskih uslova u različitim zemljama. U poglavlju diskusije teme data je analiza normativa u srpskoj regulativi i komparacija sa vrednostima svetske teorije i prakse. U zaključku je dat predlog

za izmenu i dopunu pravilnika o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina.

2. UPOREDNI STANDARDI VENTILACIJE RUDNIKA U ODNOSU NA KLIMATSKE USLOVE

Pri oceni klimatskih prilika u literaturi i inženjerskoj praksi u primeni je niz različitih indeksa toplotnog opterećenja [9]. Istraživanja su ukazala na to da ne postoji jedinstveni, opšti sistem za određivanje toplotnog opterećenja [10, 11]. Svaki indeks toplotnog opterećenja ima određene prednosti koje uslovljavaju pogodnost njegove primene za specifične uslove. U oblasti bezbednosti i zdravlja na radu u rudarstvu indeksi toplotnog opterećenja se najčešće primenjuju pri određivanju graničnih vrednosti ekspozicije, zona komfora, optimalnih mera zaštite i ocene bezbednosti rada.

Pregled indeksa toplotnog opterećenja koji se koriste pri analizi i oceni klimatskih uslova u podzemnim rudnicima prikazan je u tabeli 1 [9].

Tabela 1. Pregled najčešće korišćenih indeksa toplotnog opterećenja u rudarstvu [9]

Br.	Indeks	Autori
1	Temperatura vlažnog termometra (Wet-bulb temperature)	Haldane [12]
2	Indeks neudobnosti (Discomfort index $DI = 0.4 \times tw + 0.4 \times ta + 8.3$)	Thom [13]
3	Temperatura vlažnog termometra (Wet-globe temperature $WGT = WBGT - 2$)	Botsford [14]
4	Indeks neudobnosti (Discomfort index $DI = 0.5 \times tw + 0.5 \times ta$)	Sohar et al. [15]
5	Modifikovani indeks neudobnosti (Modified discomfort index $MDI = 0.75 \times tw + 0.3 \times ta$)	Epstein and Moran [16]
6	Indeks neudobnosti (Discomfort index $DI = ta - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (ta - 14.5)$)	Kyle [17]
7	Termohigrometrijski indeks (Thermohygrometric index $THI = 0.55 \times tw + 0.2 \times t_{dew} + 5.3$)	Schoen [18]
8	Indeks vlažnosti ($Humidex = ta + (5 / 9) \times (e - 10)$)	Masterton and Richardson [19]
9	Temperatura vlažnog kuglastog termometra (Wet bulb globe temperature $WBGT = 0.7 \times tw + 0.3 \times ta$)	Minard et al. [20]
10	Efektivna temperature (Effective temperature $ET = ta - 0.4 \times (ta - 10) \times \left[1 - \left(\frac{RH}{100}\right)\right]$)	Houghton and Yaglou [21]
11	Nova efektivna temperature (New effective temperature $NET = \frac{37 - (37 - ta)}{(0.68 - 0.0014 \times RH)} + \{1 / [1.76 \times 1.4 \times v^{0.75} - 0.29 \times ta \times (1 - 0.01 \times RH)]\}$)	Gagge et al. [22]
12	Indeks toplotnog opterećenja (Thermal strain index $TSI = 1/3 \times tw + 3/4 \times ta - 2 \times v^{0.5}$)	Lee [23]

tw – temperatura vlažnog termometra; ta – temperatura vazduha (suvog termometra); RH – relativna vlažnost; v – brzina strujanja vazduha

Kao što se može videti iz pregleda prikazanog u tabeli 1, veliki broj indeksa toplotnog opterećenja se koristi pri oceni i analizi toplotnog opterećenja i klimatskih uslova u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom u svetskoj rudarskoj teoriji i praksi. Na osnovu

analize rezultata njihove primene, može se zaključiti da postoje određena ograničenja koja treba imati u vidu pri korišćenju i primeni mnogih od navedenih indeksa. Mnogi indeksi uzimaju u obzir zajednički uticaj malog broja klimatskih faktora, samo temperature i vlažnosti

vazduha ili temperature, vlažnosti i brzine strujanja vazduha. Važan faktor kao što je uticaj aklimatizacije radnika nije uključen u procenu uticaja većine indeksa [24, 25]. Nijedan od indeksa ne uzima u obzir sve faktore koji utiču na komfor radnih uslova i njihovu međusobnu povezanost. U skladu sa time, klimatske uslove u radnom okruženju treba ocenjivati i pratiti redovno, bez obzira na to koliko je primenjeni indeks sveobuhvatan. Zbog činjenice da ne postoji jedinstveni, opšti sistem za određivanje toplotnog opterećenja u uslovima visokih temperatura vazduha i vlaž-

nosti u podzemnim rudnicima, izboru indeksa toplotnog opterećenja za ocenu uslova rada treba posvetiti posebnu pažnju.

Preporuka je da se izbor izvrši kroz dve faze: fazu planiranja i projektovanja i fazu proizvodnog rada [9].

U fazi planiranja i projektovanja bi se izvršila detaljna i složenija analiza dok bi u fazi proizvodnog rada indeks toplotnog opterećenja bio izabran za lokalne uslove uz što je moguće jednostavnije i brže određivanje.

Tabela 2. Poređenje propisa u vezi klimatskih uslova u rudnicima [6]

Zemlja	Izvor	Kriterijum	Komentar
Srbija	Pravilnik o tehn. normativima za podzemnu ekspl. metaličnih i nemetaličnih min. sirovina (1991)	Bilo koji deo prostorije (ili prolaznog puta): maksimalne vrednosti TVT 24 °C i TST 26 °C, uz minimalnu brzinu vazduha od 2 m/s u svim delovima prostorije; Svaka radna lokacija: maksimalne vrednosti TVT 21 °C i TST 25 °C, uz minimalnu brzinu vazduha 0,5 m/s na svim radnim mestima;	TVT-temperatura vlažnog termometra TST-temperatura suvog termometra Sva ograničenja se primenjuju, čak i kad osoba radi unutar klimatizovane kabine
	Pravilnik o tehn. normativima za podzemnu eksploataciju uglja (1989/90)	Pod povoljnim uslovima rada na radilištu, podrazumeva se veličina efektivne temperature na radnom mestu u granicama od 10 do 25°C.	Ako je temperatura iznad ili ispod navedenih vrednosti, neophodno je svakodnevno kontrolisati klimatske uslove i primeniti dodatne tehničke mere za snižavanje parametara unutar dozvoljenih granica.
Nemačka	Federalni rudarski Dekret (1984)	1. za TST >28°C ili ET >25°: • 6-h max. radno vreme u 8-h smeni ako je ≥ 3 sa: Tdb >28°C (do max. ET od 29°C), ili ET 25-29°C. • 5-h max. radno vreme u 8-h smeni ako >2,5 h sa ET 29-30°C.	ET = Efektivna Temperatura Odredba je definisana za pauze za odmor, period aklimatizacije, starost radnika i rad tokom hitnih situacija, odnosno operacije spasavanja U rudnicima soli se primenjuju posebni propisi
		2. Zaposleni ne treba da budu izloženi ET $\geq 30^\circ\text{C}$, izuzev za 4-meseca max. period direktno sledi 6-nedelja pauze i ako je ET = 30°C, max. 5 h dnevne ekspozicije ili ako je ET >30°C, 2,5 h max. dnevne ekspozicije	
		3. Na radovima na čelu (radilištu), samo 1/3 zaposlenih može biti eksponirano ET $\geq 30^\circ\text{C}$.	
Velika Britanija	National Coal Board (1980)	ET >28°C u trajanju od 1,5 sata tokom smene	
	National Coal Board (1963)	27,2°C delimično mehanizovani 28,3°C potpuno mehanizovani	
	Lind (1963)	ET 30,2°C: 210 W ET 27,4°C: 349 W ET 26,9°C: 490 W	Vati kao produkt metaboličkog nivoa rada i površina tela, uobičajeno 1,8 m ² Nije dobro aklimatizovan ali dobro treniran za rad
	WHO (1969)	ET 30,0°C: lak rad, ET 28,0°C: umeren rad ET 26,5°C težak rad	ET = Efektivna temperatura, bazna skala
Francuska	Uredba Vlade	Rudnici sa temperaturama iznad 28°C se smatraju posebno toplim	Zvanični zahtevi navedeni sa diskusijom radnog opterećenja

SAD	ACGIH AIHA		Svi izvori pružaju uporedive vrednosti, uz neke manje razlike u načinima određivanja
	OSHA	Tr = 38,0°C	Max. temperature tela 38,0 °C
	NIOSH (1986)	Temperatura vlažnog termometra: TVT ≤ 27°C, Temperatura vlažnog kuglastog termometra : TVKT ≤ 27°C za neprekidan rad umerenog nivoa.	
Australija	Victoria Trade Council	ACGIH TLVs	Uključuje uputstva o merenju toplotnog opterećenja, medicinske zahteve, aklimatizaciju i druge zaštitne mere, kao i propise za rad na visokim temperaturama
Južna Afrika	South African Department of Minerals and Energy (DME) Chamber of Mines	A: Abnormalno toplo: TVT ≥ 32,5°C ili TST ≥ 37,0°C ili temp. kuglastog termom. ≥ 37,0 °C	Neprihvatljiv rizik od toplotnog poremećaja. Rad se može preduzeti samo na osnovu stručne procene rizika, nadzora i protokola
		B: 29,0 ≥ TVT ≤ 32,5°C i TST ≥ 37,0°C Temp. kuglastog termom.: kao za TST	Potencijalno doprinosi toplotnom poremećaju. Obavezne mere zaštite
		C: 27,5 ≥ TVT ≤ 29,0°C i TST ≤ 37,0°C Temp. kuglastog termom.: kao za TST	Potencijalno doprinosi toplotnom poremećaju. Obavezne mere zaštite
		D: TVT ≤ 27,5°C i TST ≤ 32,5°C Temp. kuglastog termom.: kao za TST	Rizik od toplotnog poremećaja zanemarljiv. Nema posebnih mera predostrožnosti. Monitoring okoline mora biti dovoljno osetljiv kako bi se detektovao kritično toplotno opterećenje. Treba precizirati program monitoringa koji zadovoljava navedeni zahtev

Poseban značaj u oblasti ocene klimatskih uslova u radnoj okolini ima određivanje normativa u rudarskoj zakonskoj regulativi. Prikaz zakonske regulative u vezi sa klimatskim uslovima u određenom broju zemalja u Evropi i šire dat je u tabeli 2 [6].

Na osnovu pregleda zakonske regulative u vezi sa klimatskim uslovima, prikazanog u tabeli 2, može se zapaziti da se u većini slučajeva za definisanje normativa koriste samo parametri temperature suvog termometra i temperature vlažnog termometra ili efektivna temperatura.

Tako na primer, pri planiranju klimatski uslova u nemačkom rudarstvu i evropskoj tunelogradnji, osnovni cilj je da se obezbede vrednosti klimatskih

parametara na radnim mestima tako da temperatura na suvom termometru bude ispod 28 °C, a efektivna temperatura dalje od čela radilišta ispod 29 °C [26].

U domaćoj rudarskoj regulativi Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina [7] reguliše potrebne klimatske uslove, preko temperature suvog termometra, relativne vlažnosti i maksimalne brzine strujanja vazduha (članovi 242 i 243), ekstremno konzervativno u odnosu na svetsku praksu za rudnike metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina (tabela 3).

Dozvoljene brzine strujanja vazduha u podzemnim prostorijama, shodno navedenom pravilniku, su prikazane u tabeli 4.

Tabela 3. Dozvoljene temperature vazduha u zavisnosti od temperature suvog termometra (TST), relativne vlažnosti (RV) i temperature vlažnog termometra (TVT)

Maksimalna brzina vazduha (m/s)	Temperatura vazduha (°C)		
	Za relativnu vlažnost (%)		
	60 do 75	75 do 90	iznad 90
0,25	24	23	22
0,50	25	24	23
1,00	26	25	24
2,00	26	26	25

Tabela 4. Dozvoljene brzine strujanja vazduha na osnovu srpske regulative

Prostorije	Brzina strujanja vazduha (m/s)	
	max.	min.
Na radilištima	4,0	0,25
U prostorijama za transport i redovan prolaz	8,0	0,25
U ventilacionim prostorijama bez obzira na povremeni prolaz	10,0	-

U Pravilniku o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja [8], član 268, toplotni komfor se definiše efektivnom temperaturom (ET). Komforni uslovi na radilištu podrazumevaju efektivnu temperaturu u opsegu od 10 do 25 efektivnih stepeni. Ako veličina efektivne temperature pređe navedene granice, klimatski uslovi se moraju meriti svakodnevno i preduzimati dodatne tehničke mere za svođenje utvrđenih parametara u dozvoljene granice [8]. Iz prikazanog pregleda zakonske regulative i graničnih vrednosti, kao i indeksa toplotnog opterećenja, koji se koriste na međunarodnom nivou, može se zapaziti da rešenje iz srpskog Pravilnika o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja odgovara nemačkoj praksi i u velikoj meri korespondira sa svetskim iskustvom.

3. DISKUSIJA

Zahtevi člana 242 i člana 243 Pravilnika o tehni-

čkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina se mogu reprodukovati u vidu matrice prikazane na slici 3.

Granične vrednosti za različita radilišta i transportne puteve u ventilacionom sistemu mogu se sumirati na sledeći način:

- Za bilo koji deo transportnih puteva u kojima se kreću zaposleni: maksimalne vrednosti TVT 24°C i TST 26°C, pod pretpostavkom da je minimalna brzina strujanja vazduha 2 m/s u svim delovima prostorije;
- Bilo koje radilište: maksimalne vrednosti TVT 21°C i TST 25°C, pod pretpostavkom da je minimalna brzina strujanja vazduha 0,5 m/s na svim radilištima;
- Sve granične vrednosti se primenjuju, čak i kada zaposleni radi u klimatizovanoj kabini.

Slika 3 - Srpska regulativa konvertovana u TVT i TST (°C), (Plavo je prihvatljivo za brzine strujanja vazduha od 0,25 m/s, braon za brzine strujanja vazduha do 1 m/s i narandžasto za brzine strujanja vazduha do 2 m/s)

Kako je već navedeno Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja toplotni komfor definiše preko efektivne temperature (ET). Komforni uslovi na radilištu podrazumevaju efektivnu temperaturu u opsegu od 10 do 25 efektivnih stepeni.

Efektivna temperatura (ET) je empirijski toplotni indeks koji oslikava uticaj zajedničkog dejstva, temperature suvog termometra, temperature vlažnog termometra i brzine strujanja vazduha, na lagano obučenog radnika. Numerički, ona je jednaka temperaturi stagnirajućeg zasićenog vazduha, koja bi izazvala isti trenutni toplotni osećaj kao i aktuelno okruženje koje

je predmet ispitivanja. Kao rezultat ispitivanja nastali su dijagrami koji omogućavaju očitavanje efektivne temperature za datu temperaturu vlažnog termometra, temperaturu suvog termometra i brzinu strujanja vazduha. Jedan primer je prikazan na slici 4 [27].

Način upotrebe dijagrama sa slike 4 podrazumeva povlačenje prave linije koja spaja izmerene temperature na vlažnom i suvom termometru.

Efektivna temperatura se dobija na mestu gde ta prava linija (plava linija na slici 4) preseca odgovarajuću vrednost brzine strujanja vazduha. U prikazanom primeru, efektivna temperatura je 25 stepeni za temperaturu suvog termometra

(TST) od 28,5°C, temperaturu vlažnog termometra (TVT) od 27,5°C i brzinu strujanja vazduha od 2,0 m/s. U smislu

temperature vlažnog termometra (TVT), efektivna temperatura od 25 stepeni može biti prevedena u 27,5°C TVT pri brzini vazdušne struje od 2,0 m/s.

Slika 4 - Dijagram efektivne temperature za lagano obučeno osoblje

Za ovu analizu, dozvoljene temperature vazduha, u odnosu na brzinu strujanja vazduha i njegovu vlažnost, shodno definiciji u članu 242 Pravilnika o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina (slika 3), su konvertovane u efektivnu temperaturu i prikazane u tabeli 5.

Kao što se može videti, efektivne temperature su unutar opsega od 20 stepeni do maksimalnih 22,5 stepeni. Ovo je značajno niže od zahteva propisanih u članu 268 Pravilnika o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja, prema kojem se povoljni uslovi rada kreću u opsegu efektivne temperature od 10 do 25 stepeni.

Tabela 5. Dozvoljene temperature vazduha konvertovane u efektivnu temperaturu

Maksimalna brzina vazduha, m/s	Temperatura vazduha u °C, TST/TVT/ Efektivna temperatura u °C				
	Relativna vlažnost vazduha u % (RV)				
	60	75	76	90	>90 (uzeto 95)
0,25	24/18,5/20	24/20,5/22	23/20/21	23/22/22	22/21/21
0,5	25/19/20	25/22/22,5	24/21/21,5	24/23/22	23/22/21,5
1,0	26/20/21,5	26/23/22,5	25/22/21,5	25/24/22,5	24/23/21,5
2,0	26/20/20	26/22/21	26/22/21	26/25/22	25/24,5/21

Prethodna analiza nedvosmisleno upućuje na pokretanje inicijative za izmenu Pravilnika o tehničkim normativima za eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina, u kontekstu prihvatanja najbolje globalne prakse od strane srpske rudarske industrije eksploatacije metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina.

Još jedan od pokazatelja toplotnog opterećenja zaposlenog u toplom i vlažnom radnom okruženju, je standardizovana Temperatura vlažnog kuglastog termometra (TVKT). Temperatura vlažnog kuglastog termometra je funkcija glavnih klimatskih parametara koji utiču na fiziološku reakciju, tj. temperature vlažnog i

suvog termometra, brzine strujanja vazduha i temperature zračenja, kao i metaboličkog nivoa (metabolički nivo predstavlja ukupnu količinu energije koja se troši u organizmu tokom nekog vremena – tj. utrošena energija se može pretpostaviti kao proizvedena toplota, budući da je energija koja se koristi za druge funkcije, kako što je spoljni rad, prilikom poređenja, obično zanemarljiva).

Nacionalni institut za bezbednost i zdravlje na radu u USA (NIOSH) koristi TVKT kao standard za toplotno opterećenje. Nivo toplotnog opterećenja, baziran na TVKT, je takođe uključen i u međunarodni standard ISO 7243:1982 [28] i njegovu revidovanu i trenutno aktuelnu verziju ISO 7243:2017 (tabela 6) [29].

Klasifikacija metaboličkih nivoa je data u internacionalnom standardu ISO 8996:2005[30]. Vrednosti su prikazane u tabeli 7 [30].

Iz tabele 6, za umeren metabolički nivo (klasa 2), što je najčešći nivo opterećenja u savremenih rudnicima [31],

TVKT referentna granična vrednost, za osobu aklimatizovanu na toplotu, je 28°C.

Standard ISO 7243:2017 [29] usvojen je i u Srbiji, što otvara mogućnost za njegovu primenu i u srpskoj rudarskoj praksi.

Tabela 6. TVKT_{eff} referentne vrednosti za aklimatizovane i neaklimatizovane osobe za pet klasa metaboličkog nivoa [29]

Metabolički nivo (klasa) (videte Tabelu E.1 za pojašnjenje)	Metabolički nivo, W	TVKT referentne granične vrednosti za osobe aklimatizovane na toplotu, °C	TVKT referentne granične vrednosti za osobe neaklimatizovane na toplotu, °C
Klasa 0 Metabolički nivo pri odmoru	115	33	32
Klasa 1 Nizak metabolički nivo	180	32	29
Klasa 2 Umeren metabolički nivo	300	28	26
Klasa 3 Visok metabolički nivo	415	26	23
Klasa 4 Veoma visok metabolički nivo	520	25	20

Tabela 7. Klasifikacija metabolički nivoa prema ISO 8996 [30]

Klasa	Metabolički nivo (sa opsegom prikazanim u zagradama)		Primeri
	W/m ²	W	
0 Odmaranje	65 (55 to 70)	115 (100 to 125)	Odmaranje, udobno sedenje
1 Nizak metabolički nivo	100 (70 to 130)	180 (125 to 235)	Lagani manuelni rad (pisanje, kucanje, crtanje, šivenje, držanje knjige); rad sa rukom i šakom (mali ručni alati, inspekcija, sklapanje ili sortiranje laganog materijala); rad sa rukom i nogom (vožnja vozila pod normalnim uslovima, rad sa nožnim komandama ili pedalama) Bušenje (mali delovi) u stojećem položaju; mašina za mlevenje (mali delovi); navijanje namotaja; savijanje male armature; mašinska obrada sa alatom male snage; lagano hodanje po ravnoj površini (brzina do 2,5 km/h).
2 Umeren metabolički nivo	165 (130 to 200)	295 (235 to 360)	Trajan rad šake i ruke (rad ručnim čekićem, podnošenje); rad ruku i nogu (vožnja kamiona van asfalta, traktora ili građevinske opreme); (rad s pneumatskim čekićem, sklapanje traktora, farbanje, isprekidano rukovanje umereno teškim materijalom, pletenje, okopavanje motikom, branje voća ili povrća, guranje ili vučenje laganih kolica, hodanje brzinom od 2,5 do 5,5 km/h na ravnoj površini; kovanje
3 Visok metabolički nivo	230 (200 to 260)	415 (360 to 465)	Intenzivan rad ruku i tela; nošenje teškog materijala; rad lopatom; rad kovačkim čekićem; testiranje; planiranje ili izrezivanje tvrdog drveta; ručno košenje; kopanje; hodanje brzinom od 5,5 do 7 km/h na ravnoj površini. Guranje ili vučenje jako napunjenih ručnih kolica ili kolica; odsecanje odlivaka; polaganje betonskog bloka.
4 Veoma visok metabolički nivo	290 (>260)	520 (>465)	Vrlo intenzivna aktivnost brzinom do maksimalnog ritma; rad sa sekirom; intenzivno zgrtanje ili kopanje; penjanje po stepenicama ili merdevinama; brzo hodanje s malim koracima; trčanje na ravnoj površini; hodanje brzinom većom od 7 km/h na ravnoj površini.

Priručnik za rudarske inženjere Društva rudarskih za indikatore toplotnog opterećenja takođe inženjera (SME Mining Engineering Handbook) [32], preporučuje TVKT, ali i temperaturu vlažnog

termometra. Prema preporuci Društva, granične vrednosti navedenih indikatora su:

Temperatura vlažnog termometra: $t_w \leq 27^\circ\text{C}$,

Temperatura vlažnog kuglastog termometra TVKT (Wet bulb globe temperature – WBGT): $\text{TVKT} \leq 27^\circ\text{C}$ za neprekidan rad umerenog nivoa.

Shodno tabeli 5, za brzine vazdušne struje od 0,25 m/s (koliko je minimalno neophodno kako bi se održala turbulentnost vazdušne struje u podzemnim rudničkim prostorijama) prag vrednosti temperature vlažnog termometra $\text{TVT} = 20,5$ stepena, za relativnu vlažnost vazduha od 75%, odnosno $\text{TVT} = 22$ stepena, za relativnu vlažnost 90%. I u jednom i u drugom slučaju, uslovi odgovaraju efektivnoj temperaturi (ET) od 22 stepena, što je još uvek daleko od granične vrednosti od 25 efektivnih stepeni.

Drugim rečima, svako povećanje temperature vlažnog termometra iznad 20,5, odnosno iznad 22 stepena, za navedene uslove, zahtevalo bi primenu sistema za hlađenje ulaznog vazduha, shodno aktuelnom

Pravilniku o tehničkim normativima za eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina [7]. U zavisnosti od količine vazduha koju je potrebno ohladiti, odnosno od temperature za koliko ga je potrebno ohladiti, zavisice i primenjeni sistem hlađenja, a shodno tome i troškovi za njegovu ugradnju, koji se, ne retko, mere milionima dolara.

Primenom graničnih vrednosti iz Pravilnika o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja, na date uslove, ostavilo bi se dovoljno prostora u smislu postizanja povoljnih uslova rada, bez potrebe za ugradnjom sistema za hlađenje sveže vetrene struje.

Tim pre, ako se zna da su slični zahtevi takođe propisani i od strane nemačke i južnoafričke regulative. Prema nemačkim normativima, datim u tabeli 2, kada je temperatura vazduha niža ili jednaka 28°C , dozvoljena vrednost za temperaturu vlažnog termometra je 25°C i rad se može nastaviti bez ikakvih ograničenja. Južnoafrička regulativa smatra da je rizik po zdravlje beznačajan (tabela 2) kad god TST na radnom mestu ne prelazi $32,5^\circ\text{C}$, odnosno TVT ne prelazi $27,5^\circ\text{C}$.

Indirektno ograničavanje efektivne temperature na 22°C u podzemnim rudnicima metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina, u poređenju sa 25°C koliko je dozvoljeno u podzemnim rudnicima uglja (što omogućava više TVT), zajedno sa najboljom rudarskom praksom u globalnom smislu i shodno standardu ISO 7243 [29] (takođe usvojenim i u Srbiji, SRPS EN ISO 7243:2017) opravdavaju pokretanje inicijative za izmenu i dopunu postojećeg Pravilnika o tehničkim normativima u podzemnoj eksploataciji metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina.

Do promene Pravilnika, pomenuti razlozi takođe mogu predstavljati osnovu za istovremenu primenu Pravilnika i standarda SRPS EN ISO 7243:2017, u smislu da bi se primenom Standarda prevazilazili sporni delovi Pravilnika.

4. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina u vezi dozvoljene temperature vazduha propisuje granične vrednosti temperature vazduha, zavisno od njegove brzine i vlažnosti, izuzetno konzervativno (član 242). Navedeni zahtev je drugačije definisan u članu 268 Pravilnika o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja. U skladu sa Pravilnikom o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja, komforni uslovi za klimatske prilike se definišu efektivnom temperaturom. Pod povoljnim uslovima rada na radilištu podrazumeva se veličina efektivne temperature na radnom mestu u granicama od 10 do 25°C . Ovako definisani povoljni uslovi rada na radilištu predstavljaju realniji normativ koji je u velikoj meri u skladu sa svetskom rudarskom praksom.

Navedeni zahtev (definisan efektivnom temperaturom), najbolja praksa u globalnoj rudarskoj industriji, kao i standard ISO 7243 (SRPS EN ISO 7243: 2017) su dovoljni razlozi za pokretanje procedure izmene predmetnih normativa u postojećem Pravilniku o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina.

Postoje dva moguća pravca. Jedan je prihvatanje ET a drugi prihvatanje TVKT kao pokazatelja toplotnog opterećenja. Prednost treba dati ET. Osnovni razlozi za takav stav su sledeći:

- ET kao pokazatelj već postoji u srpskoj rudarskoj industriji;
- Jednostavnije je određivanje, što je jedan od osnovnih preduslova prilikom korišćenja indeksa toplotne opterećenosti kao pokazatelja pogodnosti klimatskih prilika u rudnicima;
- ET ne zahteva korekcije koje su potrebne kod primene TVKT (za vrstu odeće), kao ni određivanje ili procenu metaboličkog nivoa zaposlenih, što ostavljaju više prostora za eventualnu grešku, nego što je to slučaj kod primene ET;

Primenom ET, kao indeksa toplotne opterećenosti radnika u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina postiglo bi se sledeće:

- Uvođenje jednoznačnog indeksa toplotne opterećenosti zaposlenih u podzemnoj eksploataciji metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina i njegova ostvarivost u realnim uslovima;

- Izjednačavanje indeksa toplotne opterećenosti radnika (kao pokazatelja mikroklimatske pogodnosti radnog okruženja) u rudarskoj industriji Srbije, odnosno u podzemnoj eksploataciji uglja, metala i nemetala;
- Osavremenjavanje i izjednačavanje pokazatelja toplotnog opterećenja sa najboljom praksom u svetskoj rudarskoj industriji;
- Ekonomska održivost trenutnih i budućih projekata ulaganja u podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina.

5. ZAHVALNOST

Istraživanje prikazano u ovom radu predstavlja rezultat rada na projektu „Unapređenje tehnologije površinske eksploatacije lignita u cilju povećanja energetske efikasnosti, sigurnosti i zaštite na radu” (TR33039), finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, za period od 2011-2019.

LITERATURA

- [1] Karoly-Charles Kocsis P. *New ventilation design criteria for underground metal mines based upon the "life-cycle" airflow demand schedule*, PhD thesis, The University of British Columbia, 2009.
- [2] Hardcastle S.G, Kocsis C, Bissiri Y, Baiden G. Optimizing Mine Ventilation Through the Use of Life-Cycle Production Models, Proceedings of the 8th International Mine Ventilation Congress, Brisbane, Australia, July 6-8, (Ed. A.D.S. Gillies), AUSIMM, Carlton, Victoria, ISBN 1-920806-32-6, pp. 373-361, 2005.
- [3] Kamyar A, Aminossadati S.M, Leonardi C, Sasmito A. Current developments and challenges of underground mine ventilation and cooling methods, *Coal Operators' Conference*, The University of Wollongong, 2016.
- [4] Brake D. Design of the world's largest bulk air cooler for the Enterprise Mine in Northern Australia, in Mine Ventilation Proceedings of the North American/Ninth US Mine Ventilation Symposium, pp. 381-390, 2002.
- [5] Brake R. Importance of Underground Mine Ventilation, *Mine Ventilation Australia, Bulletin, Future – Mine Ventilation*, March/April 2006.
- [6] Webber R.C.W, Franz R.M, Marx W. M, Schutte P. C, "A review of local and international heat stress indices, standards and limits with reference to ultra-deep mining", *The South African Institute of Mining and Metallurgy*, SA ISSN 0038-223X/3.00 + 0.00, 2003.
- [7] *Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju metalnih i nemetalnih mineralnih sirovina*, Službeni list SFRJ, br. 24/91
- [8] *Pravilnik o tehničkim normativima za podzemnu eksploataciju uglja*, Službeni list SFRJ, br. 4/89, 45/89, 3/90 and 54/90
- [9] Roghanchi P, Kocsis K.C. Challenges in Selecting an Appropriate Heat Stress Index to Protect Workers in Hot and Humid Underground Mines, *Safety and Health at Work*, OSHRI, 9, p.p. 10-16, 2018.
- [10] Belding H.S. The search for a universal heat stress index. In: Hardy JD, Gagge AP, Stolwijk JAJ, editors. *Physiological and behavioral temperature regulation*. Springfield (IL): Thomas; p.p. 193-202, 1970.
- [11] Gagge A. P, Nishi Y, Physical indices of the thermal environment. *ASHRAE J*;18:47-51, 1976.
- [12] Haldane J. S, The influence of high air temperatures. *J Hyg (Lond)*; 5: p.p. 494-513, 1995.
- [13] Thom E. C, The discomfort index. *Weatherwise*;12:57-60, 1959.
- [14] Botsford J. H, A wet globe thermometer for environmental heat measurement. *Am Ind Hyg Assoc J*, 32:1-10, 1971.
- [15] Sohar E., Tennenbaum DJ, Robinson N. A comparison of the cumulative discomfort index (Cum DI) and cumulative effective temperature (Cum ET), as obtained by meteorological data. In: Tromp SW, editor. *Biometeorology*. Oxford (UK): Pergamon Press; p. 111-5, 1962.
- [16] Epstein .Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health*, 44:388-98, 2006.
- [17] Kyle W. J, The human bioclimate of Hong Kong. In: Brazdil R, Kolar M, editors. *Contemporary climatology*, Proceedings of COC/IGU Meeting1994. Brno (Czech Republic): Masaryk University; p. 345-50, 1994.
- [18] Schoen C. A, New empirical model of the temperature index. *J Appl Meteorol*, 44:1413-20, 2005.
- [19] Masterton J, Richardson FA. Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. Downsview (ON): *Ministere de l'Environnement*; 1979.
- [20] Minard D, Belding HS, Kingston JR. Prevention of heat casualties. *JAMA*, 165:1813-8, 1957.
- [21] Houghton F. C, Yaglou C. P, Determining equal comfort lines. *J Am Soc Heat Vent Engrs*, 29:165-76, 1923.
- [22] Gagge A. P, Stolwijk J. J, Nishi Y, An effective temperature scale based on a simple model of human physiological temperature response. *ASHRAE Trans*, 72:247-62, 1971.

- [23] Lee D. H. K, Proprioclimates of man and domestic animals. In: *Climatology: Reviews of Research*. Paris (France): UNESCO; p. 102-25, 1958.
- [24] Macpherson R. K, The assessment of the thermal environment: a review. *Br J Ind Med*, 19:151-64, 1962.
- [25] Budd G. M, Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations. *J Sci Med Sport*, 11:20-32, 2008.
- [26] Schlotte W, "Control of Heat and Humidity in German Mines", *8th US Mine Ventilation Symposium*, Rolla, 1999.
- [27] McPherson, M. J. *Subsurface Ventilation Engineering*, 2nd Edition, Chapman and Hall Publishing, 824 pp, 2009.
- [28] ISO 7243:1982, *International Organisation for Standardization*, Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT (wet bulb globe temperature)
- [29] SRPS EN ISO 7243:2017, *Ergonomics of the thermal environment* - Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index
- [30] ISO 8996: 2004, *Ergonomics of the thermal environment* - Determination of metabolic rate
- [31] Drenda J, Kułagowska E, Róžański Z, Pach G, Wrona P, Karolak I, Determination of the metabolic rate and work arduousness class for workers in coal mines – the results of in situ research, *Arch. Min. Sci.* 62, 2, 289-300, 2017.
- [32] SME *Mining Engineering Handbook*, 3rd Edition, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc, 2011.

SUMMARY

ANALYSIS OF CLIMATIC CONDITIONS LIMITS IN UNDERGROUND MINES FROM THE LEGISLATION PERSPECTIVE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

Modern underground mining, including Serbia, is characterized by three general trends: deeper mines, mechanized mining activities and more rigorous standards of safety and health at work. Ventilation of mines in such conditions is one of the most important components of energy costs, having in mind air-cooling requirements, the quality of the mine atmosphere and the required climatic conditions from the aspect of safety and health of workers. The Rulebook of technical norms for underground exploitation of ferrous and non-ferrous raw materials regulates the issue of climate conditions very conservatively and largely out-dated compared to the international experience and even compared to the Serbian norms for the underground exploitation of coal. This paper provides analysis of limits related to working conditions in underground mines, carried out from the aspect of different thermal load and climatic condition indices in different countries, and comparison with the solutions of Serbian regulations. After reviewing and analyzing world experiences and domestic practices, it has been proposed to amend the Rulebook so that climate conditions in underground mines of ferrous and non-ferrous raw materials are evaluated through effective temperatures, which will enable the more economical exploitation, while ensuring the necessary level of safety and health of workers.

Key words: *underground mining, mine ventilation, climatic conditions*