

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNIČKI FAKULTET U BORU

Jelena Ivaz

**MODELIRANJE UTICAJNIH FAKTORA I
PREDIKCIJA POJAVE POVREDA NA RADU U RUDARSTVU**

Doktorska disertacija

Bor, 2021

UNIVERSITY OF BELGRADE
TECHNICAL FACULTY IN BOR

Jelena Ivaz

**INFLUENTIAL FACTORS MODELLING AND
INJURY PREDICTION IN MINING**

Doctoral Dissertation

Bor, 2021

Komisija za pregled i odbranu

Mentor:

dr Dejan Petrović, docent,
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

Članovi komisije:

1. dr Saša Stojadinović, vanredni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

2. dr Aleksandar Cvjetić, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Datum odbrane: _____

Modeliranje uticajnih faktora i predikcija povreda na radu u rudarstvu

Sažetak:

Rudarska industrija predstavlja pokretačku snagu razvoja privrede, ali ova industrijska grana poznata je kao jedna od onih sa najnepovoljnijim uslovima za rad, velikim brojem povreda na radu i mogućom pojavom kolektivnih nesreća. Povrede na radu predstavljaju nepoželjne događaje na svim radnim mestima, pa se teži da se njihov broj smanji i postigne „nula“ povreda na radu. Događaj povređivanja radnika je vrlo kompleksna problematika i ne postoji jedinstveni model koji objašnjava ovaj fenomen.

Predmet ovog istraživanja su povrede na radu, dok je cilj istraživanja definisanje prediktivnog modela za povrede na radu kojim bi se predvidelo i preventivno delovalo na sprečavanje ovakvih događaja. Sprovedenim istraživanjem teorijski je definisan postupak analize uticajnih faktora koji dovode do pojave povređivanja radnika u rudarstvu. Ideja je da se, primenom i kombinacijom postojećih statističkih i analitičkih metoda i postupaka za analizu uzroka i verovatnoće pojavljivanja, napravi model koji bi ukazao na radna mesta sa najučestalijim povredama. Za modeliranje su korišćene tehnike zasnovane na veštačkoj inteligenciji, odnosno veštačkim neuronskim mrežama i na teoriji fazi logike. Primenom neuronskih mreža i teorije fazi logike moguća je obrada podataka o povredama na radu, predvidljivost ovakvih događaja i analiziranje uticajnih faktora na pojavu povreda.

Veštačke neuronske mreže predstavljaju moćan alat pri odlučivanju, posebno u rešavanju kompleksnih problema sa velikim brojem ulaznih podataka. U ovom radu analizirana je mogućnost predikcije povreda na radu primenom neuronskih mreža. Istraživanje je sprovedeno u rudnicima podzemne eksploatacije uglja u Srbiji. Ulazni podaci mreže dobijeni su na osnovu upitnika koji je obradilo preko 1150 ispitanika. Nakon analize uticaja ulaznih podataka na izlaz mreže, izvršena je selekcija mreža koje su dale najbolje rezultate. Pored toga, analizom osetljivosti, izdvojeni su najuticajni parametri. Izdvojeni parametri su direktan indikator problema koji mogu uzrokovati povrede. Značaj predloženog modela ogleda se u jasnim indikatorima za sprovođenje pojačanih bezbednosnih i organizacionih mera u cilju smanjenja broja povreda u rudnicima.

Ključne reči: povrede na radu, predikcija, uticajni faktori, veštačke neuronske mreže, teorija fazi logike.

Naučna oblast: Tehničko-tehnološke nauke

Uža naučna oblast: Rudarstvo i geologija

UDK:

622(043.3)

331.46:622(043.3)

007.52(043.3)

004.8.032.26(043.3)

510.644(043.3)

Influential factors modelling and injury prediction in mining

Abstract:

The mining industry represents the incentive for the development of economy. However, the mining industry is known as one with the most adverse working conditions, a large number of injuries at work, and collective accidents as well. Work-related injuries are seen as unwanted events in all workplaces, therefore, the aim is to reduce their number and to achieve “zero” injuries at work. The worker’s injury phenomenon presents a highly complex issue and there is no single model that can explain these events.

Work-related injuries were the subject of research for this doctoral thesis and the aim was to define a predictive model for this type of injuries that could anticipate these adverse events and offer a preventive action. The conducted research provided a theoretical frame which would perform the analysis of influential factors that could cause the occurrence of injuries among workers in mining industry. The idea was to use a combination of the existing statistical and analytical methods and procedures to analyse the probabilities and causes of injury occurrence in order to create a model which could identify jobs with the highest number of injuries. Methods used for the modelling were based on artificial intelligence (AI), i.e. artificial neural networks (ANN) and fuzzy logic theory. The application of neural networks and fuzzy logic theory provided a possibility to process data on injuries, predict these incidents, and investigate the influential factors for the occurrence of such injuries.

Artificial neural networks (ANN) represent a valuable decision-making tool, especially in addressing complex problems with considerable amount of input data. The possibility of predicting injuries at work using ANN was analysed in this research. The study was conducted in underground coal mines in Serbia. The input data for ANN were obtained based on a survey which included over 1,150 respondents. When the analysis of the influence of input data on output data was performed, the selection of the networks that provided the best results was completed. Moreover, the most prominent parameters were identified by the sensitivity analysis. The highlighted parameters were seen as direct indicators of problems that could induce injuries. The significance of the proposed model is reflected in the fact that it offers useful indicators for the implementation of improved safety and organizational measures that could reduce the number of injuries in mines

Keywords: injury at work, prediction, influential factors, artificial neural networks, fuzzy logic theory.

Scientific field: Technical-technological sciences

Narrow scientific field: Mining and geology

UDK:

622(043.3)

331.46:622(043.3)

007.52(043.3)

004.8.032.26(043.3)

510.644(043.3)

SADRŽAJ

1	UVODNA RAZMATRANJA	1
1.1	Uvod	
1.2	Predmet i cilj istraživanja	1
1.3	Polazna hipoteza istraživanja	2
1.4	Primenjene metode	2
2	LITERATURNI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	3
2.1	Pojam, cilj i značaj bezbednosti i zaštite zdravlja na radu	3
2.1.1	Istorijski razvoj bezbednosti i zaštite zdravlja na radu	5
2.2	Povrede na radu	6
2.3	Teorije o nezgodama i nastanku povreda na radu	7
2.4	Problem povređivanja radnika u rudarstvu	9
2.5	Upotreba veštačkih neuronskih mreža za predikciju povreda na radu u rudarstvu	10
2.6	Upotreba teorije fazi logike za predikciju povreda	11
3	PRIKAZ ISTRAŽIVAČKIH METODA	12
3.1	Tok istraživanja	13
3.2	Definisanje ciljne grupe i veličine uzorka	14
3.3	Oblikovanje upitnika za anketiranje radnika	16
3.3.1	Pitanja koja se odnose na demografske karakteristike posmatranog uzorka	17
3.3.2	Pitanja koja su u vezi sa povredama na radu	20
3.3.3	Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva	21
3.3.4	Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline	21
3.3.5	Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom	22
3.3.6	Pitanja koja se odnose na rukovodstvo	23
3.3.7	Pitanja koja se odnose na organizaciju rada	24
3.3.8	Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa bezbednošću i zdravljem na radu	25
3.4	Provera pouzdanosti merne skale	26
3.5	Prikupljanje, sređivanje i kodiranje podataka iz anketnih listova	27
3.6	Statističke metode	28
3.6.1	Analiza varijanse	28
3.6.2	Analiza glavnih komponenti	30
3.6.3	Entropijska metoda	30
3.7	PROMETHEE metod	31

3.8	Osnovni pojmovi o veštačkim neuronskim mrežama	32
3.9	Istorijski razvoj veštačkih neuronskih mreža	33
3.10	Biološke neuronske mreže	33
3.11	Veštačke neuronske mreže	34
3.11.1	Veštački neuron, princip rada i aktivaciona funkcija	34
3.11.2	Podela neuronskih mreža	37
3.11.3	Načini učenja (obučavanja) neuronskih mreža	39
3.11.4	Arhitektura mreže	39
3.11.5	Modeli neuronskih mreža	40
3.12	Teorija fazi skupova i fazi logike	41
3.12.1	Teorija fazi skupova	42
4	STATISTIČKA ANALIZA PODATAKA	46
4.1	Demografske karakteristike ispitivanog uzorka u odnosu na povrede na radu	46
4.2	Analiza varijanse	49
4.3	Analiza glavnih komponenti	56
5	REZULTATI ANALIZE PODATAKA PRIMENOM PROMETHEE II METODE	62
5.1	Rangiranje proizvodnih jedinica	64
5.2	Rangiranje na osnovu kvalifikacije radnika	67
5.3	Rangiranje na osnovu godina starosti	70
6	RAZVOJ MODELA ZA PREDVIĐANJE POVREDA U RUDARSTVU	73
6.1	Veštačke neuronske mreže za predviđanje	73
6.2	Izbor veštačke neuronske mreže	73
6.3	Fazifikacija ulaznih parametara	76
6.4	Uspešnosti klasifikacije modela	77
7	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	79
7.1	Izbor vrste mreže	80
7.2	Prikaz rezultata modeliranja dobijenih na osnovu analize osetljivosti	90
7.3	Prikaz rezultata istraživanja dobijenih na osnovu fazifikovanih ulaznih veličina	93
7.4	Uporedna analiza dobijenih rezultata	96
8	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	100
	LITERATURA	104
	BIOGRAFIJA KANDIDATA I SPISAK NAUČNIH RADOVA	131
	PRILOG 1 - Anketni upitnik	116

1 UVODNA RAZMATRANJA

Povrede na radu nepoželjne su kao događaji na svim radnim mestima. Iz tog razloga se povredama na radu bave prvenstveno oni koji su direktno ugroženi, tj. radnici, njihovi nadležni - kao odgovorna lica, lica za bezbednost i zdravlje na radu, lekari, naučnici, država, agencije itd. Rudarstvo se izdvojilo kao posebno rizična privredna grana zbog velikog broja povreda koje se u njoj dešavaju, pogotovo kolektivnih povreda, kao i onih sa smrtnim ishodom. Veliki broj povreda, i pored preduzetih mera bezbednosti i zdravlja na radu, nameću potrebu da se ovoj problematici detaljnije pristupi, uzimajući u obzir statističke podatke, ali i specifičnosti uslova radne sredine u rudarstvu, kao i stav radnika prema bezbednosti i zdravlju na radu.

Osnovna pitanja koja se nameću prilikom proučavanja povreda na radu mogu se definisati sledećim redosledom:

- Koje se grupe radnika najčešće povređuju?
- Koji su najuticajniji faktori povreda na radu u okviru tih grupa?
- Da li se povrede na radu mogu predvideti?
- Kako efikasno sprečiti povrede na radu?

1.1 Uvod

Internacionalna i domaća regulativa definiše obavezu poslodavca da proceni nivo rizika od povređivanja i bolesti u vezi sa radom, tj. nivo ugroženosti svakog radnika, a sve u cilju smanjenja pojave povreda. U rudarskoj industriji u Srbiji rizici kojima su radnici u toku svog rada izloženi definisani su na osnovu Akta o proceni rizika na radnom mestu i u radnoj okolini. Uvođenjem pomenutog Akta i pratećih mera došlo je do smanjenja povreda na radu, ali ova privredna grana još uvek prednjači u smislu ukupnog broja povreda u odnosu na broj zaposlenih. Akt o proceni rizika na radnom mestu i u radnoj okolini prilikom procene uzima u obzir one uticajne parametre koji ocenjuju štetnosti i opasnosti na radnom mestu, predstavljene kroz uslove radne okoline i radno okruženje, a koji su vezani za procese koje radnik obavlja dotičući i organizacione faktore. Međutim, u literaturi se sve veći značaj daje uticajnim faktorima kao što su: demografski uslovi, godine starosti, pol, faktori vezani za godine radnog iskustva, ergonomske uslovi, svest radnika, subjektivne odlike radnika itd.

Predviđanje događaja koji ugrožavaju bezbednost i zdravlje radnika ima posebnu važnost jer se preventivnim delovanjem povrede mogu sprečiti, a time se sprečava i pojava negativnih efekata koji, kao posledica povrede, utiču na ceo sistem. Negativni efekti povređivanja direktno se odražavaju na zaposlene i poslodavca i neposredno utiču na penzioni i zdravstveni sistem, zajednicu u opštem smislu i državu. Većina poslodavaca se, pri analizi povreda na radu, oslanja na obradu statističkih podataka o povredama koje su se već dogodile. Ovakav pristup je dobar ali nedovoljan. Pri analizi povreda potrebno je uzeti u obzir ekspertsku analizu sa ciljem nalaženja uzročnika pojave povreda zaposlenih. Pored toga, neophodno je koristiti postojeće i razvijati nove metodologije kojima bi se analizirali svi potencijalni faktori koji dovode do povređivanja radnika.

Predmet istraživanja su povrede na radu, dok je cilj istraživanja definisanje prediktivnog modela za povrede na radu, kojim bi se predvidelo i preventivno delovalo na sprečavanje ovakvih događaja. Sprovedenim istraživanjem teorijski je definisan postupak analize uticajnih faktora koji dovode do pojave povređivanja radnika u rudarstvu. Ideja je da se primenom i kombinacijom postojećih statističkih i analitičkih metoda i postupaka za analizu uzroka i verovatnoće pojavljivanja napravi model koji bi ukazao na radna mesta sa najučestalijim povredama. Za modeliranje su

korišćene tehnike zasnovane na veštačkoj inteligenciji, odnosno veštačkim neuronskim mrežama i teoriji fazi logike. Primenom neuronskih mreža i teorije fazi logike moguće je obraditi podatke o povredama na radu, predvideti ovakve događaje, analizirati uticajne faktore na pojavu povreda.

1.2 Polazna hipoteza istraživanja

Na osnovu navedenih ciljeva postavljena je glavna hipoteza istraživanja:

Primenom statističkih metoda, veštačkih neuronskih mreža i teorije fazi logike, moguća je obrada podataka o povredama na radu, predvidljivost ovakvih događaja, analiziranje povreda i određivanje doprinosa uticajnih faktora na pojavu povreda.

Rezultat istraživanja jeste univerzalni model za predikciju pojave povreda na radu zasnovan na najuticajnijim faktorima, koji omogućava prepoznavanje i izdvajanje kritičnih grupa radnika, na osnovu čega se mogu preduzeti korektivne bezbednosne mere u cilju smanjenja broja povreda na radu i podizanja nivoa bezbednosti zaposlenih u rudarstvu.

1.3 Primenjene metode

U ovom istraživanju korišćeni su podaci prikupljeni u Javnom preduzeću za podzemnu eksploataciju uglja Resavica (JP PEU Resavica). Pored preuzetih podataka o povredama na radu, vršeno je i anketiranje radnika sa ciljem determinisanja uticajnih faktora na pojavu povreda na radu.

U prvoj fazi bilo je potrebno razviti metodologiju na osnovu koje se mogu prepoznati radna mesta sa najvećom verovatnoćom dešavanja povreda. Najpre su definisani uzroci povređivanja i izdvojeni najznačajniji faktori kako bi se formulisali ulazni podaci modela za predikciju povreda na radu. Problem se javio pri definisanju merodavnog skupa ulaznih podataka. Ovo je višestruko složen problem. Na pojavu povrede na radu u velikoj meri utiču neki opšte poznati faktori kao što su: godine starosti, pol, radno iskustvo, organizacija, radno okruženje, dužina izloženosti nekoj rizičnoj situaciji, ali i oni manje transparentni kao što su socijalni, mentalni, pa i kulturološki parametri, koji do sada nisu bili obuhvaćeni prilikom procene rizika. Demografske karakteristike radnika, kao i njihova mišljenja i stavovi, takođe moraju biti uzeti u obzir prilikom definisanja uticajnih faktora na povređivanje radnika u rudarskoj industriji.

Sledeća faza podrazumeva razvoj modela koji bi obuhvatio prethodno definisane glavne uzroke pojave povreda na radu, odnosno verovatnoću nastanka određenog tipa povrede kod određene grupe radnika, kao i način njihove implementacije u model za predikciju povreda na radu. Predikcioni model zasnovan je na veštačkim neuronskim mrežama i teoriji fazi logike koje su se izdvojile kao najznačajniji alati za korišćenje pri modeliranju kompleksnih problema, kada eksplicitna zavisnost izlaznih i ulaznih promenljivih nije poznata. Izradom modela za predikciju povreda na radu na osnovu definisanih uticajnih faktora moguće je odrediti i pojedinačni uticaj svakog od ovih faktora na povrede na radu u budućem periodu. Konačno, kreirani model trebalo bi da omogući i definisanje najrizičnijih grupa radnika kada su u pitanju povrede na radu.

2 LITERATURNI PREGLED REGULATIVE I DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Radnici mogu da pruže svoj maksimum na radnom mestu samo u uslovima koji omogućavaju bezbedan i zdrav rad, a pozitivne efekte kvalitetnog rada radnika uživaju poslodavac i država. Zato je cilj svakog poslodavca da u svom radnom okruženju deluje preventivno i prepozna one faktore koji negativno utiču na bezbednost i zdravlje radnika, smanji broj povreda na radu i kreira što bezbedniju radnu okolinu.

U dostupnoj literaturi povrede su analizirane posredno i neposredno, u zavisnosti od toga da li se jedna ili više promenljivih koriste u analizi. Promenljive mogu biti individualne ili demografske karakteristike radnika, kao i one koje opisuju radno okruženje, preduzeće, opremu za rad, profitabilnost kompanije itd. Rudarska industrija sa sobom nosi mnoge opasnosti koje su specifične za ovu vrstu delatnosti (iznenadno obrušavanje stenskog materijala, eskalacije gasa pod pritiskom, eksplozije metana i ugljene prašine, iznenadne proboje vode i materijala, gorske udare itd.). Svakako da geološko/mehaničko/fizičke osobine ležišta imaju veliki uticaj na povređivanje, pa su neki autori nesreće analizirali sagledavajući upravo ove faktore. Kao najčešće proučavane karakteristike vezane za samo ležište izdvajaju se gasonosnost ležišta, eksplozivnost ugljene prašine, stabilnost stenskog masiva itd. Na osnovu ovih analiza izdvojena su tri vodeća uzroka povreda u rudnicima: odroni materijala (iznenadno obrušavanje), ručna manipulacija (prikleštenje) i udarac objekta u pokretu (kontakt sa rotirajućim delovima), ([Maiti i Khanzode, 2009](#); [Wang i Meng, 2018](#)).

Dosadašnja istraživanja u oblasti povreda na radu jasno ukazuju da su neki faktori koji utiču na pojavu povreda uticajnije od drugih, pa se na osnovu njihove učestalosti mogu razlikovati određene grupe povreda. Pri kreiranju modela za analizu i predikciju povreda na radu treba pronaći pravu kombinaciju uticajnih faktora i uzroka koji doprinose povređivanju. Predikcija povreda ima kompleksnu strukturu jer na ishod rizičnog događaja može uticati i sasvim subjektivna situacija koja se dogodila radniku, na primer na putu do posla, zbog koje on nije bio dovoljno koncentrisan tog dana. Pri proučavanju povreda na radu u rudarstvu moraju se uzeti u obzir svi dostupni podaci iz što više izvora i otkriti skriveni uzročnici kao što su: socijalni, psihički, društveni itd. Faktori za koje je na osnovu dosadašnje analize dostupne literature vezane za predikciju povreda na radu utvrđeno da utiču na povrede jesu: pol radnika, godine starosti radnika, kvalifikacija ili stepen obrazovanja, radno iskustvo, smenski rad, poznavanje mera bezbednosti i bezbednosnih procedura od strane radnika, priroda posla, lokacija mesta rada, oprema za rad, lična zaštitna sredstva, pristup menadžmenta rudnika bezbednosti i zdravlju na radu i sl.

2.1 Pojam, cilj i značaj bezbednosti i zaštite zdravlja na radu

Zaštita zdravlja i bezbednost radnika jedan je od osnovnih postulata modernog doba i predstavlja pravo svakog zaposlenog garantovano Univerzalnom deklaracijom o ljudskim pravima Ujedinjenih nacija. Zajednički intres u ostvarivanju bezbednih i zdravih uslova za rad imaju radnik, poslodavac i država. Samo u uslovima koji omogućavaju bezbedan i zdrav rad radnici mogu da pruže svoj maksimum, a benefite kvalitetnog rada radnika uživa kako poslodavac tako i država. Bezbednost i zdravlje na radu predstavlja osnovni koncept države ka unapređenju poslovne okoline u kojoj poslodavac i zaposleni privređuju. Na osnovu zakona i podzakonskih akata država reguliše sistemsku pitanja iz ove oblasti.

Država Srbija propisuje uslove koji su od vitalne važnosti za postizanje bezbednih i zdravih uslova za rad Zakonom o bezbednosti i zdravlju na radu („Sl. glasnik RS“, br. 101/2005, 91/2015 i

113/2017 - dr. zakon), (ZBZR), u kojem se navodi: „Bezbednost i zdravlje na radu jeste obezbeđivanje takvih uslova na radu kojima se, u najvećoj mogućoj meri, smanjuju povrede na radu, profesionalna oboljenja i oboljenja u vezi sa radom i koji stvaraju pretpostavku za puno fizičko, psihičko i socijalno blagostanje zaposlenih“.

Sa druge strane, u literaturi se bezbednost i zaštita zdravlja definiše kao: empirijska i tehnička nauka koja se bavi proučavanjem mera tehničkog, organizacionog, obrazovno-vaspitnog, socijalnog, zdravstvenog i ekonomskog karaktera u cilju postizanja sigurnosti rada (Ignjatović i Miljković, 2012). Postoji više sličnih definicija u literaturi među kojima se može izdvojiti i sledeća: „Zaštita na radu predstavlja skup mera i aktivnosti za postizanje što povoljnijih uslova rada“ (Jovičić et al., 1987). Bezbednost i zaštita zdravlja na radu (BZR) podrazumeva niz aktivnosti čiji je cilj otklanjanje opasnosti u tehnološkom procesu i organizacionom sistemu kako bi se rad učinio bezbednim i time stvorili povoljni uslovi za očuvanje ljudskog zdravlja i materijalnih dobara (Arandžević i Jovanović, 2009).

Kao nauka, bezbednost i zaštita zdravlja na radu u sebi sadrži tri aspekta: humani, socijalni (društveni) i ekonomski. Humani aspekt ogleda se u delu koji se odnosi na uslove rada, fizičkog i psihičkog blagostanja radnika i tu pripadaju svi oni uslovi koji doprinose boljoj produktivnosti zadovoljnog radnika. Socijalni značaj ove nauke uočava se prilikom povređivanja radnika ili dešavanja povrede sa smrtnim ishodom. Naime, ako dođe do trajnog invaliditeta povređenog ili smrti, briga o povređenom, kao i briga o porodici stradalog, prenosi se na društvo, državu i poslodavca. Ekonomski aspekt predstavljen je finasijskim pokazateljima: direktnim - onim koji su vezani za samu povredu i indirektnim - koji se javljaju usled zastoja i prekida proizvodnje, sanacije havarija itd. Spasić naglašava vrlo složenu strukturu ovih pokazatelja i njihov veliki uticaj na poslovanje preduzeća, kao i potrebu da se oni proučavaju u okviru posebne naučne discipline - ekonomike zaštite na radu (Spasić, 2003).

Cilj ka kojem gravitira bezbednost i zaštita zdravlja na radu dat je u njenoj definiciji iz Zakona: *BZR teži da stvori takve uslove rada u kojima se omogućava fizičko, socijalno i psihičko blagostanje radnika*. Pored toga, kao cilj BZR navodi se i smanjenje broja povreda, oboljenja u vezi sa radom i profesionalnih oboljenja. Postizanje ovog cilja zahteva niz mera predstavljenih kao organizovano upravljanje koje obuhvata niz jasno definisanih primarnih pravila BZR:

- posebni zahtevi pri projektovanju i izradi sredstava za rad,
- posebni zahtevi koji se odnose na korišćenje, servisiranje, pregled i ispitivanje sredstava za rad,
- pravila koja se odnose na posebne zahteve zaposlenih (pol, starost, fizičke i psihičke sposobnosti),
- postupke i načine osposobljavanja zaposlenih i samog poslodavca,
- uređenje i načine saradnje poslodavca, radnika i predstavnika zaposlenih, sindikata, državnih institucija i nadležnih organa,
- zaštita prava zaposlenih i zabrana stavljanja radnika u nepovoljniji položaj zbog prijava neregularnosti u vezi sa BZR,
- ostale mere za kontrolu rizika na radu, u cilju uklanjanja uzročnika rizika i njihovih štetnih posledica (Jurjević, 2014).

Gore navedena pravila ugrađena su i u zakonske zahteve i predstavljaju osnovu za prevenciju povreda na radu i poboljšanje BZR. Međutim, najčešće nije dovoljno samo primeniti zakonski propisane mere, uputstva ili procedure. Postoji niz drugih uticajnih faktora koji još uvek nisu jasno

definisani. Autor Karmis je to slikovito objasnio - ako bismo velikom broju stručnjaka iz oblasti BZR postavili isto pitanje: „Koji su ključni elementi bezbednosti i zaštite na radu?“, najverovatnije bismo dobili isto toliki broj različitih odgovora (Karmis, 2011). Ne postoji jedinstven skup uzročnika povređivanja niti jasno definisana metoda BZR kojom se može obezbediti potpuno blagostanje radnika. Svaka industrija, zajednica, država ima svoje specifičnosti i potrebno je utvrditi najuticajnije BZR faktore upravo za tu delatnost, tehnološki proces ili preduzeće. BZR zahteva dinamički pristup koji prati raznolikost tehnoloških procesa u preduzeću i njihove stalne promene. Uspešnost detekcije uticajnih faktora umnogome zavisi od individualnog pristupa radnika i menadžmenta ovoj problematici, kao i u njihovoj međusobnoj komunikaciji, kulturi, svesti itd.

2.1.1 Istorijski razvoj bezbednosti i zaštite zdravlja na radu

Razvojem industrijalizacije u XIX veku stvorila se potreba za novom radnom snagom koja bi bila angažovana u brojnim industrijskim pogonima. Veliki broj radnika svih starosnih struktura, među kojima i deca mlađa od 10 godina, nije privređivao i živeo u adekvatnim higijenskim i zdravstveno-bezbednosnim uslovima. Radnici su stanovali u komunalno nerazvijenim i gusto naseljenim delovima grada, tzv. radničkim kolonijama, u kojima su harale epidemije i siromaštvo. Loši uslovi rada u fabrikama doprineli su učestalim povredama i profesionalnim oboljenjima. Ovakvo stanje u prvim industrijskim centrima alarmiralo je vlasnike fabrika i državne strukture, koji su uvideli potrebu za rešavanjem socijalnih problema svojih radnika, kao i problematike vezane za bezbednost i zdravlje na radu. Interesovanje industrijalaca i države da obezbede bolje uslove za sve veći broj radnika omogućilo je ubrzan razvoj bezbednosti i zaštite zdravlja na radu kao organizovane društvene aktivnosti.

Iako se kao disciplina ova oblast razvija u XIX veku, problemi povređivanja radnika, bolesti i loših uslova rada prepoznati su i pre početka ere industrijalizacije. Nemački prirodnjak *Georgius Agricola* je, još u XVI veku sagledao „*opasnu*“ delatnost rudarstva i prerade rude, kao i važnost zaštite zdravlja i bezbednosti. U svom delu *De Re Metallica* opisuje bolesti i opasnosti kojima su rudari bili izloženi, ali i preventivne mere koje je potrebno sprovesti radi sprečavanja povreda i bolesti u rudnicima (Agrikola, 1556). Začetnik društvenih reformi u Velikoj Britaniji bio je utopijski socijalista *Robert Owen* 1817. godine. On je u svojim fabrikama pamuka prestao da zapošljava decu mlađu od 10 godina. Prvi je uveo desetočasovno radno vreme, što je bio veliki pomak s obzirom na to da su radnici u fabrikama do tada bili angažovani i po šesnaest časova dnevno. Owen je uspešno upravljao svojom fabrikom, zalagao se za bolje uslove rada svih radnika i obrazovanje mladih na međunarodnom nivou. Međutim, on nije naišao na širu podršku državnih struktura a ni industrijalaca, pa su se njegovi filantropski projekti o stvaranju radničkih kolonija završili neuspešno (Jaško et al., 2014).

Prema autorima Jovičiću, njegovim saradnicima i Anđelkoviću prvi zakonski akt kojim je oblast bezbednosti i zaštite zdravlja na radu počela zvanično da se uređuje, donesen je u Velikoj Britaniji 1802. godine, a njegov pun naziv je *Health and Morals of Apprentices Act 1802*. Prepoznatljiv je kao *Factory Act 1802*. Uređivao je oblast zaštite na radu, zaštite prava šegрта kod zanatlija, ograničio je dužinu radnog vremena na 12 časova itd. Istovremeno je oformljena i dobrovoljna inspeksijska služba, koja je 1833. godine postala zvanična *Inspekcija rada* sa širokim ovlašćenjima. U ovom periodu i druge zemlje donose svoje zakone vezane za uređenje rada, radnih odnosa, bezbednosti i zaštite zdravlja na radu. U Belgiji je (1810) donesen *Zakon o rudnicima i topionicama*, kao i prateći propisi. Pruska donosi *Uredbu o zaštiti omladine na radu* (1839). U nemačkim fabrikama je uveden državni nadzor (1879), dok je Francuska prvi zakon u kome je bilo ograničeno radno vreme za žene i decu donela 1841. godine, a 1913. godine su u ovoj zemlji počeli da se primenjuju *Propisi o zaštiti na radu*. Donošenje zakona i propisa iz oblasti bezbednosti na radu

u Sjedinjenim Američkim Državama kasnilo je 25 godina u odnosu na evropske zemlje, a Rusija 1897. uvodi prve zakone koji ograničavaju radno vreme. Početak XX veka donosi ideju o internacionalizaciji radnih odnosa i uspostavljanju jedinstvenih međunarodnih normi u oblasti zaštite pri radu i zakonodavstva koje uređuje ovu oblast. Ideja se realizuje tek nakon završetka Prvog svetskog rata 1919. godine u okviru Pariske mirovne konferencije kada se formira Međunarodna organizacija rada, skraćeno MOR, (Jovičić et al., 1987; Anđelković, 2010).

Istorijski posmatrano, BZR je u svom ranom razvoju bila zavisna od individualnog stava vlasnika fabrika i njihove socijalne svesti. U sledećoj etapi razvoja ove discipline donose se prvi zakoni sa ciljem da se zaštite najugroženije kategorije radnika (deca, trudnice itd.) i unaprede najnepovoljniji uslovi rada. Dalji razvoj bezbednosti i zaštite zdravlja na radu pratio je razvoj društva u celini, a najveći uticaj imali su društveno – ekonomski odnosi. Imajući u vidu značaj bezbednosti zaposlenih radnika, države su pojedinačno pokušavale da ovu oblast zakonski urede, međutim, priznavanje prava radnicima direktno je uticalo na povećanje cene proizvoda. Konkurentnost među državama stvorila je potrebu da se ova oblast definiše jedinstvenim međunarodnim zakonodavstvom. Jedinstveno zakonodavstvo uslovalo podizanje međunarodne svesti o važnosti bezbednosti zaštite zdravlja na radu a posebno o važnosti prevencije (Anđelković, 2010; Krstić i Anđelković, 2013).

2.2 Povrede na radu

U svakodnevnoj praksi prilikom opisa povrede najčešće se upotrebljava termin *povreda na radu*, a koristi se još i termin *nezgoda na radu*, kao i *nesreća na poslu*. Sasvim je jasno da ovi termini opisuju događaj pri kome dolazi do narušavanja zdravlja, fizičkog ili psihičkog oštećenja radnika. Nesreća na radu je nepredviđeni i nekontrolisani događaj, kod koga akcija ili reakcija: materije, lica ili radijacije izaziva povredu lica (Heinrich, 1969). Neki istraživači navode da su povrede postojale od postanka ljudskog društva, ali se tek sa pojavom industrijalizacije one pojmovno definišu i to za potrebe osiguravajućih kuća u Nemačkoj 1884. godine (Krstić i Anđelković, 2013).

U dostupnoj literaturi povrede na radu definisane su na različite načine, prvenstveno zbog velikog broja naučnih disciplina koje se njima bave, kao što su: sociologija, pravo, medicina, ekonomija itd.

Sa sociološkog stanovišta, povrede na radu nastaju onda kada nastane nesklad između čoveka i njegovog rada u radnoj okolini. Autor Marković navodi da narušavanje čovekovog integriteta, koje se ispoljava povredama na radu i profesionalnim oboljenjima u radnoj sredini i društvu, svakako predstavlja predmet proučavanja relativno mlade naučne discipline - sociologije zaštite na radu. U svom radu, sa sociološkog stanovišta, definiše povredu na radu kao narušavanje čovekovog fizičkog i psihičkog integriteta povezanog sa radom.

Posmatrano sa pravnog aspekta, Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu u Republici Srbiji ne definiše šta je povreda na radu, ali je pojam povrede na radu više nego jasno određen. Isti je opisan i Zakonom o zdravstvenom osiguranju („Sl. glasnik RS“, br. 25/2019), (ZZO): „*Povredom na radu, u smislu ovog zakona, smatra se povreda osiguranika koja se dogodi u prostornoj, vremenskoj i uzročnoj povezanosti sa obavljanjem posla po osnovu koga je osiguran, prouzrokovana neposrednim i kratkotrajnim mehaničkim, fizičkim ili hemijskim dejstvom, naglim promenama položaja tela, iznenadnim opterećenjem tela ili drugim promenama fiziološkog stanja organizma. Povredom na radu smatra se i povreda prouzrokovana na način iz stava 3. ovog člana, koju osiguranik zaposleni pretrpi pri obavljanju posla na koji nije raspoređen, ali koji obavlja u interesu poslodavca. Povredom na radu smatra se i povreda koju osiguranik pretrpi pri dolasku, odnosno povratku sa posla. Povredom na radu smatra se i oboljenje osiguranika koje je nastalo neposredno ili kao isključiva*

posledica nesrećnog slučaja ili više sile za vreme obavljanja posla po osnovu koga je osiguran ili u vezi sa njim“ (ZZO, član 51).

Sa medicinskog stanovišta u kontekstu povreda na radu razmatraju se prvenstveno posledice, a povrede se definišu na sledeći način: „Povrede na radu predstavljaju narušavanje zdravlja fizičkog ili psihičkog integriteta ličnosti, trenutno ili na duže vreme“ (Arandelović i Jovanović, 2009). Izvršena je i klasifikacija povreda: prema broju povređenih, na pojedinačne i kolektivne povrede na radu. Kolektivne povrede su one gde je više od jednog radnika povređeno. Prema težini povrede, u Republici Srbiji povrede se dele na: lake, teške i povrede sa smrtnim ishodom. Lekari, na osnovu stepena oštećenja zdravlja koje je povreda proizvela, najčešće klasifikuju povredu u jednu od ove dve kategorije, tj. laku ili tešku.

U svetu se povrede skoro na isti način definišu, ali postoje manje razlike prilikom klasifikacije povreda. Klasifikacija se najviše razlikuje u kategoriji koja definiše težinu povreda na radu. U SAD agencija zadužena za bezbednost i zdravlje na radu rudarskog sektora *U.S. Department of Labor Mine Safety and Health Administration (MSHA)*, povredu na radu definiše na sledeći način: akcident je neplanirani događaj koji uzrokuje povredu radnika i/ili oštećenje imovine. Kada povreda ne zahteva medicinski dalji tretman, ili je ona svedena na minimalno angažovanje prilikom pružanja prve pomoći, ona se smatra zanemarljivom (minorna je). U slučaju da je u pitanju smrtna povreda ili povreda čiji je ishod trajna ili privremena nesposobnost za dalji rad, ona se kalsifikuje kao značajna ili ozbiljna. Klasifikacija povreda na povrede sa smrtnim ishodom (fatal) i povrede na radu (non-fatal) jeste opšte prihvaćena za većinu zemalja u svetu (Australija, Indija, Poljska, Nemačka itd.). Iz ove klasifikacije se povrede na putu do posla izdvajaju kao posebna kategorija (Nemačka). Povrede se mogu grupisati i prema uzroku povređivanja, industriji, povređenom delu tela, smeni itd.

2.3 Teorije o nezgodama i nastanku povreda na radu

Tokom godina, različiti profili istraživača pokušavali su da proniknu u suštinu povređivanja. U zavisnosti od profila svoje struke, prilikom proučavanja povreda na radu, često su isuviše isticali samo neke od faktora koji utiču na povređivanje. Iz različitih stavova iznikle su i mnoge teorije o povredama na radu. Svaka od ovih teorija objašnjava prirodu dešavanja povreda na radnom mestu i utvrđuje uzroke koji dovode povrede, u cilju da se primenom adekvatnih mera broj povreda smanji ili one u potpunosti izbegnu.

Danas u razvijenim zemljama postoji trend uspostavljanja takve kulture bezbednosti i zaštite zdravlja na radu čije je moto: *nula povreda* na radu (*Zero Accident Vision - ZAV*). ZAV ideologija datira još iz 1915. godine i razvijena je u američkoj kompaniji (*DuPont Company*) za proizvodnju baruta. Ovaj pristup ima svoje *za* i *protiv* pobornike u naučnim krugovima (Gerard et al., 2017). Zwetsloot i grupa autora istomišljenika definisali su moderan ZAV pristup bezbednosti i zdravlja na radu kao tvrdnju da se sve nesreće (barem one ozbiljne), mogu sprečiti (Zwetsloot et al., 2017). Isti istraživači, inspirisani negativnim kritikama upućenim ZAV pristupu, koje su vezane za preoptimistična i nerealna očekivanja dešavanja *nula povreda*, uporednom analizom prikazali su razlike između tradicionalnih metoda bezbednosti i zaštite zdravlja na radu (OHS) i ZAV-a. U analizi su uočili šest zajedničkih aspekata koje je neophodno primeniti u praksi i ukazali na prednosti ZAV teorije (Zwetsloot et al., 2017). Anđelković tvrdi da su u osnovi sve teorije o povredama na radu i nezgodama na radu hipoteze jer ih nauka nije potvrdila, ali su u praksi prihvaćene kao teorije (Anđelković, 2012). Kao i kod ZAV-a, mnoge od njih imaju ili su imale pristalice, ali se i osporavaju kao nenaučne. Klockner i Toft definišu akcidentne modele ili modele o povredama na radu kao

modele koji pomažu dobijanju vizuelne predstave o toku događaja koji dovodi do nesreće (Klockner i Toft, 2018).

Modeli o povredama na radu dele se na:

- proste linearne modele.
- složene linearne modele i
- složene nelinearne modele (Hollangel, 2009).

Prosti linearni modeli jesu modeli gde se krajni ishod – povreda nalazi na kraju niza direktno povezanih događaja ili situacija (linearno vođeni model). U slučaju da jedan događaj iz niza izostane, do povređivanja neće doći. Najpoznatiji model ove grupe je „domino model“. Složeni linearni modeli su modeli kod kojih su akcidenti posledica nebezbednih radnji i skrivenih opasnosti unutar sistema, ali i kod ovih modela se interakcije između faktora ponašaju linearno. Akcenat je na jačanju barijera (zaštita) između radnika i opasnosti kako bi se sprečile povrede, a predstavnik ove grupe je model „švajcarski sir“ (*Swiss Cheese Model*).

Modeli, teorije ili pristupi nesrećama i povredama na radu stalno se usavršavaju. Modeli novijeg datuma zastupaju stav da modeliranje akcidenata mora biti nelinearno, da su faktori koji utiču na povređivanje različiti i u međusobno različitim odnosima. Kako bismo razumeli zbog čega do nesreća dolazi, potrebno je da razumemo veze između ovih uzroka, a one svakako nisu samo linearne (Klockner i Toft, 2018). Postoje mnogi modeli koji su se razvili radi sagledavanja nesreća. Neki autori analizirali su razvoj modela o nesrećama i došli do zaključka da se vremenom prešlo od traženja jednog uzroka koji je odgovoran za povredu do prihvatanja skupova međusobno povezanih uzroka (Katsakiori et al., 2009). Razvijeno je više desetina složenih nelinearnih modela a većina njih je prilagođena velikim nesrećama i tehnološki složenim sistemima, što predstavlja ograničavajući faktor pri analizi pojedinačnih nesreća. Najpoznatiji modeli i teorije koje su prisutne u literaturi prikazani su u nastavku.

Progresivnu teoriju razvili su engleski psiholozi Greenwood i Wood pokušavajući da dokažu sklonost pojedinaca ka nezgodi na radu. Koristili su statističke metode i proučavili zaposlene u industrijskom sektoru (Greenwood i Wood, 1919).

Takozvana „domino teorija“ koju je razvio Heinrich 1931. godine spada u grupu linearnih metoda i tvrdi da je 88% svih nesreća uzrokovano nebezbednim ljudskim postupcima, 10% nebezbednim drugim faktorima, a samo u 2% slučajeva uzrok su nepredvidive okolnosti („acts of God“). Predložio je petostepenu analizu, po principu obaranja domina u nizu (svaki naredni faktor se aktivira ako je ispunjen prethodni). Predložio je i da se eliminisanjem jednog od faktora uspostavi sistem prevencije povreda na radu.

Hepburnova teorija zasniva se na tvrdnji da su nezgode na radu poslednja karika u uzročnom lancu, koji se pak sastoji od više faktora. Prvi je lični faktor radnika (rizično ponašanje), faktor potencijalne opasnosti, faktor aktiviranja opasnosti (pogrešna reakcija) i neposrednog uzročnog faktora. Uzastopnim delovanjem ovih faktora nastaje povreda na radu. Teorija o nezgodama na radu kao epidemiološkoj pojavi zasnovana je na stavovima J. A. Forlanda, E. J. Gordona i E. P. Marlanda koji smatraju da se pri proučavanju povreda možemo voditi istim smernicama kao i pri proučavanju bolesti i da se povrede mogu sprečiti primenom epidemioloških preventivnih mera (Roberts et al., 1952; Gordon, 1949). Pojavu nesreća uslovljavaju predispozicija radnika ka povredi i uslovi radne okoline.

Bihevioristički model ima sociološki pristup i zastupa stav da povrede na radu treba proučavati sa stanovništva čovekovog ponašanja. Nebezbedno ponašanje radnika je glavni uzrok nesreće. Svest radnika o svom bezbedonosnom ponašanju, veća opreznost radnika i pozitivna radna atmosfera utiču na podizanje kvaliteta i kulturu bezbednosti (Suchman, 1970).

Postoji teorija o povredama na radu kao rezultat razmene energije. Haddon i drugi naučnici razvili su teoriju koja se zasniva na stavu da se povrede dešavaju usled abnormalne razmene energije i ne mogu se dogoditi na drugačiji način (Anđelković, 2012).

Drvo otkaza (*engl. Fault tree Analysis FTA*) predstavlja deduktivnu metodu koja se koristi za prepoznavanje i analizu uzroka koji dovode do povređivanja. Analizom svakog pojedinačnog uzroka povrede u FTA prepoznaje se način da se isključi taj događaj i da do povrede ne dođe, a model se gradi po principu konvergirajućih lanaca otkaza.

LPT (*engl. Logic Programming Technique*) koristi logičko-deduktivne metode dok za pretraživanje informacija o povredama koristi heuristiku (Awala i Hasegawab, 2017). Zbog složenosti i broja uzroka koji se moraju analizirati LPT tehnike logičkog zaključivanja donose zaključke o povredama brže i objektivnije.

FRAM metoda (*engl. Functional Resonance Analysis Method*) analizira kako se radne aktivnosti odvijaju, a može se koristiti i za analizu rizika, kao i povreda na radu (Hollnagel, 2014).

Istraživač Hollnagel u svom radu predlaže novi pristup bezbednosti na radu. On naglašava da naučnici svoja buduća istraživanja treba da fokusiraju na ambijent u kome je sve „u redu”, tj. na stanje kada nema akcidenata i povreda. Težnja daljeg razvoja ove oblasti je u metodama koje će uz pomoć informacionih tehnologija brže, efikasnije i preciznije moći da predvide kako dolazi do povređivanja ili akcidenta (Hollnagel, 2014).

2.4 Problem povređivanja radnika u rudarstvu

Rudarska industrija se u Srbiji, kao i svuda u svetu, deklariše kao jedna od najopasnijih i najtežih delatnosti, imajući u vidu veliki broj povreda i nesreća koje se u ovoj privrednoj grani dešavaju. Ovako velikom broju povreda doprinose teški uslovi za rad, koji su posebno izraženi u rudnicima podzemne eksploatacije uglja. Nepovoljni uslovi radne okoline ogledaju se u značajnom učešću napornog fizičkog, odnosno manuelnog rada, kao i fiziološki nepovoljnom položaju tela radnika tokom rada, imajući u vidu vrlo ograničen prostor u kome se radne operacije izvode. Svemu ovome doprinosi i prisustvo transportnih mašina sa velikim brojem rotirajućih delova, koje u uslovima slabe vidljivosti i ograničenog prostora mogu da ugroze rudare prilikom kretanja, manipulacije ili održavanja. Još jedna specifičnost podzemne eksploatacije uglja jeste i mogućnost iznenadnog obrušavanja stenske mase i pojave gorskih udara, prodora vode i žitkih materijala. Ono po čemu se rudarstvo svakako izdvaja u odnosu na druge delatnosti jeste pojava kolektivnih nesreća, povećan broj povreda na radu, kao i pojava velikog broja povreda sa smrtnim ishodom.

Pored izrazito negativnih finansijskih efekata, povrede na radu imaju i mnoge druge brojne negativne efekte koji se odražavaju na poslovanje rudarskih kompanija. Finansijski gubici mogu biti direktni, tj. oni koji su vezani za samu povredu, i indirektni, koji se javljaju usled zastoja i prekida proizvodnje, sanacije havarija itd. Naime, svaka nezgoda pored povrede radnika povlači za sobom i niz drugih posledica, kao što su: zastoji u proizvodnji usled oštećenja mašine, gubitak radne snage, nemogućnost efikasnog organizovanja radnog procesa i dr. Život radnika, kao najvredniji i

neobnovljiv resurs, jeste trajni gubitak kako za preduzeće tako i za porodicu povređenog i u ovim situacijama briga o povređenom, kao i briga o porodici povređenog, prenosi se i na poslodavca, društvo i državu, (Ivaz et al., 2018).

Poznavanje prirode uzroka povređivanja i vrsta opasnosti kojima su radnici izloženi u svojoj radnoj okolini bitno je sa stanovišta poboljšanja bezbednosti i zdravlja na radu. Na osnovu analiza uslova pod kojima se povrede dešavaju menjaju se strategije bezbednosti, donose novi zakoni i razvijaju novi modeli za procenu rizika i zato je veoma bitno detaljno proučiti okolnosti, razloge i uzroke zbog kojih se povrede dešavaju. Analize povreda mogu se vršiti sa više stanovišta i posmatrati iz velikog broja perspektiva. Međutim, sve one imaju isti zadatak, a to je utvrđivanje najznačajnijih faktora koji mogu bolje definisati prirodu povređivanja radnika. Preispitivanje efikasnosti već primenjenih mera bezbednosti, njihovo poboljšanje ili uvođenje novih procedura iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu doprinosi poboljšanju sistema bezbednosti i zdravlja na radu, kao i smanjenju broja povreda.

2.5 Upotreba veštačkih neuronskih mreža za predikciju povreda na radu u rudarstvu

Ako se predikcija posmatra sa aspekta predviđanja događaja koji ugrožavaju bezbednost i zdravlje radnika, ona dobija posebnu važnost jer je sprečavanje povreda na radu prioritet u poslovanju svake firme. Većina poslodavaca se pri analizi povreda na radu oslanja na ekspertska mišljenja lica za bezbednost i zdravlje na radu (BZR) i na analizu statističkih podataka. Ekspertska mišljenja lica za BZR imaju bitnu ulogu u oceni stanja BZR, ali su ona gotovo uvek subjektivna i uslovljena prethodnim iskustvima. Realniji pristup prilikom proučavanja povreda na radu daju tehnike mašinskog učenja (Vallmuur, 2015). Mnoga druga istraživanja ukazuju na prednost pri korišćenju ovih tehnika prilikom predikcije događaja vezanih za povrede na radu (Sanmiquel et al., 2018; Sarkar i Maiti, 2020; Kakhkia et al., 2020).

Više studija se bavilo analizom povreda uz pomoć veštačkih neuronskih mreža (ANN, engl. *artificial neural network*) i upoređivalo uspešnost predikcije povreda ANN sa drugim metodama.

Stylianou i saradnici su u svojoj studiji upoređivali uspešnost predikcije smrtnosti pacijenata koji su pretrpeli opekotine metodom logističke regresije i mašinskog učenja (koristili su više tehnika među kojima je i ANN). Tehnika ANN izdvojila se kao najpreciznija za predikciju smrtnog ishoda (Stylianou et al., 2015). Sarkar i drugi istraživači u svojoj studiji koriste dve metode mašinskog učenja: ANN i metodu vektora podrške (eng. *Support Vector Machine* – SVM). Obe metode pokazale su se kao vrlo uspešne u predikciji ishoda povreda na radu u indijskoj industriji čelika. Metoda SVM (90,67%) bila je neznatno bolja od ANN (89,33%), (Sarkar et al., 2019).

Grupa istraživača sa Rivasom na čelu takođe je proučavala povrede na radu a u svojoj studiji koristili su metodu logističke regresije i tehnike data mining (decision rules, classification trees and Bayesian networks). Sve tehnike su pri rešavanju problema predikcije pokazale slične rezultate. Njihova uspešnost u predikciji bila je vrlo visoka i iznosila je 88,71% za najuspešniju Bayesian networks, dok je logistička regresija pokazala uspešnost od 72,58% (Rivas et al., 2011). Grupa naučnika, u svojoj studiji koja se bavila analizom povreda u saobraćaju, kreirala je osam modela ANN iste strukture i istih ulaznih promenljivih sa različitom kombinacijom izlaza. Izlazne promenljive opisivale su mogućnost dešavanja pet događaja od - *nema povrede* do - *smrtna povreda*. Ustanovljeno je da ovakvi modeli sa kombinacijom izlaza daleko tačnije reprezentuju izlaze od jedinstvenog modela sa svih pet izlaza (Delen et al., 2006; Deublein et al., 2013). Neki autori su u svom istraživanju koristili ANN i fazi zaključivanje (*Sugeno fuzzy inference system* - SFIS) kako bi predvideli broj povreda i težinu povreda. Za modeliranje su koristili bazu podataka povreda koje su

se dogodile u građevinskoj industriji u Italiji. Ova industrija je po broju i težini povreda slična rudarskoj. Tačnost predviđanja na osnovu broja povreda iznosila je 86,20% za ANN, a 90,15% za SFIS model, dok je tačnost predikcije težine povrede bila 91,30% kod ANN modela i 93,50% za SFIS (Ciarapica i Giacchetta, 2009). Međutim, u istraživanju povreda u građevinskoj industriji koje su posledice pada sa visine, model ANN je dao veoma malu tačnost od 49% za predikciju težine povrede (Chena i Luoa, 2016). Grupa istraživača je u svojoj studiji za predikciju ishoda povrede i odsustvovanja sa posla uporedila više modela za predikciju: logističku regresiju - čija je tačnost predikcije iznosila 67%, Random Forest - čija je tačnost iznosila 66% i Artificial Neural Network. Dobili su najveću tačnost (78%) kod modela zasnovanog na ANN (Yedla et al., 2020).

Kao što se iz izloženog može zaključiti, većina ANN modela je pokazala visoku tačnost prilikom predikcije povreda na radu (preko 80%).

Neki stručnjaci koristili su se Bayesian ANN kako bi utvrdili različite faktore rizika za dešavanje povreda u španskim rudnicima uglja. Primenom ovog modela izdvojile su se sledeće uticajne varijable: radno iskustvo, tehnologija eksploatacije i kvalifikacija radnika, dok je model autora Leu & Chang, takođe zasnovan na Bayesian ANN, pokazao da najveći uticaj na povrede na radu ima odnos menadžmenta prema bezbednosti i zdravlju (Leu i Chang, 2013; Gerassis et al., 2020).

2.6 Upotreba teorije fazi logike za predikciju povreda

Primena fazi logike i tehnika mašinskog učenja danas je vrlo raširena u svim sferama: mašinstvu, rudarstvu, pri projektovanju, u ekonomiji itd. Modeliranje koje koristi fazi skupove pokazalo se kao bolji način pri definisanju problema u vezi sa odlučivanjem, kada su dostupni ulazni podaci subjektivni ili neprecizni (Zimmermann, 1998; Kakhkia et al., 2020).

Grupa naučnika je, u svojoj studiji za analizu povreda koje su se dogodile u rafinerijama nafte, zaključila da su ove povrede većinom posledice nebezbednih postupaka radnika. Kako bi ispitali koji su postupci doveli do povrede, koristili su metodu FCM (*engl, Fuzzy Cognitive Map*). Istraživanje u ovoj studiji je prepoznalo da nedostatak pažnje, žurba i problemi u sistemu spadaju u vodeće uzroke povređivanja i opšti zaključak je da se za poznate uzroke mogu sprovesti adekvatne mere bezbednosti (Bevilacqua et al., 2012). Do skoro indentičnog zaključka došli su i autori koji su predikovali indeksne pokazatelje smrtnih povreda u Pakistanu (Shahani et al., 2021).

Povrede na radu u podzemnoj eksploataciji uglja metodom TOPSIS (*engl, technique of order preference similarity to the ideal solution*) proučavali su i drugi stručnjaci (Mahdevari et al., 2014). Ovu multikriterijumsku metodu odlučivanja autori su proširili fazi logikom koja je identifikovala rizike i predložila mere za smanjenje rizika.

Grupa autora je u svojoj studiji naparavila model za predikciju učestalosti povreda, koji predstavlja jedan od bitnih pokazatelja za ocenu stanja bezbednosti i zaštite na radu. Model je baziran na kombinaciji fazi logike i veštačkih neuronskih mreža. Dati model je, na osnovu podataka o učestalosti povreda koje su se dogodile u toku prethodnog perioda, predviđao ovu vrednost za narednu godinu. Model je pokazao veliku preciznost, čak bolju nego neuronske mreže sa propagacijom greške unazad, iako su koristile iste podatke (Hui et al., 2012). Fazi logiku su koristili kako bi analizirali povrede u površinskim kopovima uglja u Indiji. Autori su izdvojili najznačajnije uticajne faktore: nebezbedno ponašanje radnika, godine radnog iskustva i godine starosti radnika (Verma i Chaudhari, 2017).

Proučavano je zarušavanje krovinskog dela prostorija u podzemnim rudnicima, koji je jedan od vodećih uzroka povređivanja radnika. Razvijeni su modeli za predviđanje bazirani na fazi logici i veštačkim neuronskim mrežama (Razani et al., 2013).

3 PRIKAZ ISTRAŽIVAČKIH METODA

Cilj istraživanja sprovedenog u ovoj disertaciji jeste predikcija povreda na radu i definisanje uticajnih faktora na pojavu povrede. Uzimajući u obzir multidisciplinarni karakter cilja istraživanja, kao najadekvatnija metoda za prikupljanje podataka izdvojila se empirijska metoda istraživanja uz primenu upitnika. Predložena metoda za analizu zasniva se na prikupljanju podataka o radnicima i povredama koje su se dogodile u rudnicima podzemne eksploatacije uglja. Podaci u posmatranom uzorku prikupljaju se uz pomoć anketnog upitnika. U upitniku su sadržana sva pitanja koja autor smatra relevantnim za povređivanje radnika u rudnicima Srbije, kao i ona dostupna u literaturi (Paul i Maiti, 2005; Kunar et al., 2010; Elenge et al., 2013; Calys-Tagoe et al., 2015; Ajith i Ghosh, 2019; Lu et al., 2020). Postupak se sastoji u tome da se u određenom rudniku anketiraju radnici, pa se zatim podaci dobijeni iz anketa obrade statistički i razvrstaju po kategorijama. Nakon toga, oni služe kao ulazni podaci za veštačku neuronsku mrežu koja se koristi u cilju predikcije izlaza, tj. povreda. Podaci o povredama koje su se dogodile među ispitivanom populacijom radnika bili bi korišćeni kao trening podaci za određenu mrežu. Na ovaj način bi se dobile jasne naznake o mogućnostima, tačnosti, konzistentnosti i preciznosti izrađenog modela za predikciju povreda.

Nakon prikupljanja, obrade i klasifikacije podataka dobijenih anketiranjem radnika primenjene su metode deskriptivne statistike. Na osnovu deskriptivne statistike izvršeno je izračunavanje osnovnih statističkih pokazatelja, na osnovu kojih su utvrđene zavisnosti između ispitanika (frekvence i procenti, aritmetička sredina, standardna devijacija itd.), kako bi se stvorila preliminarna slika o prikupljenim podacima. Primenom osnovnih statističkih metoda analize, kao što je analiza varijanse (ANOVA), analizirane su razlike između anketiranih radnika u odnosu na njihove demografske karakteristike. Uz pomoć analize osnovnih komponenti (PCA – *Principal Component Analysis*) izvršena je provera da li pitanja u okviru grupe odražavaju analizirane faktore i da li je ista potrebno pregrupisati. Za ispitivanje pouzdanosti skale korišćen je Cronbach alfa koeficijent. Metodama višekriterijumskog odlučivanja, PROMETHEE i entropijskom metodom, izvršena je analiza stavova ispitanika po različitim grupama ispitanika i oblasti istraživanja.

U drugom delu istraživanja se primenom metoda mašinskog učenja pristupa razvoju modela za predikciju povreda na radu, gde se kao ulazni parametri koriste najuticajnije grupe faktora izdvojene prethodno opisanim metodama. U cilju modeliranja podataka koriste se veštačke neuronske mreže i fazi logika. Različite kombinacije ulaznih parametara i njihovih vrednosti dovode do različitih izlaznih vrednosti. U ovom delu prikazana je analiza korišćenih modela sa posebnim osvrtom na tačnost njihove predikcije. Potrebno je izvršiti i verifikaciju kreiranog modela, pri čemu su za tu svrhu upotrebljeni podaci koji nisu bili upotrebljeni u fazi izrade modela. Na ovaj način potvrđena je sposobnost kreiranog modela da izvrši generalizaciju, odnosno da vrši predikciju čak i u slučajevima kada koristi podatke koji nisu korišćeni pri kreiranju modela.

Utvrđivanje prihvatljive stope klasifikacije razvijenog modela bilo je potrebno razmotriti sa dva aspekta. Prva stopa klasifikacije podrazumeva ukupan rezultat predviđanja modela za obe grupe izlaza, tj. za događaj *ima povrede* i *nema povrede*, i ovu vrednost može definisati iz matrice grešaka. Druga stopa klasifikacije bitnija je sa stanovišta upotrebe modela u praksi, a ista podrazumeva koliko je pogrešno predikovanih rezultata u kategoriji *ima povrede*. Ovaj podatak značajan je sa stanovišta da je mnogo opasnije da model ne prepozna povredu koja će se desiti, tj. da predikuje lažno negativan rezultat, nego da predikuje lažno pozitivan rezultat, tj. događaj *ima povrede*, a ista se neće dogoditi.

3.1 Tok istražavanja

Istraživački proces koji je sproveden za potrebe izrade ove doktorske disertacije sastojao se od više delova koje je moguće sistematizovati na sledeći način:

- Definisane predmeta istraživanja;
- Teorijska analiza i prikupljanje podataka o temi istraživanja u dostupnoj literaturi i iz drugih relevantnih izvora;
- Definisane cilja istraživanja;
- Definisane ciljne grupe i veličine uzorka, načina i mesta istraživanja;
- Oblikovanje upitnika i sprovođenje ankete;
- Prikupljanje podataka o povredama na radu, prikupljanje i sistematizacija podataka iz upitnika, priprema i kodiranje podataka;
- Statistička obrada podataka,
- Definisane uticajnih parametara na povrede na radu;
- Razvoj modela za predikciju povreda na radu u rudarskoj industriji na bazi neuronskih mreža i fazi logike;
- Validacija i ispitivanje modela;
- Analiza i diskusija dobijenih rezultata, verifikacija rezultata i zaključni komentari.

Na Slici 3–1 grafički je prikazan tok istraživanja prilikom izrade doktorske disertacije *Modeliranje uticajnih faktora i predikcija pojave povreda na radu u rudarstvu*.

DEFINISANJE PREDMETA ISTRAŽIVANJA
TEORIJSKA ANALIZA I PRIKUPLJANJE PODATAKA O TEMI ISTRAŽIVANJA U DOSTUPNOJ LITERaturi I
IZ DRUGIH RELEVATNIH IZVORA

OBLIKOVANJE UPITNIKA I SPROVOĐENJE ANKETE, PROVERA VALIDNOSTI SKALE,
CRONBACH ALFA KOEFICIJENT
PRIKUPLJANJE PODATAKA O POVREDAMA NA RADU, PRIKUPLJANJE I SISTEMATIZACIJA
PODATAKA IZ UPITNIKA, PRIPREMA I KODIRANJE PODATAKA

STATISTIČKA OBRADA PODATAKA (DESKRIPTIVNA STATISTIKA (FREKVENCE I PROCENTI), ANOVA,
PCA, PROMETHEE II METOD, RANGIRANJE RUDNIKA I DR.)

DEFINISANJE UTICAJNIH PARAMETARA NA POVREDE NA RADU

RAZVOJ MODELA ZA PREDIKCIJU POVREDA NA RADU U RUDARSKOJ INDUSTRIJI NA BAZI
NEURONSKIH MREŽA I FAZI LOGIKE

ANALIZA I DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA, VERIFIKACIJA REZULTATA I ZAKLJUČNI KOMENTARI

Slika 3–1 Grafički prikaz toka istraživanja

3.2 Definisanje ciljne grupe i veličine uzorka

Rudnici uglja podzemne eksploatacije u Srbiji rade pod centralizovanim upravljanjem Javnog preduzeća za podzemnu eksploataciju uglja Resavica (JP PEU Resavica). U okviru ove kompanije postoji devet podzemnih rudnika uglja sa jedanaest podzemnih proizvodnih jedinica a sve proizvodne jedinice kategorisane su kao visoko rizične, tj. rade u *metanskom režimu*. Metanski režim podrazumeva prisutne opasnosti od eksplozije metana ili ugljene prašine, samoupale uglja, gorskih udara i dr. Skučen prostor, neadekvatni uslovi za rad, pojava prasine, buke i vibracija na radnom mestu i radnoj okolini utiču kako na broj povreda tako i na zdravlje zaposlenih. Ukupna godišnja proizvodnja uglja JP PEU Resavica iznosi oko 600 000 t uglja. Niska proizvodnja posledica je niskoproduktivnih rudarskih metoda otkopavanja i izuzetno niskog nivoa mehanizovanosti celokupnog proizvodnog procesa. Relativno visok udeo manuelnog rada takođe rezultira i većim brojem povreda na radu u poređenju sa ostalim granama industrije ([Javno preduzeće za podzemnu eksploataciju uglja Resavica, 2021](#)).

Ciljna populacija u sprovedenom istraživanju ove doktorske disertacije jesu radnici zaposleni u podzemnoj eksploataciji uglja u Srbiji. Ova populacija radno je angažovana u okviru jedne kompanije Javnog preduzeća za podzemnu eksploataciju uglja Resavica, u kojoj radi ukupno 4211 radnika. Taj broj radnika podrazumeva i radnu snagu koja nije direktno angažovana u proizvodnji uglja i koja nije od interesa za sprovedeno istraživanje. Dato istraživanje obuhvatilo je 2800 radnika angažovanih direktno u proizvodnom procesu. Distribuirano je 1400 upitnika, ukupno je prikupljeno 1146, od koji su 95 odbačeni kao nepotpuni, i u daljoj analizi je korišćen 1051 upitnik distribuiran u 11 proizvodnih jedinica čija je raspodela prikazana u Tabeli 3–1.

Tabela 3–1 Prikaz broja ispravno popunjenih upitnika prema proizvodnim jedinicama

Naziv proizvodne jedinice	Broj radnika u proizvodnoj jedinici	Broj distribuiranih upitnika	Broj ispravno popunjenih upitnika	Procentualno učešće ispravno popunjenih upitnika u odnosu na broj distribuiranih
Aleksinac	303	120	107	89,17%
Lubnica	344	150	128	85,33%
Bogovina	218	120	98	81,67%
Sokobanja	550	120	73	60,83%
Ibarski	409	200	180	90,00%
Jasenovac	209	120	92	76,67%
Štavalj	460	150	119	79,33%
Vrška Čuka	107	80	52	65,00%
Senjski	260	100	42	42,00%
Vodna	153	80	48	60,00 %
Resavica	850	160	112	70,00 %
Ukupno	3863	1400	1051	75,07 %

Kao što se uočava u Tabeli 3–1, ukupno procentualno učešće ispravno popunjenih upitnika u odnosu na broj distribuiranih iznosi preko 70% i isto je zadovoljavajuće. U odnosu na pojedinačne proizvodne jedinice ovaj broj značajno varira, pa je upitnik imao najmanji odziv u Senjskom rudniku (manje od 50%), a najveće procentualno učešće imao je u Ibarskim rudnicima, gde iznosi 90%. U proizvodne jedinice sa visokom procentom ispravno popunjenih upitnika spadaju i Aleksinački rudnici, zatim rudnik Lubnica, Bogovina i Štavalj, gde je procenat 80%.

Da bi se obezbedila što bolja verodostojnost ispitivanog osnovnog skupa, posebna pažnja je posvećena pravilnom izboru vrste i veličine uzorka koji je korišćen u sprovedenom istraživanju. Uzorak jedino može biti reprezentativan ako je po svojoj strukturi sličan osnovnom skupu (Žižić et al., 1997). U istraživanju je korišćen slučajni uzorak jer samo za takav uzorak postoje statističke metode kojima se mogu objektivno izraziti zaključci o osnovnom skupu. Prilikom anonimnog anketiranja radnika jedan upitnik popunjava jedan radnik, tako da je korišćen uzorak - prost slučajni uzorak bez ponavljanja (Mutavdžić i Nikolić-Đorić, 2018).

Neophodnu veličinu uzorka u odnosu na koju bi se dobili validni zaključci određujemo prema formuli koju je dao Yamane (1967):

$$n = \frac{N}{(1+N \cdot (e)^2)}; \quad (1)$$

gde su:

n – veličina uzorka,
N – veličina populacije,
e – nivo preciznosti.

Primenom formule (1) na populaciju od 2800 radnika sa nivoom preciznosti od 3% dobija se veličina uzorka:

$$n = \frac{N}{(1+N \cdot (e)^2)} = \frac{2800}{(1+2800 \cdot (0.03)^2)} = 795,45 \approx 795.$$

Na osnovu Yamane formule potrebno je ukupno 795 ispitanika, a u ovom slučaju korišćeni su podaci 1051 ispitanika, što predstavlja dovoljan broj za validnost uz preciznost od 2,50%:

$$n = \frac{N}{(1+N \cdot (e)^2)} = \frac{2800}{(1+2800 \cdot (0,025)^2)} = 1018,18 \approx 1018.$$

Postoje i konzervativniji pristupi gde se zahteva da odnos broja opservacija i promenljivih bude najmanje 10. To znači da bi veličina uzorka za posmatrane 32 promenljive trebalo da bude najmanje 320 anketa (Vuković i Štrbac, 2019):

$$\frac{n}{X} = 10; \quad (2)$$

gde su:

n – veličina uzorka,
X – broj promenljivih.

Modeli bazirani na veštačkim neuronskim mrežama zahtevaju i veći broj podataka. Ovo stanovište zasniva se na činjenici da se preciznost predikcije razvijenog modela testira na podacima sa kojima mreža nije imala dodir u procesu treniranja, pa se značajan deo podataka izdvaja i za tu namenu (Anderson i McNelli, 1992).

3.3 Oblikovanje upitnika za anketiranje radnika

Prikupljanje informacija je ključni deo procesa istraživanja. Kako bi se obezbedili validni podaci za predikciju povreda uz pomoć modela baziranog na neuronskim mrežama, utvrđeno je da se prikupljanje podataka može ostvariti uz pomoć anketnog upitnika i korišćenjem *baza podataka o povredama na radu* koje postoje u okviru preduzeća, kao i drugim relevantnim činjenicama o radnom okruženju, organizaciji rada, uslovima za rad, geološkim i drugim karakteristikama posmatranih rudnika.

Anketiranje je, kao metoda za prikupljanje podataka, vrlo zastupljeno, pogotovo kada treba dobiti odgovore na pitanja koja opisuju mišljenja radnika, tj. njihov stav i odnos prema određenoj tematici (Miljković, 2004; Bazić i Bazić, 2017; Wattles, 2019). Pod anketiranjem se podrazumeva postupak prikupljanja podataka pri kome se prema već formalizovanim anketnim upitnicima, najčešće pismeno, istražuju: stavovi, sudovi, zaključci i mišljenja određenog dela populacije (Manasijević, 2016).

Anketni upitnik korišćen u sprovedenom istraživanju sastavljen je na način da se iz njega mogu prikupiti dve vrste podataka: kvantitativni i kvalitativni, tj. brojevi podaci i stavovi radnika o BZR. Demografske karakteristike ispitivanog uzorka obrađene su u prvom delu upitnika i one podrazumevaju podatke kao što su: godine starosti, kvalifikaciju radnika, godine radnog staža itd. Mišljenja ili stavovi radnika prikupljaju se iz pitanja koja se nalaze u drugom delu upitnika korišćenjem Likertove skale. Likertovu skalu osmislio je statističar Rensis Likert (1903–1981). Ona predstavlja ordinalni višestepeni tip skale i široko se primenjuje u istraživanjima. Za primenjeni upitnik korišćena je petostepena Likertova skala odgovora koja je predstavljena tvrdnjama od „u potpunosti se slažem“, „delimično se slažem“, „niti se slažem niti se ne slažem“, „delimično se ne slažem“ i „u potpunosti se ne slažem“ (Kothari, 2004; Mooi i Sarstedt, 2011).

Formulisani upitnik sadrži 37 pitanja i isti je prikazan u Prilogu broj 1. Kako bi se Anketni upitnik koristio za prikupljanje kvantitativnih podataka o ispitivanom uzorku, prvi deo upitnika čine pitanja demografskog tipa i pitanja u vezi sa povredama na radu. Drugi deo upitnika je u potpunosti prilagođen cilju istraživanja, tj. izdvajanju uticajnih faktora na povrede na radu. Kao baza za formiranje ovih pitanja korišćeni su upitnici već primenjivani u istraživanjima rudarskog sektora prilagođeni uslovima u Srbiji (Paul i Maiti, 2005; Kunar et al., 2010; Elenge et al., 2013; Calys-Tagoe et al., 2015; Ajith i Ghosh, 2019; Lu et al., 2020).

Metoda prikupljanja podataka uz pomoć upitnika je relevantna ako je pre formiranja konačnog upitnika sprovedena pilot studija, što je i učinjeno u toku 2018. godine u rudniku Bogovina. Nakon toga su uočene loše strane prvobitno pripremljenog upitnika, isti je izmenjen i poboljšan, a formalizovane su sledeće grupe pitanja:

- | | |
|-----------|--|
| I grupa | – Pitanja koja se odnose na demografske karakteristike posmatranog uzorka, |
| II grupa | – Pitanja koja se odnose na povrede na radu, |
| III grupa | – Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva, |
| IV grupa | – Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline, |

- V grupa – Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom,
 VI grupa – Pitanja koja se odnose na rukovodstvo,
 VII grupa – Pitanja koja se odnose na organizaciju rada,
 VIII grupa – Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa BZR.

U nastavku je prikazan detaljni opis strukture i grupe pitanja koja su korišćena u istraživanju.

3.3.1 Pitanja koja se odnose na demografske karakteristike posmatranog uzorka

Demografske karakteristike radnika su se u velikom broju istraživanja pokazale kao značajan faktor koji utiče na dešavanje povreda na radu u rudarskoj i drugim industrijama. Ova grupa pitanja se u upitniku sastoji od pet pitanja koja su prikazana u Tabeli 3–2.

Tabela 3-2 Pitanja koja se odnose na demografske karakteristike posmatranog uzorka

Demografski parametar	Kategorija				
	Muški		Ženski		
Pol					
Godine starosti	18–25	26–35	36–45	46–55	56–65
Ukupan kalendarski radni staž	0–10	11–15	16–20	21–25	26–35
Ukupan radni staž na trenutnom radnom mestu	0–10	11–15	16–20	21–25	26–35
Kvalifikacija/stručna sprema	Nekvalifikovan	Kvalifikovan	Srednja stručna sprema	Visoka stručna sprema	Magistratura/Doktorat

Demografska pitanja prikazana u Tabeli broj 3–2: pol, godine starosti, ukupan kalendarski radni staž, ukupan radni staž na trenutnom radnom mestu i kvalifikacija/stručna sprema detaljno su obrazložena u nastavku.

Pol radnika

U rudarskoj industriji, kako u Srbiji tako i u svetu, žene su oduvek bile zaposlene u znatno manjem broju nego muškarci. Ovakav trend je i danas prisutan, pa maksimalan broj žena u rudnicima Srbije iznosi 10% u odnosu na ukupan broj radnika. Ako bismo sagledali radnice koje su direktno angažovane u proizvodnim pogonima, onda bi to bilo približno 2% ukupnog broja radnika. Slučna situacija je u rudnicima širom sveta, npr. u Australiji, koja je tradicionalno rudarska zemlja, zastupljenost žena u rudarskom sektoru je manja od 10% ([Australian Government, 2016](#)).

Na osnovu ovih podataka očekivano je da i prilikom povređivanja najveće učešće u broju povreda imaju muškarci. Slučajevi povređivanja žena su retki. Ovaj trend se i u Srbiji i u svetu menja jer uvođenje novih tehnologija bez fizičkog/manuelnog rada omogućava ženama da ravnopravno rade i zarađuju na svim poslovima u rudarskoj proizvodnji.

Starost radnika i uticaj na povrede

Istorijski gledano, zavisnost godina starosti povređenog i učestalosti povređivanja proučavao je veliki broj naučnika. Dobijeni su prilično kontradiktorni rezultati. Naime, neki istraživači pronašli su direktnu zavisnost između godina starosti i povreda na radu, dok drugi nisu mogli to da utvrde.

Bennet i Passmore u svom literaturnom pregledu koji se odnosi na zavisnost između povreda i godina starosti, navode da: *pojedini naučnici (Drury 1965; Hagglund 1961) dokazuju direktnu zavisnost između povreda i starosti radnika sagledavajući ovu problematiku uglavnom sa medicinske tačke gledišta*. Međutim, bilo je i onih koji su ustanovili da ne postoji zavisnosti između starosti i povreda (Bennet i Passmore, 1984; Butani, 1988).

Radnici koji rade u agrarnoj proizvodnji i stariji su od 55 godina, imaju 10 puta veću šansu da dožive povredu u odnosu na druge starosne kategorije radnika (Meyer, 2005). Postoji mogućnost da se određene vrste povreda, kao što su npr. okliznuća, češće dešavaju starijim radnicima (Laflamme i Menckel, 1995; Blank et al., 1996). One su najčešće vezane za spretnost, napor i brzinu reakcija. Činjenica je da tokom godina, usled starenja, dolazi do smanjenja pažnje, ali treba imati u vidu da je danas radna populacija sve starija, pa je neophodno uslove rada prilagoditi ovim radnicima. Duži radni vek odražava se i na zaposlene u rudniku. Bez obzira na beneficirani radni staž prosečna starost radnika u rudnicima se povećava. Mogućnost povređivanja starije populacije dodatno je izražena u uslovima smanjene vidljivosti, usled strmih i nepreglednih puteva za kretanje, ograničenog radnog prostora, buke itd. (Laflamme i Menckel, 1995). Autori Maiti, Bhattacharjee, Lilley i saradnici u svojim su istraživanjima utvrdili da se veći broj povreda dogodi u kategoriji starijih radnika (Maiti i Bhattacharjee, 1999; Lilley et al., 2018). Naravno, postoje i autori koji tvrde da se povrede starijim radnicima ređe dešavaju zato što mogu da izbegnu opasne situacije zbog velikog radnog iskustva (Leigh et al., 1990; Cui et al., 2015; Shuanga et al., 2019).

Kako godine utiču na kvalitet rada tema je koja će sigurno u budućnosti biti intresantna naučnicima i poslodavcima. I priroda povreda starijih radnika, učestalost povreda i dužina bolovanja nakon povređivanja jesu faktori koji na neki način definišu povrede starijih radnika. Warr sprovodi istraživanje bazirano na uticajnim faktorima. Navodi da godine radnika u odnosu na rad imaju uticaja u tri aspekta:

- fizička sposobnost,
- prilagodljivost,
- opšta efikasnost radnika,

i to na sledeći način: fizička sposobnost i prilagodljivost opadaju sa godinama, dok opšta efikasnost raste kao posledica iskustva. Pretpostavljeno je da kombinovani uticaji ovih faktora mogu dovesti do povećanog rizika od nezgode, koji sa godinama raste (Warr, 1993).

Postoje oprečna mišljenja o uticaju godina starosti na pojavu povreda. Pored gore navedenih autora koji su u svojim istraživanjima došli do zaključka da se stariji radnici češće povređuju, u nastavku su navedeni i oni koji su u svojim istraživanjima pronašli uporište za obe tvrdnje. Ustanovljeno je, posmatajući izgubljen broj radnih dana u odnosu na godine starosti, da je najveća stopa u kategoriji starih (56–61) i mladih (21–26) radnika (Blanch et al., 2009). Butani je proučavao zavisnost godina starosti radnika i broja povreda i došao do zaključka da godine nemaju uticaj na povređivanje određene populacije radnika. On je ovu problematiku sagledao i zaključio da godine nisu presudne za povređivanje, ali iskustvo radnika na tim poslovima jeste, a mladi radnici nemaju iskustva, pa se češće i povređuju (Butani, 1988).

Salminen zastupa stav da se mladi radnici češće povređuju. U literaturnom pregledu, obrađujući period od 1940. do 2002. godine, došao je do zaključka da se mladi radnici češće povređuju u odnosu na starije, ali je u opsegu smrtnih povreda veća stopa smrtnosti kod starijih nego kod mladih radnika (Salminen, 2004). Neki istraživači utvrdili su da je broj smrtnih povreda veći kod

starijih radnika, ali da je broj lakih i teških povreda veći u kategoriji mladih radnika (Waltersa et al., 2013).

Leigh i grupa naučnika proučavali su zavisnost učestalosti povređivanja i starosti radnika i došli do zaključka da su povrede češće kod mlađe populacije radnika. U rudnicima sa podzemnom eksploatacijom 61%, pri površinskoj eksploataciji 72%, a u celokupnoj industriji 54% svih povreda pripada radnicima mlađim od 40 godina (Leigh et al., 1990). U turskim rudnicima uglja je najveći broj povreda među radnicima starosne grupe 35–40 godina (Sari et al., 2004). Bureau of Labor Statistics Supplementary Data System (SDS) jeste baza povreda na radu prikupljena na osnovu podataka država učesnica SDS programa. Root je, analizirajući SDS bazu koja je u toku 1987. godine prikupila podatke o preko milion povreda radnika u više od 30 država, došao do zaključka da se u kategoriji mlađih radnika dešava više povreda nego u kategoriji starijih (Root, 1987). Neki stručnjaci su pokušali i da utvrde koliki je rizik od povređivanja za određene starosne grupe, i došli do zaključka da su rizici veći u kategoriji radnika do 40 godina, tj. mlađih radnika (Blanket et al., 1996). Stemn je, proučavajući rudare u rudnicima Gane, došao do zaključka da najveći rizik za dešavanje povreda sa smrtnim ishodom imaju radnici starosne grupe 38–47, odnosno 23,3% (Stemn, 2019). Do sličnog zaključka je došao i Sanmiquela koji je utvrdio da je u rudnicima uglja u Španiji najveći indeks povreda rudara starosti 40–54 godina (Sanmiquela et al., 2015).

Radno mesto i kvalifikacija

Kvalifikacija povređenog je faktor koji neminovno utiče na učestalost povređivanja. Od kvalifikacije zavisi i opis poslova koje radnik obavlja, kao i rizik kojem je izložen u toku rada. Stojadinović i saradnici u analizi povreda dolaze do zaključka da se u srpskim rudnicima podzemne eksploatacije uglja radnici najniže kvalifikacije najčešće povređuju (Stojadinović et al., 2012). Proučavajući povrede u američkim rudnicima uglja Karra navodi da je, pored kvalifikacije, bitno i mesto rada, tj. uslovi na radnom mestu (Karra, 2005). Autori koji su se bavili proučavanjem zavisnosti broja povreda i radnog mesta došli su do istog zaključka – da se u rudnicima najčešće povređuju radnici koji su angažovani na dopremi repromaterijala i u transportu. Elange i drugi autori dopremu repromaterijala stavljaju na drugo mesto, dok se radnici koji prilikom rada koriste ručni alat (lopatе, pijuke, čekiće itd.) najviše povređuju (Maiti i Bhattacharjee, 1999; Sari et al., 2004; Elange et al., 2013).

Kvalifikacija u sprezi sa mestom rada ima veliko učešće u dešavanju povreda. Pre svega, utiče na dužinu izloženosti nekoj opasnosti, uslovljava radnu okolinu a i definiše poslove koje radnik obavlja, kao i mašine i alate kojima će biti izložen. Pored toga, nizak stepen obrazovanja utiče na razumevanje sigurnosnih procedura, uputstava, obuka, zabrana itd.

Radno iskustvo i povrede na radu

Radno iskustvo zaposlenih spada u jedan od najčešće proučavanih parametara prilikom definisanja učestalosti povređivanja. Grupisanje povreda oko kategorija radnika sa određenim radnim iskustvom jeste evidentna pojava. Isto tako, Maiti i Bhattacharjee utvrdili su da radnici sa više od 20 godina radnog iskustva imaju najviši indeks učestalosti povređivanja, dok su Leigh i drugi uočili da su to oni sa više od 5 godina radnog iskustva (Leigh et al., 1990; Maiti i Bhattacharjee, 1999). U praksi, u Srbiji i drugim zemljama regiona, dužina radnog staža najčešće se deli na sekvence koje traju 5 godina (Spasić, 2003).

Može se reći da ustaljeno mišljenje da se mladi radnici, tj. oni bez iskustva, češće povređuju nego radnici sa više radnog iskustva nije relevantno, tj. potrebno je izvršiti detaljniju analizu koja treba da uzme u obzir i ukupan broj radnika sa tim radnim iskustvom u tim poslovima, kako bi se dobila realna slika, ukupan radni staž na određenim poslovima, kao i prirodu prethodnog radnog angažovanja. Bitno je i da li je radnik prethodno obavljao slične poslove i da li je već bio u ovakvoj radnoj sredini pa je savladao određene prepreke, koliko godina je imao u trenutku povređivanja, ali i kvalitet obuke, kvalitet ličnih zaštitnih sredstava itd. Kecojević je analizirao zavisnost radnog iskustva rukovalaca rudarskim mašinama i smrtnih povreda gde je uzrok smrti bila rudarska mašina (Kecojević et al., 2007). Studija je pokazala da se 44% povreda desilo u kategoriji radnika koji su imali manje od pet godina radnog iskustva na ovim poslovima. Butani je došao do zaključka da je učestalost povređivanja povećana za radnike koji imaju manje od jedne godine radnog iskustva i manja je u kategoriji radnika koji imaju preko petnaest godina radnog iskustva (Butani, 1988).

Više studija bavilo se ovom analizom sa ciljem da definišu zavisnost između povređivanja i radnog iskustva. Margolis je u studiji koja je analizirala radnike podzemne eksploatacije uglja SAD došla do zaključka da radno iskustvo nema značajan uticaj na težinu povrede radnika, kao što se to pretpostavljalo (Margolis, 2010). Maiti i Bhattacharje nisu pronašli zavisnost između radnog iskustva i broja povreda u rudnicima. Sanmiquet i drugi takođe nisu uočili relevantnu zavisnost između ova dva faktora u podzemnim rudnicima (Maiti Bhattacharje, 2001; Sanmiquet et al., 2010).

3.3.2 Pitanja koja su u vezi sa povredama na radu

Detaljna analiza faktora koji utiču na povrede, definisanje povrede na radu kao kategorije i što preciznija predikcija povreda predstavljaju bazični koncept ove disertacije. Kako bi se što bliže definisala izlazna veličina, tj. ishod potencijalno rizičnog događaja – povrede na radu, u upitniku je definisano šest pitanja/tvrdnji koje se odnose na povrede na radu. Ova pitanja prikazana su u Tabeli 3–3.

Tabela 3–3 Pitanja koja su u vezi sa povredama na radu

Pitanja	Kategorija				
U toku svoje karijere doživio sam povredu na radu:	Nisam		Jesam		
Povredu je okarakterisana kao:	Laka		Teška		
Povredu sam doživio pre (godina):	≤ 1	2 – 3	≥ 3		
Povredio sam:	Ruku	Nogu	Glavu	Trup	Ostalo
Smatram da se povreda desila usled:	Moje nepažnje Loših uslova rada Neadekvatne obuke Greške mojih pretpostavljenih Neadekvatne opreme za rad Više sile				
U kojoj smeni se desila povreda?	Prva	Druga	Treća		

Potrebno je naglasiti da povrede koje su se dogodile tri godine nakon anketiranja nisu uzete u obzir prilikom realizacije modela za predikciju povreda na radu. Period do tri godine smatra se optimalnim periodom za prognozu povreda na radu, prvenstveno jer se uslovi rada ne mogu znatno promeniti, kao ni kvalifikacija radnika, starosna kategorija i sl.

3.3.3 Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva

Lična zaštitna sredstva igraju bitnu ulogu prilikom dešavanja povrede – što se odnosi kako na sprečavanje povreda tako i na zaštitnu ulogu, kada se povreda desi – pri čemu lična zaštitna sredstva utiču na stepen težine povrede (Jarl, 1980). Pored uloge u sprečavanju povreda, lična zaštitna sredstva utiču na smanjenje profesionalnih oboljenja, hroničnih bolesti i na komfor rada. U Republici Srbiji je standardom i propisima definisano koja vrsta zaštitnih sredstava je obavezna za određene poslove i određenu industriju. U svim rudnicima uglja obavezno je nošenje ličnih zaštitnih sredstava (LZS), međutim, usled neadekvatnog (u ergonomskom pogledu) načina izrade LZS, ona radnicima često pričinjavaju teškoće prilikom rada. Ova problematika, tj. zadovoljstvo radnika LZS, obrađena je u pitanju PPE_2 (*Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim*). Interesantna činjenica vezana za zaštitna sredstva koju je potrebno ispitati jeste da se kod svih povreda u rudarstvu uvek tvrdi da je povređeni koristio sva zaštitna sredstva, a zapravo to nije slučaj. Pitanja iz ove grupe prikazana su u Tabeli 3–4.

Tabela 3–4 Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva

Kodiran naziv pitanja	Pitanja III grupe - Lična i kolektivna zaštitna sredstva
PPE_1	Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu
PPE_2	Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim
PPE_3	Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)
PPE_4	Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu
PPE_5	Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva

Pored upotrebe zaštitne opreme bitan je i kvalitet iste, kao i da je ona komforna za rad. Autori Dabson i grupa saradnika ispitivali su uticaj rudarskih čizama na kvalitet rada, uticaj na oboljenja donjih ekstremiteta radnika, ali i uticaj na povrede rudara. Ustanovljena je jaka korelacija između vrste ili kvaliteta ove opreme i povrede vezane za okliznuća, iščašenja i pada predmeta na nogu (Dabson et al., 2018).

3.3.4 Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline

Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline su veoma bitni pokazatelji koji su sadržani u Aktu o proceni rizika na radnom mestu i u radnoj okolini. U Tabeli 3–5 prikazana su pitanja koja pripadaju ovoj grupi koja su tako koncipirana da izražavaju mišljenje svakog pojedinca o opremi za rad i uslovima radne okoline.

Tabela 3–5 Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline

Kodiran naziv pitanja	Pitanja IV grupe - Oprema za rad i uslovi radne okoline
WEM_1	Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena
WEM_2	Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu
WEM_3	Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih
WEM_4	Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)

Grupa pitanja prikazana u Tabeli 3–5 odnosi se na opremu za rad koja se koristi u rudnicima. U svojoj studiji Duarte ističe da su mašine u vezi sa kojima se najčešće dešavaju povrede na radu u rudarskoj industriji: trakasti transporteri, kamioni i sl. Povrede se dešavaju kako u toku rada sa mašinama tako i u toku održavanja istih (Duarte et al., 2021).

Najveća slabost rudnika u kojima je sprovedeno anketiranje radnika za potrebe ovog istraživanja jeste nedovoljna mehanizovanost. Osim transportnih sredstava (transportne trake i grabuljasti transporteri), kao i opreme za dopremu repromaterijala (samohodna viseća žičara), ne postoji druga oprema. U toku pisanja ovog rada, posle više od 30 godina, ponovo je počela mehanizovana izrada prostorija u pojedinim rudnicima. Ostali uređaji (pumpe, transformatori i sl.) stacionarni su i do povređivanja može doći prilikom njihovog prenošenja.

3.3.5 Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom

Vrlo često se nebezbedno ponašanje ističe kao glavni uzrok nesreća i povreda na radu u celokupnoj industriji, pa i u rudarstvu. Hollnagel naglašava kako je nebezbedno ponašanje indirektno ili direktno uzrok 90% povreda ili akcidenata (Hollnagel, 1998). Do takvog zaključka došli su i Patterson i Shappell proučavajući nebezbedno ponašanje rudara u australijskim rudnicima (Patterson i Shappell, 2010). Veliki broj autora ističe da je ljudski faktor i nebezbedno ponašanje vodeći uzrok u dešavanju kolektivnih povreda i velikih nesreća u rudnicima (Zhao i Nie, 2011; Zheng et al., 2016; Yin et al., 2017; Qiao et al., 2018). I Kunar je u svojoj studiji uočio da je rizično ponašanje najuticajniji faktor koji dovodi do povrede na radu (Kunar et al., 2010). U Tabeli 3–6 prikazana su izdvojena pitanja u vezi sa prisutnim rizicima na radnom mestu.

Tabela 3-6 Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom

Kodiran naziv pitanja	Pitanja V grupe - Rizici u vezi sa radom
WE_1	Na mom radnom mestu izložen sam riziku od iznenadnog obrušavanja, izboja gasa, vode...
WE_2	Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)
WE_3	Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu
WE_4	Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure
WE_5	Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje

Pitanja prikazana u Tabeli 3–6 definišu rizike u vezi sa radom, među kojima se nebezbedno ponašanje zaposlenih izdvaja kao vodeći uzrok povređivanja radnika. U nekoliko istraživanja pronađena je značajna zavisnost između nebezbednog ponašanja i pojave eksplozija u rudnicima. Prema Zheng, nebezbedno ponašanje radnika je uzrok 94% nesreća, dok Yin i drugi tvrde da su sve nesreće čiji su uzrok eksplozije metana bile povezane sa nebezbednim ponašanjem zaposlenih. Do sličnog zaključka dolazi i Chen sa istraživačima – 97,67% svih nesreća u rudniku vezano je za nebezbedno ponašanje (Zheng et al., 2009; Chen et al., 2012; Yin et al., 2017).

3.3.6 Pitanja koja se odnose na rukovodstvo

Rukovodstvo rudnika i njihov odnos prema sistemu BZR utiču kako na povrede na radu tako i na odnos radnika prema poštovanju mera BZR. Pojedini istraživači tvrde da na bezbednost najviše utiče stav pojedinca na mikro nivou, kao i kvalitet komunikacije između radnika i rukovodstva. Naglašavaju i da, u cilju unapređenja bezbednosti, prioritet treba da bude kvalitetnija direktna komunikacija između radnika i rukovodilaca (Lin et al., 2008). U Tabeli 3–7 izdvojena su pitanja koja se odnose na rukovodstvo i njihov odnos prema BZR.

Tabela 3–7 Pitanja koja se odnose na rukovodstvo

Kodiran naziv pitanja	Pitanja VI grupe – Menadžment preduzeća
M_1	Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno
M_2	Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja
M_3	Moji nadređeni zaustaviće rad u slučaju da se obavalja nebezbedno
M_4	Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom
M_5	Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj

Pitanjima prikazanim u Tabeli 3–7 može se oceniti kako odnos menadžmenta preduzeća prema BZR tako i odnos rukovodstva prema radnicima, kvalitet međusobne komunikacije i sl.

Autori koji kao uzrok za dešavanje povreda navode loš odnos menadžmenta preduzeća prema kontroli i sprovođenju bezbednosnih procedura jesu Sanmiquet i Hana. Oni u svojim istraživanjima ističu i da na bezbednost utiče stav pojedinaca na mikro nivou, komunikacija na relaciji pojedinac-menadžment i da je rad na poboljšanju ovih odnosa prioritet za unapređenje bezbednosti na radu u rudnicima (Sanmiquet et al., 2010; Hana et al., 2019).

Za dešavanje povreda na radu najznačajniji je odnos preduzeća i rukovodilaca prema BZR, (Cavazza i Serpe, 2009). Mnoge nesreće nastale su zbog neznanja rukovodstva o osnovnim načelima bezbedne proizvodnje. Menadžment preduzeća, kome je proizvodnja imperativ a BZR manje značajana, dovodi do stvaranja nebezbedne radne okoline u kojoj su povrede na radu učestala pojava. Posvećenost menadžmenta BZR je najznačajniji faktor, jer radnici imaju poverenja u rukovodstvo i njihove odluke i ni na koji način ih ne preispituju. Loše odluke rukovodstva i instrukcije koje nisu u skladu sa zakonom i BZR procedurama direktno su uticale na dešavanje više nesreća u rudnicima uglja u Kini (Zhangtao, 2010; Lua et al., 2020).

Autori Spada i Burgherr, podstaknuti nesrećom u turskom rudniku Soma koja se dogodila 2014. godine, istraživali su da li se, na osnovu podataka o povredama koje su se već dogodile, ovaj događaj mogao očekivati. Došli su do zaključka da je trend očekivanja povreda za Tursku u porastu, dok za ostale zemlje opada. Ovaj trend povezali su sa skorašnjom privatizacijom rudnika u Turskoj i malim finasijskim ulaganjem u mere BZR (Spada i Burgherr, 2016).

Lu i saradnici su u svom istraživanju istakli značaj posvećenosti menadžmenta preduzeća sistemu BZR. Autori su u istraživanju sprovedenom u rudnicima utvrdili direktnu zavisnosti između posvećenosti menadžmenta preduzeća BZR i performansi BZR (Lu et al., 2020).

3.3.7 Pitanja koja se odnose na organizaciju rada

Organizacioni faktori su još 70-ih godina prepoznati kao uticajni faktor na dešavanja povreda na radu (Khanzode et al., 2012). Autori Brocal i drugi daju smernice za poboljšanje ljudskih i organizacionih performansi sa ciljem unapređenja upravljanja rizikom u složenim sistemima, a posebno su izdvojeni faktori koji opisuju: organizacione performanse sistema, ljudske performanse i dinamičko upravljanje složenim sistemima (Brocal et al., 2019).

Mehanizam koji čoveku pomaže da svoje aktivnosti i aktivnosti svog organizma uskladi sa određenim delovima dana naziva se bioritam. Ljudski bioritam uzrokuje da je čovek u dnevnim časovima aktivan, dok mu noć služi za odmor. Neke studije pokazuju da je smenski rad uticajan prilikom oboljevanja od kardiovaskularnih bolesti (Akersted et al., 1984). Postoji pretpostavka da radnici u toku noći (od 23.00 do 6.00 časova) nisu dovoljno skoncentrisani, da usled pospanosti i umora ne reaguju brzo, pogotovo u ranim jutarnjim časovima. „Jedino Pflaider and Krug (1973) došli su do zaključka da je rad u dve proizvodne smene nesigurniji nego u tri, jer se pri radu u tri smene poklanja veća pažnja održavanju opreme” (Bennet i Passmore, 1984). Do sličnog zaključka došao je i Stojadinović koji je sa drugim istraživačima u svojoj studiji ustanovio da se najveći broj povreda dogodi u toku prve smene kada se radi redovno održavanje opreme (Stojadinović et al., 2012), a slično su zaključili i drugi stručnjaci (Elenge et al., 2013) koji su ustanovili da skoro polovina povređenih radnika ne radi noćnu smenu. Pojedini autori uočili su da radnici sa iskustvom od 5 do 15 godina rada, koji rade u smenskom režimu, imaju veću verovatnoću da dožive nefatalnu povredu, nego oni koji rade pre podne (Cui et al., 2015; Yu et al., 2017).

Pitanja koja su izdvojena u dosadašnjim istraživanjima prikazana su u Tabeli 3–8.

Tabela 3–8 Pitanja koja se odnose na organizaciju rada

Kodiran naziv pitanja	Pitanja VII grupe - Pitanja koja se odnose na organizaciju rada
OR_1	Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR
OR_2	Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)
OR_3	Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena
OR_4	Organizacija rada je uskladen sa dinamikom rada (tempo rada mi odgovara)

Loše procedure u preduzeću i nepoštovanje propisanih procedura i zakonski propisanih normi često su inicijalni uzrok dešavanja kolektivnih povreda. Sanmiquet u svom radu navodi da je u

posmatranom uzorku 69,10% povreda koje su dogodile u rudnicima u Španiji bilo posledica loših sigurnosno preventivnih procedura u samom preduzeću, npr. nedostatak/nekorišćenje ličnih zaštitnih sredstava, neispravnost opreme za rad (Sanmiquet et al., 2010).

Odgovornost preduzeća u svom radu preispituju Komljenović i drugi analizirajući nesreću koja se dogodila u rudniku uglja Upper Big Branch Mine South SAD, kada je, usled eksplozije, poginulo 29 rudara i iznose zaključak da se ova nesreća ne bi ni dogodila da su ispoštovani neki od osnovnih principa BZR. Autori dalje navode da ovakva nesreća nije posledica pojedinačnih zakonskih propusta nego više njih u kombinaciji sa neadekvatnim stavom menadžmenta preduzeća, radnika i organizacionih propusta (Komljenović et al., 2017). Zheng i grupa autora navode da je 94% žrtava u ovim nesrećama nastalo kao posledica kršenja radne discipline (Zheng et al., 2016).

U pojedinim istraživanjima proučavana je veza između broja i ozbiljnosti tačaka u inspekcijskim izveštajima i broja povreda. Polazna hipoteza bila je da rudnici sa više primedbi inspektora nemaju uređen sistem BZR i, samim tim, postoji veća mogućnost da dođe do nesreća. Keckojević u svom radu nije pronašao zavisnost između ovih parametara. Kinilakodi and Grayson su ovaj problem posmatrali u odnosu na veličinu rudnika i uočili da manji rudnici imaju manje primedbi inspektora, dok veći rudnici više krše zakonske i druge procedure (Keckojević, 2011; Kinilakodi i Grayson, 2011).

Postoji granica do koje je moguće postići poboljšanje u BZR uz pomoć organizacionih mera i do smanjenja povreda na radu. Određene primenjene mere ne deluju isto na smanjenje povreda na radu u različitim kategorijama povreda, tj. oragnizacione mere uspešno smanjuju broj teških i smrtnih povreda, dok u kategoriji lakih povreda nisu tako efikasne (Löow i Nygren, 2019).

3.3.8 Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa bezbednošću i zdravljem na radu

Značaj obuke radnika prepoznat je kako u praksi tako i u zakonskoj regulativi koja se odnosi na BZR. Njen značaj prvenstveno se ogleda u stavovima zaposlenih pa će to, ukoliko zaposleni imaju visoku svest o značaju bezbednosti i zdravlja na radu, u potpunosti prihvataju sadržaj prezentovan na obukama i treninzima i isti primenjuju u svom samostalnom radu, direktno dovesti do smanjenja broja povreda. U pomenutom upitniku ova grupa pitanja prikazana je u Tabeli 3–9.

Tabela 3–9 Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa BZR

Kodiran naziv pitanja	Pitanja VIII grupe - Obuke u vezi sa radom
T_1	Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu
T_2	Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu
T_3	Obuke za rad sprovode stručna lica

Više studija analizira obuku radnika. Pojedini autori predlažu da obuka, pogotovo mladih radnika, bude koncipirana na način koji nije suvoparno učenje, već tzv. „pokazno učenje“ uz pomoć treninga i prakse. Potrebno je da vežbe i treninzi budu organizovani tako da mlađa populacija može lakše usvojiti procedure i mere bezbednosti. Značaj kvalitetne i adekvatne obuke jeste ono što se kao preporuka ili obaveza pominje u svim studijama o povredama na radu (Sari et al., 2004; Sanmiquet et al., 2010; Laberge et al., 2017). Smith ukazuje na specifičnosti rudarskog okruženja stavljajući

poseban akcenat na male rudnike i ukazuje na činjenicu da, iako svest o riziku postoji, bez adekvatne obuke rudari nisu u mogućnosti da deluju preventivno i zaštite svoje zdravlje i zdravlje svoje porodice (Smith et al., 2016).

Istraživači Somerville i Abrahamsson proučavali su specifičan način na koji zaposleni u rudarskom sektoru usvajaju znanja u vezi sa BZR. Rudari uglavnom uče na osnovu praktičnih iskustava u toku svog radnog veka i vrlo teško usvajaju principe i bezbednosne procedure od strane stručnih lica. Najbitniji momenat u procesu usvajanja ovih procedura jeste sticanje poverenja i poštovanja stručnih lica od strane radnika. Radnici u rudnicima brže usvajaju znanja koja im stručna lica prezentuju kroz praksu i u svakodnevnim aktivnostima na radnom mestu (Somerville i Abrahamsson, 2003).

Analiza odnosa efikasnosti upravljanja rudnikom i bezbednosnih performansi ukazala je na direktnu zavisnost posvećenosti rukovodstva i uključenosti zaposlenih u bezbednost i zdravlje na radu. BZR obuke utiču direktno na poštovanje bezbednosnih procedura prilikom rada, a indirektno - na primenjeno znanje i motivaciju radnika (Lu et al., 2020). Isti autori uočili su da se direktni efekat bezbednosnih obuka ogleda u savesnijem pridržavanju mera bezbednosti i bezbednosnih procedura u kategoriji radnika koji su bili plaćeni po učinku, dok kod radnika koji su bili angažovani u „režiji“, tj. njihova plata se nije menjala u odnosu na učinak, efekat BZR obuka nije bio tako značajan.

Zhang je, istražujući smrtno povrede koje su se desile u rudnicima uglja a koje su u vezi sa mehanizacijom, došao do zaključka da je neadekvatna obuka radnika bila jedan od tri najznačajnija faktora koja se dovode u vezu sa smrtnim ishodom ovih povreda (Zhang et al., 2014).

3.4 Provera pouzdanosti merne skale

Bitan pokazatelj svake merne skale jeste i njena pouzdanost, tj. stepen njene otpornosti na slučajne greške. Za određivanje pokazatelja unutrašnje ravnomernosti skale korišćenog upitnika primenjen je Crombah Alfa koeficijent. Crombah Alfa koeficijent se najčešće primenjuje kada se za ocenu koristi Likertova skala i predstavlja prosečnu korelaciju između pitanja u upitniku u okviru jedne grupe (Cronbach, 1951). Potrebno je da vrednost Crombah Alfa koeficijenta bude veća od 0,7 u svakoj od grupa, kako bi se ista ocenila kao konzistentna.

Spearman-Brown koeficijent se vrlo često koristi prilikom validacije ordinalnih mernih skala sa pet elemenata i njegova vrednost takođe treba da bude veća od 0,7, što se u Tabeli 3-10 i uočava kao ispunjen uslov.

Tabela 3–10 Prikaz konzistentnosti merne skale na osnovu Crombah alfa koefijenta i Spearman-Brown koeficijenta

Grupa pitanja	Oznaka pitanja u okviru grupe	Broj stavki u okviru grupe pitanja	Cronbach's Alpha koeficijent	Spearman – Brown koeficijent
Lična i kolektivna zaštitna sredstva	PPE_1, PPE_2, PPE_3, PPE_4, PPE_5	5	0,744	0,764
Oprema za rad i uslovi radne okoline	WEM_1, WEM_2, WEM_3, WEM_4	4	0,861	0,846
Rizici u vezi sa radom	WE_1, WE_2, WE_3 WE_4, WE_5	5	0,755	0,727
Menadžment i rukovodstvo	M_1, M_2, M_3, M_4, M_5	5	0,852	0,813
Organizacija rada	OR_1, OR_2, OR_4	4 [#] (3)	0,659 [#] (0,771)	0,736
Obuke u vezi sa radom	T_1, T_2, T_3	3	0,738	0,727
Sve stavke	/	25# (24)	0,936	0,834

[#] Vrednost Crombah Alfa koeficijenta pre izbacivanja OR_3/ V grupe - Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena.

Kao što se u Tabeli 3–10 uočava, Crombah Alfa koeficijent u svim grupama pitanja ima vrednost veću od 0,7, izuzev u V grupi pitanja koja se odnosi na Organizaciju rada, gde je njegova vrednost 0,659. Detaljnijom analizom ustanovljeno je da se izbacivanjem pitanja OR_3 iz ove grupe (*Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena*), vrednost Crombah Alfa koeficijenta povećava na 0,771. U daljoj obradi podataka neće biti korišćeni odgovori ispitanika dati na pitanje OR_3, V grupe pitanja.

Spearman-Brown koeficijent je, prilikom analize pouzdanosti merne skale korišćene u istraživanju, pokazao zadovoljavajuću vrednost u svim grupama pitanja. Najveću vrednost imao je za II grupu pitanja – Oprema za rad i uslovi radne okoline (0,846) a najmanju vrednost za dve grupe pitanja: III grupu – Rizici u vezi sa radom (0,727) i VI grupu – Obuke u vezi sa radom (0,727).

3.5 Prikupljanje, sređivanje i kodiranje podataka iz anketnih listova

Od distribuiranih 1400 upitnika, ukupno je prikupljeno 1146 u 11 proizvodnih jedinica, od kojih je 95 odbačeno kao nepotpuno. Detaljan pregled ispravno popunjenih upitnika prikazan je u Tabeli 3–1, tačka 3.1.

Prikupljeni materijal bilo je potrebno kodirati kako bi se dobila adekvatna forma podataka za dalju analizu. S obzirom na to da je za potrebe istraživanja bilo neophodno da se podaci kodiraju, tj. da se izvrši klasifikacija, odgovori na pitanja iz upitnika morali su da budu precizirani, tj. u određenoj formi. Pod kodiranjem se podrazumeva proces prevođenja lingvističkih odgovora u numeričke vrednosti (anketni list) u svrhu dalje statističke i drugih analiza podataka, interpretacije podataka i diskusije dobijenih rezultata (Wattles, 2019). Proces kodiranja podataka je vrlo važan i potrebno je pažljivo pristupiti njegovoj obradi kako bi se izbegle greške koje mogu značajno uticati na sprovedeno istraživanje.

Nakon kodiranja podataka pristupljeno je pronalaženju i uklanjanju pogrešno unetih podataka. Prvo je izvršena provera vrednosti promenljivih, tj. da li su iste van opsega mogućih vrednosti, a nakon toga i provera minimalnih i maksimalnih vrednosti promenljivih. Provera, pronalaženje i uklanjanje pogrešnih vrednosti izvršeni su uz pomoć programskog paketa *IBM SPSS Statistics v23*.

Pošto je konačni cilj prikazanog anketnog upitnika sagledavanje uticajnih faktora povreda na radu u podzemnoj eksploataciji uglja kako bi se omogućila predikcija povreda uz pomoć modela baziranog neuronskim mrežama, ulazne podatke je potrebno i normalizovati. Normalizacija ulaznih podataka primenjuje se kako bi se izbegle greške prilikom predikcije mreže.

Normalizacija ulaznih podataka izvršena je prema formuli za linearnu transformaciju za opseg (0,1), prema formuli:

$$x_n = \frac{(x_0 - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})}; \quad (3)$$

gde je:

- x_n – normalizovana vrednost;
- x_0 – stvarna vrednost;
- x_{max} – maksimalna izmerena vrednost;
- x_{min} – minimalna izmerena vrednost.

Iako normalizacija podataka usporava celokupni proces, vrlo je značajna za dobijanje preciznih rezultata prilikom izrade modela za predikciju uz pomoć ANN (Sola i Sevilla, 1997).

3.6 Statističke metode

U savremenom naučnom istraživanju prikupljeni podaci se vrlo često analiziraju primenom metoda statističkog istraživanja.

Ovaj proces se najčešće deli na tri osnovne faze:

- statističko posmatranje,
- sređivanje, grupisanje i obradu prikupljenih podataka i
- statističku analizu (Žižić et al., 1997).

Prve dve faze prikazane su u prethodnim poglavljima, dok su u trećoj fazi korišćene sledeće metode: Analiza varijanse (ANOVA) i Analiza glavnih komponenti - PCA (*Principal Component Analysis*).

3.6.1 Analiza varijanse

Analiza varijanse predstavlja tehniku koja se veoma često primenjuje u eksperimentalnim istraživanjima. Značajan doprinos razvoju ove tehnike dao je britanski statističar Ronald Fišer početkom 20. veka. U dostupnoj literaturi naziv ove metode predstavljen je skraćenicom ANOVA,

koja je proistekla iz *ANalysis Of Variance* (engl.) - analiza varijanse. ANOVA je tehnika koja poredi promenljivost varijanse između više grupa sa varijansom unutar svake grupe.

ANOVA je statistička parametarska metoda kojom se ispituje da li tri ili više skupova imaju među sobom jednake aritmetičke sredine. Postoji više tipova analize varijanse: jednofaktorska analiza varijanse, jednofaktorska analiza varijanse za ponovljena merenja, dvofaktorska analiza varijanse, proširena analiza varijanse ili multivarijaciona i dr.

Za korišćenje ove metode potrebno je da ispitivani uzorak ispuni određene preuslove:

- Zavisna varijabla treba da bude merena intervalnom skalom i približno normalno distribuisana,
- Uzorak mora da sadrži različite ispitanike u svakoj grupi,
- Nema velikog odstupanja ekstremnih vrednosti,
- Varijanse osnovnih skupova treba da budu jednake.

Prema Žižićevom mišljenju, nulta hipoteza je:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i. \quad (4)$$

Nulta hipoteza tvrdi da su aritmetičke sredine svih posmatranih skupova međusobno jednake, dok alternativna hipoteza glasi:

H_1 : *Aritmetičke sredine bar dva skupa se među sobom razlikuju* (Žižić et al., 1997).

Jednofaktorska analiza varijanse sada se matematički može predstaviti:

$$X_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}; \quad (5)$$

gde su:

X_{ij} – j-ta opservacija izabrana iz i-tog skupa;

μ_i – zajednička aritmetička sredina i-tog skupa;

ε_{ij} – slučajna greška (Žižić et al., 1997).

Bitni pokazatelj ANOVA je i pokazatelj F koji predstavlja količnik varijanse između grupa i varijanse grupe. Statistička značajnost pokazatelja F upućuje na odbacivanje ili prihvatanje testirane tvrdnje. Ukoliko rezultati F testa upućuju na odbacivanje nulte hipoteze, što znači da je vrednost F značajno veća od 1, tada ANOVA ukazuje da postoje razlike u aritmetičkim sredinama bar dva skupa, ali ne i između koja dva. Kako bi se utvrdilo između kojih skupova postoje značajne razlike, koristi se višestruka komparacija (Post Hoc Test). Višestruka komparacija podrazumeva postupak upoređivanja svih mogućih parova uzoraka i testira da li postoji statistički značajna razlika između njihovih aritmetičkih sredina (Žižić et al., 1997; Kothari, 2004; Dytham, 2011; Abbott, 2017).

Za izračunavanje veličine uticaja korišćen je pokazatelj eta-kvadrat (dobija se kao količnik zbira kvadrata odstupanja različitih grupa i ukupnog zbira kvadrata) i Koenov kriterijum na osnovu

koga se veličina uticaja klasifikuje kao: mala – ako je vrednost veća od 0,01, srednja – ako je vrednost veća od 0,06 i velika – ako je 0,14 (Cohen, 1988).

3.6.2 Analiza glavnih komponenti

Tehnika analize glavnih komponenti ili PCA (*engl. Principal Component Analysis*) pripada porodici tehnika faktorske analize. PCA tehniku prvi je opisao Karl Person još 1901. godine a istu je koristio za rešavanje problema sa manje varijabli zbog vrlo složenog načina izračunavanja. Razvojem računarske tehnike, PCA počinje da se koristi i za veći broj promenljivih. Ova metoda se često primenjuje za vrednovanje skala, posebno u slučajevima kada je prisutan veliki broj pitanja, pa ih je potrebno razvrstati u srodne grupe. PCA predstavlja višeparametarsku metodu koja se bazira na ispitivanju korelacije između varijabli. Ova matematička metoda zapravo smanjuje broj promenljivih veličina i određuje nove faktorske koordinate. Pri sprovođenju ove tehnike prvobitne promenljive se transformišu u novi skup, ali uz korišćenje svih varijansi promenljivih prethodnog skupa, pri čemu se izdvajaju upravo oni prediktori koji najbolje opisuju ulazne podatke. Na taj način PCA smanjuje dimenzionalnost osnovnog skupa (Abdi i Williams, 2010; Mooi i Sarstedt, 2011).

Prilikom upotrebe PCA tehnike izdvajaju se tri koraka. U prvom koraku definiše se prikladnost podataka za PCA analizu. Da li je određeni skup podataka pogodan za PCA, određuje se uz pomoć Bartletovog testa sferičnosti i Kajzer/Mejer/Olkinov pokazatelja (KMO). Potrebno je da vrednost Bartletovog testa sferičnosti bude značajna ($p < 0,05$), kako bi primena ove analize bila opravdana. Drugi pokazatelj je KMO, koji može imati vrednost u opsegu od 0 do 1, a najmanja prihvatljiva vrednost ovog pokazatelja jeste 0,60.

Sledeći korak je izdvajanje najmanjeg broja faktora koje u nastavku treba razmatrati. Prilikom određivanja ovog broja mogu se koristiti razne tehnike: Kajzerov kriterijum ili kriterijum karakterističnih vrednosti, dijagram prevoja i paralelna analiza i sl. Kajzerov kriterijum ili kriterijum karakterističnih vrednosti predstavlja ukupnu varijansu svih razmatranih promenljivih koje su opisane ovim faktorom, a zadržavaju se oni faktori kod kojih je karakteristična vrednost veća od 1. Dijagram prevoja je zapravo grafički predstavljena karakteristična vrednost – ajgenvrednosti (*engl. aignevalues*). Izdvajanje najmanjeg broja faktora rešava se određivanjem tačke na dijagramu u kojoj se menja oblik krive, tzv. tačka prevoja (Shirali et al., 2016).

Poslednji korak je rotacija faktora i tumačenje izdvojenih faktora. Rotacija faktora predstavlja postupak u kome se povećava mogućnost interpretacije nekog rešenja bez urušavanja međusobnih matematičkih zavisnosti. Rotacija može biti ortogonalna i kosa, ali u praksi obe vrste daju slične rezultate. Nakon rotacije se očekuje dobijanje takvih rezultata gde svaka promenljiva upečatljivo korelira sa jednom komponentom (Azadeha et al., 2007).

3.6.3 Entropijska metoda

Vrlo često primenjivana metoda za određivanje značaja kriterijuma jeste entropijska metoda. Ona spada u grupu objektivnih metoda, koje su razvijene kako bi se smanjio uticaj subjektivne procene eksperata prilikom odlučivanja.

Primenom entropijske metode težine se dobijaju na osnovu merenja međusobnog kontrasta kriterijuma, za svaki kriterijum ponaosob, kao i istovremeno za sve kriterijume. Karakteristično za ovu metodu jeste da, ako se za neki kriterijum performanse značajno razlikuju, onda taj kriterijum ima veći značaj prilikom odlučivanja. Kriterijumi kod kojih su razlike više izražene značajnije utiču na

konačno rangiranje alternative. Kriterijumi kod kojih ove razlike nisu izražene, tj. imaju slične performanse, manje utiču na rangirane alternative (Srđević et al., 2016).

3.7 PROMETHEE metod

Istraživač J. Brans je 1982. godine naučnoj zajednici predstavio metodu PROMETHEE I (*engl. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), (parcijalno rangiranje) i PROMETHEE II (kompletno rangiranje). Kasnije su razvijene i PROMETHEE V i VI, kao i vizuelna interaktivna modulacija GAIA koja služi za grafičku interpretaciju dobijenih rezultata. Ova metoda se odlikuje vrlo jednostavnom strukturom i široko se primenjuje u praksi, najčešće u ekonomiji, medicini, turizmu i sl. (Brans i Vincke, 1985).

PROMETHEE I metoda podrazumeva poređenje svakog para alternativa na osnovu svakog od kriterijuma. Svaka alternativa zahteva izračunavanje vrednosti u odnosu na preferencije, tj. izračunava se neto tok preferencija koji predstavlja sintezu svih pokazatelja i na osnovu koga se rangiraju alternative. Međutim, prethodno je potrebno definisati odgovarajuće parametre za svaku od alternativa. Parametri su: smer preferencije, težinski koeficijenti, prag preferencije, prag indiferencije, funkcija preferencije.

Smer preferencije definiše da li određeni kriterijum treba maksimizirati ili minimizirati.

Težinski koeficijent određuje značaj prilikom određivanja toka preferencije. Što je njegova vrednost veća, to je dati kriterijum značajniji. Prethodno je potrebno izvršiti normalizaciju težinskih koeficijenata.

Prag preferencije predstavlja najmanju razliku između dve alternative, dok prag indiferencije predstavlja najveću razliku alternativa.

Funkcija preferencije prevodi razliku između dveju alternativa u nivo preferencije. Postoji više različitih funkcija preferencije koje se koriste u okviru ove metode: Usual funkcija preferencije, U-shape funkcija preferencije, V-shape funkcija preferencije, Level funkcija preferencije, Linear funkcija preferencije i Gaussian funkcija preferencije.

Nakon definisanja parametara PROMETHEE metodologija sprovodi se na sledeći način:

- računaju se odstupanja na osnovu poređenja parova alternativa,
- primenjuje se određena funkcija preferencije,
- na osnovu toga izračunava se opšti indeks preferencije,
- dobijaju se pozitivni i negativni neto tokovi preferencija,
- na osnovu izračunatih pozitivnih i negativnih tokova preferencije izračunava se neto tok preferencije, na osnovu koga se vrši dalje rangiranje alternativa.

Na osnovu dobijene vrednosti neto toka preferencije za pojedinačne alternative, vrši se rangiranje u smeru od najbolje rangirane ka najlošije rangiranoj alternativi. Neto tok preferencije može imati vrednost od 1 do -1, gde se podrazumeva da veća vrednost definiše bolje rangiranu alternativu (Brans i Mareschal, 2005; Prvulović et al., 2008; Obradović et al., 2012).

3.8 Osnovni pojmovi o veštačkim neuronskim mrežama

Tehnike veštačke inteligencije su svakako u ekspanziji, pa danas gotovo da nije moguće naći oblast u kojoj se one ne koriste. Posebno su se izdvojile veštačke neuronske mreže kao tehnike koje uspešno rešavaju probleme koji nisu jasno definisani. Predikcija povređivanja radnika jeste upravo jedan od takvih problema jer podaci sa kojima se raspolaže često nisu precizno definisani ili su nepotpuni (Hedlund, 2013). Problem povređivanja radnika je dodatno opterećen subjektivnim mišljenjem povređenog, očevidaca, lekara, lica za bezbednost i zdravlje na radu, poslodavaca i drugih.

Neuronske mreže se često koriste kao zamena za statističke metode obrade podataka, prvenstveno jer ne zahtevaju obimne proračune i velike baze podataka (Ćirić, 2015). Najčešće se koriste za rešavanje i brzu obradu problema koji imaju neizvestan rezultat i kada postoji veliki broj promenljivih veličina koje utiču na krajnji ishod. Uspešno rešavaju probleme predikcije, klasifikacije, prepoznavanja, aproksimacije, optimizacije itd.

Veštačke neuronske mreže se u praksi nazivaju *neuronske mreže* ili samo ANN, skraćeno od engl. *Artificial Neural Network*.

Gurney je definisao neuronske mreže na sledeći način: „*Neuronska mreža je međusobno povezan skup neurona (elemenata za obradu) ili čvorova, čiji se način rada bazira na funkcionisanju biološkog neurona. Sposobnost obrade podataka neuronskih mreža zasniva se na težini veza između čvorova, a težine se dobijaju korišćenjem skupova podataka u procesu učenja*“ (Gurney, 2001).

Veštačka neuronska mreža predstavlja sistem povezanih neurona koji međusobno komuniciraju preko svojih veza. Neuronu su vrlo jednostavni procesirajući elementi i njihova uloga je da obrade signal koji dobijaju od okoline ili drugih neurona. Signali koje razmenjuju neuroni prostiru se duž veza koje imaju svoje numeričke težine (težinske koeficijente). Numeričke težine se menjaju u toku procesa učenja i, na osnovu njih, mreža gradi svoju sposobnost da samostalno uči i generalizuje prirodu nekog fenomena (Vuković i Miljković, 2014).

Sličnost između funkcionisanja ljudskog mozga i neuronskih mreža je u tome što se ANN ne programiraju namenski da uče, već one, kao i ljudski mozak, to rade samostalno. Neuronske mreže su zapravo softverske simulacije, napravljene programiranjem običnih računara, ali na takav način da se one ponašaju kao milijardu ćelija mozga koje rade paralelno.

„*Drugim rečima, veštačka neuronska mreža se razlikuje od ljudskog mozga na isti način na koji se računarski model vremenskih prilika razlikuje od pravih oblaka, pahuljica ili svetlosnih zraka*“ (Gavran, 2016). Osnovna sličnost neuronskih mreža i ljudskog mozga ogleda se kroz samostalan proces učenja koji se zasniva na procesiranju težina u veštačkom neuronu. Veštačke neuronske mreže imaju mogućnost samostalnog učenja, ali i prilagođavanja prirodi problema koji rešavaju, na osnovu čega grade model bez egzaktnog matematičkog modeliranja. Veštačke neuronske mreže se koriste u svim sferama nauke i u inženjerskoj praksi upravo zbog svoje sposobnosti samostalnog učenja i generalizacije problema. Posebno su našle primenu u rešavanju problema predikcije, klasifikacije i aproksimacije.

Mozak uči na osnovu iskustva, ali prema veoma komplikovanom obrascu čije funkcionisanje omogućava preko 100 biliona neurona, od kojih je svaki povezan sa oko 200 000 drugih (Anderson i McNelli, 1992). Ovako veliki broj nervnih ćelija koje vrlo brzo procesiraju impulse osnov su razvoja

ljudske inteligencije. Veštačke neuronske mreže na veoma primitivan način pokušavaju da oponašaju ovaj sistem, ali ne da bi stvorile „novi“ ljudski mozak, već kako bi rešavale probleme koje nije moguće rešiti tradicionalnim kompjuterskim metodama ili matematičkim alatima (Hu i Hwang, 2002; Miljković i Aleksendrić, 2009).

3.9 Istorijski razvoj veštačkih neuronskih mreža

Istorijski razvoj neuronskih mreža većina autora vezuje za 1943. godinu, prvenstveno jer je te godine objavljen prvi rad („*A Logical Calculus of the Ideas imminent in nervous activity*“) iz oblasti neuro-računarstva. Ovaj često citirani rad opisuje jednostavan veštački neuron koji može imati stanja *uključen* ili *isključen* (McCulloch i Pitts, 1943). Šest godina kasnije, „*The Organization of behavior*“, knjiga koju je napisao Hebb prezentuje ne tako novu ideju da je osnovna osobina neurona zapravo uobičajeno psihološki uslovljeno ponašanje koje se može prepoznati kod životinja. Hebb je ustanovio da se u vezama između bioloških neurona (sinapsama) čuvaju informacije i time postavio osnov za razvoj metoda učenja veštačkih neuronskih mreža (Hebb, 1949). U ovom periodu nastavlja se razvoj modela i teorija o ANN, a poseban doprinos daje Rosenblatt svojim modelom PERCEPTRON (najjednostavnija neuronska mreža koja se sastoji od jednog neurona), kao i Widrow i Hoff razvojem mreže ADALINE (ADaptivni LINEarni Element). Šezdesetih godina Marvin Minsky i Seymour Papert u knjizi „*Perceptrons*“ prezentuju matematički dokaz da jednoslojna neuronska mreža *Perceptron* ne može rešiti problem isključive disjunkcije (*engl. XOR*). Njihov dokaz je doprineo padu intresovanja za istraživanja u oblasti neuronskih mreža i usmeravanje pažnje na druge oblasti veštačke inteligencije.

Ponovno intresovanje za neuronske mreže javlja se u periodu od 1967. do 1982. godine zahvaljujući istraživačima Teuvo Kohonen, Kunihiko Fukushima i Stephen Grossberg. U ovom periodu razvijen je i algoritam obučavanja sa propagacijom greške unazad (*engl. backpropagation algorithm*). Povratak intresovanja za neuronske mreže vezan je i za finansiranje od strane američke vojne agencije DARPA (Agencija za odbrambene istraživačke projekte). Sredinom 80-ih godina prošlog veka fizičar John Hopfield daje značajan doprinos promociji neuronskih mreža proučavajući mogućnost optimizacije uz pomoć ANN. Početkom 90-ih godina prošlog veka neuronske mreže i neuro računarstvo uvodi se kao kurs na više fakulteta u SAD, a danas se neuronske mreže proučavaju na gotovo svim univerzitetima. Veštačke neuronske mreže nalaze veoma široku praktičnu primenu u rešavanju problema u ekonomiji, saobraćaju, turizmu, rudarstvu, farmaciji, robotici itd. Gotovo da ne postoji oblast u kojoj se ova tehnika ne može uspešno primeniti (Latinović, 2006; Petrović, 2011; Vuković i Miljković, 2014; Tanikić, 2016).

3.10 Biološke neuronske mreže

Veštački neuron je razvijen na bazi biološkog neurona, a nervna ćelija ili neuron predstavlja osnovnu jedinicu svakog nervnog sistema. Pojedinačni neuron ima jednostavnu strukturu koja sadrži sledeće elemente:

- Telo neurona (soma) u kome se nalazi jedro, predstavlja najveći deo neurona i zajedno sa dendritima čini ulaznu površinu neurona,
- Dendrit (gr. *Dendron*, u prevodu drvo) čine kratki nastavci neurona koji služe za prijem nadražaja,
- Akson (gr. *axon*. u prevodu osovina) predstavlja duži nastavak neurona, tj. izlazni deo,
- Sinapsa je deo aksona koji prenosi izlazni impuls dendritima drugih neurona.

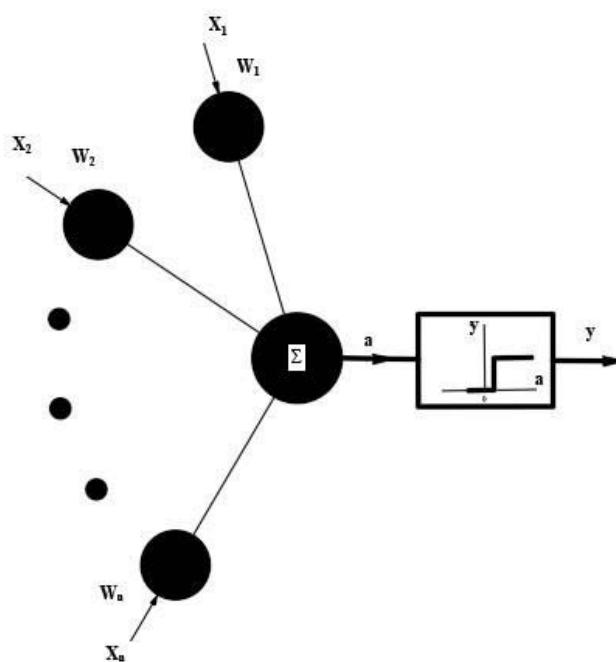
Kako bi neki sistem koji se sastoji od neurona, npr. ljudski mozak, omogućio čoveku da jede, diše, govori, mora da sadrži približno 100 milijardi neurona. Neuroni u ljudskom telu grupisani su u nekoliko desetina grupa, a svaka od grupa je „zadužena“ za određenu funkciju u ljudskom organizmu. Svi ovi neuroni povezani su na vrlo kompleksan način i međusobno prenose nadražaje koji omogućavaju obradu ili skladištenje određenih informacija. Prenosenje nadražaja između neurona odvija se uz pomoć vrlo složenih elektro-hemijskih reakcija. Put kretanja nadražaja je preko dendrita ka telu neurona, gde se u telu neurona akumulira određena količina nadražaja (potencijala). Kada ona pređe prag tolerancije, neuron tu količinu nadražaja preko aksona i sinapsi nadraženog neurona prosleđuje drugim neuronima sa kojima je povezan. U slučaju da potencijal nije dovoljan, neuron je nepobuđen i ne postoji nikakva izlazna reakcija. Biološki neuroni mogu međusobno da formiraju i nove veze i da migriraju, što im omogućava da optimalno propagiraju informacije (Freeman i Skapura, 1991).

3.11 Veštačke neuronske mreže

U težnji čoveka da kreira veštačku inteligenciju koja bi, u krajnjem slučaju, na uspešan način zamenila ljudski um, razvijene su i veštačke neuronske mreže. Ovaj model još uvek ne može da odgovori svim zahtevima sa kojima se suočava ljudski mozak, ali se neuronske mreže sve šire primenjuju, usavršavaju i sve uspešnije nose sa kompleksnim problemima.

3.11.1 Veštački neuron, princip rada i aktivaciona funkcija

Veštački neuron predstavlja osnovni procesirajući element veštačke neuronske mreže i funkcioniše po sličnom principu kao i biološki. Osnove veštačkog neurona pod nazivom TLU (*eng. Threshold Logic Unit*) predstavili su McCulloch and Pitts i njegov izgled prikazan je na Slici 3–2, (Gurney, 2001).



Slika 3–2 Izgled veštačkog neurona

Sličnost prirodnog i veštačkog neurona ogleda se u sledećem: ulazni signal (ulazni podaci) predstavljeni su vektorima - $x_{1...n}$, što, po analogiji, sa biološkim neuronom predstavlja dendrite. Svaki od njih ima određene težine - $w_{1...n}$ (težinske vektore). Težinski vektori predstavljaju najznačajniju komponentu za učenje neuronskih mreža jer mogu da se menjaju i prilagođavaju. Svaki neuron poseduje određeni potencijal koji predstavlja sumu „otežanih“ ulaznih vektora. Ako ukupan potencijal prelazi aktivacioni prag (θ), neuron se pobuđuje i šalje signal ostalim neuronima. Aktivaciona funkcija je obeležena sa f i ona, prema analogiji, sa biološkim neuronom predstavlja telo neurona. Zapravo, od aktivacione funkcije zavisi izlazna vrednost neurona. Ako zamislimo svaki čvor u veštačkoj neuronskoj mreži kao funkciju f koja može pretvoriti svoj ulaz (x) u precizno definisan izlaz (y), on se može poistovetiti sa aksonom biološkog neurona.

Može se, dakle, reći da su veštačke neuronske mreže zapravo mreže aktivacionih funkcija. Različiti modeli veštačkih neuronskih mreža uglavnom se razlikuju u korišćenim aktivacionim funkcijama (Rojas, 1996).

Ako bismo gore opisan proces predstavili matematički, ulazni signali bili bi predstavljeni sa $x_{1...n}$, dok su težine predstavljene sa $w_{1...n}$. Vrednost aktivacije (a) jednaka je:

$$a = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i. \quad (4)$$

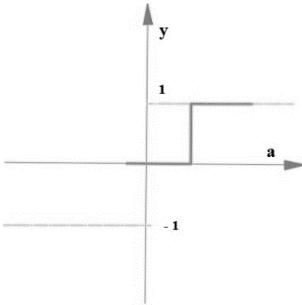
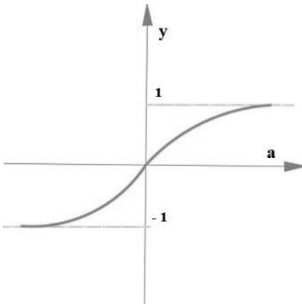
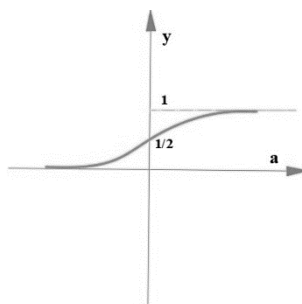
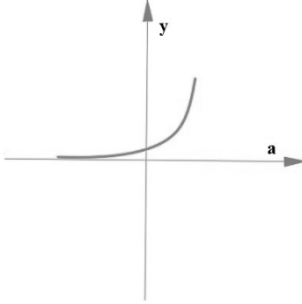
Izlaz iz neurona (y) može biti nula ili jedinica, pa je na osnovu toga:

$$y = \begin{cases} 1, & a \geq \theta \\ 0, & a < \theta \end{cases}. \quad (5)$$

Izlazna vrednost (y) može biti binarna (0 ili 1) i tada se aktivaciona funkcija (f) naziva još i odskočna (jedinčna) funkcija. Izlazna vrednost može biti definisna i u intervalu od -1 do 1, u zavisnosti od namene neuronske mreže i izabrane aktivacione funkcije.

Aktivaciona ili prenosna funkcija predstavlja matematičku funkciju na osnovu koje neuron postupa u odnosu na prispeli signal, dalje ga obrađuje i šalje sledećem neuronu kao izlaznu veličinu. Aktivacione funkcije služe da ulaznu vrednost transformišu tako da se ona nalazi u nekom željenom intervalu koji je pogodan za problem koji treba rešiti. Striktna pravila prilikom odabira aktivacione funkcije ne postoje, ali određena iskustvena preporuka postoji, pa se tako za probleme predikcije najčešće koristi tangens-hiperbolična funkcija, dok se za klasifikaciju podataka upotrebljava Gausova funkcija, a Sigmoidna funkcija daje dobre rezultate prilikom predikcije vremenskih nizova. Najzastupljenije aktivacione funkcije, njihov grafički prikaz i primena date su u Tabeli 3–14 (Anderson i McNelli, 1992; Fausett, 1994).

Tabela 3–11 Najčešće korišćene aktivacione funkcije

Naziv aktivacione funkcije	Izgled grafika funkcije	Primena
Binarna aktivaciona funkcija		Neuroni koji služe za klasifikaciju
Funkcija tangens-hiperbolična		Kod neuronskih mreža u procesima predviđanja
Sigmoidna aktivaciona funkcija		Neuronske mreže sa propagacijom unazad
Gausova aktivaciona funkcija		Klasifikacija ulaznih podataka u neku od prethodno definisanih klasa

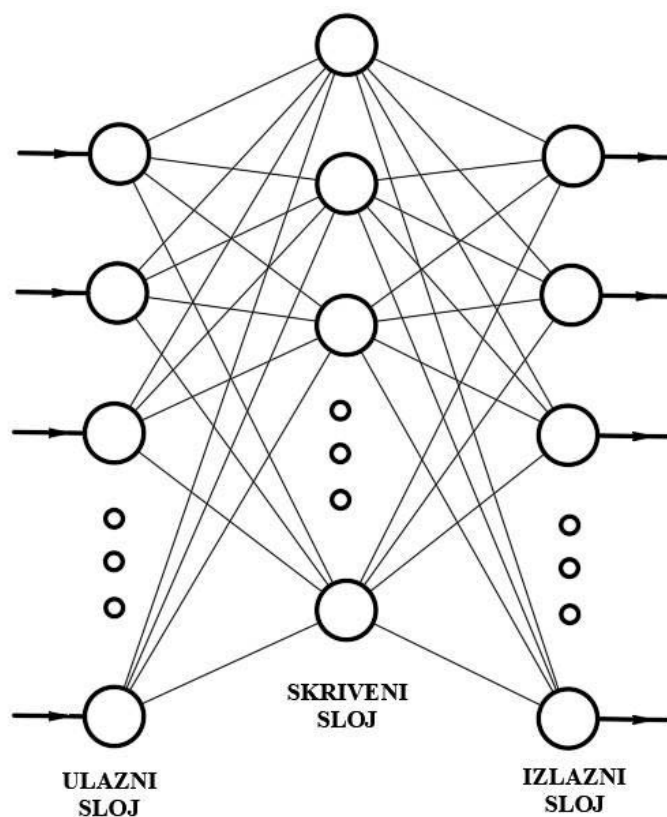
Jedinična odskočna funkcija ili binarna funkcija često se koristi prilikom rešavanja problema klasifikacije, pogotovu kod problema gde izlazna vrednost može da bude samo 0 ili 1. Prilikom primene ove funkcije neuron ima dva stanja: *pobuđeno* i *nepobuđeno*. Funkcija tangens-hiperbolična je diferencijabilna funkcija, koja za ulaz bilo koje vrednosti daje izlaz u opsegu od -1 do 1. Vrlo često se primenjuje prilikom rešavanja problema predikcije. Sigmoidna funkcija ili logistička funkcija takođe je diferencijabilna i ulaz bilo koje vrednosti transformiše u izlaz koji ima vrednost između 0 i 1. Gausova aktivaciona funkcija koristi se prilikom izrade neuronskih mreža koje treba da služe za klasifikaciju ulaznih podataka u unapred definisane klase.

3.11.2 Podela neuronskih mreža

Postoji više od pedeset različitih vrsta neuronskih mreža koje se danas koriste. U opštem slučaju neuronska mreža ima tri osnovne komponente: neuron, arhitekturu (topologiju) mreže i svoj algoritam učenja (Kecman, 2001).

Ostale komponente ANN jesu: veličina mreže (podrazumeva broj neurona i broj skrivenih slojeva neurona), funkcionalnost neurona (ulazni operator, funkcija prenosa, aktivaciona funkcija), obučavanje i realizacija. Složene neuronske mreže imaju veći broj skrivenih slojeva, rekurentne petlje i elemente za odgađanje vremena, koji su napravljeni da omoguće što bolju segregaciju važnih osobina (Rojas, 1996; Nu i Hwang, 2002).

Način na koji su neuroni raspoređeni i povezani određuje arhitekturu neuronske mreže. Veštačke neuronske mreže dele se na osnovu broja neuronskih slojeva na jednoslojne i višeslojne. Zajedničko im je da svaka ima prvi – ulazni i poslednji – izlazni sloj, dok se slojevi između ulaznog i izlaznog nazivaju skriveni (prikazano na Slici 3–3).



Slika 3–3 Arhitektura veštačke neuronske mreže

Veštačka neuronska mreža prikazana na Slici 3–3 sastoji se od tri sloja. Prvi sloj (koji se naziva i ulazni) predstavlja jedini sloj koji prima signale iz okoline. Ovaj sloj prenosi dalje signale sledećem sloju, tzv. skrivenom sloju u kome se obrađuju podaci. Podaci se dalje šalju izlaznom sloju, gde se dobijaju krajnji rezultati obrade informacija.

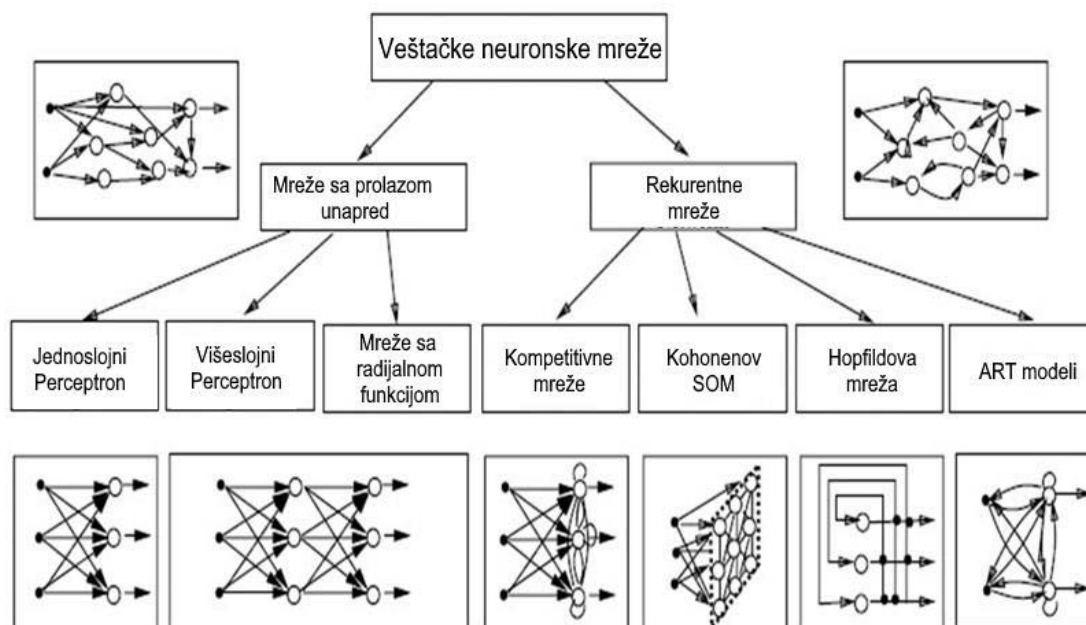
Pored podele neuronskih mreža prema broju skrivenih slojeva (jednoslojne i višeslojne), mreže se dele i prema:

- vrsti veza između neurona,
- načinu obučavanja neuronskih mreža,
- smeru prostiranja informacija,
- vrsti podataka koje obrađuju: analogne i diskretne (Ilić, 1999).

Veza između neurona u mreži može biti: slojevita, sa potpuno povezanim neuronima i celularna. Izbor načina povezivanja neurona u mreži zavisi od vrste problema koji mreža treba da reši (Cloete i Zurada, 1999).

Kod slojevite arhitekture neuroni su u mreži tako orijentisani da formiraju slojeve. Težinski signali izlaza svih neurona iz prethodnog sloja dovode se na ulaz neurona sledećeg sloja i tako redom za sve slojeve neurona u mreži. Samo neuroni ulaznog sloja imaju po jedan ulaz i samo neuroni završnog izlaznog sloja imaju jedan izlaz, koji je i izlaz same mreže. Potpuno povezane mreže su one kod kojih izlaz iz jednog neurona ide ka ulazu svih ostalih neurona u mreži. Celularne mreže su one kod kojih su međusobno vezani isključivo susedni neuroni. Zanemarujući lokalnu povezanost, signali se kreću van neurona u susedstvu zbog nedirektnog kretanja informacija (Ilić, 1999).

Smer prostiranja informacija mreže deli na: nerekurantne ili nepovratne (*engl. feedforward*), kod kojih je prostiranje signala jednosmerno, od ulaza ka izlazu, i rekurentne ili povratne (*engl. feedback*), kod kojih se izlaz iz neurona vraća u prethodne slojeve i/ili u isti sloj. Ove neuronske mreže su dobri alati za modelovanje vremenskih varijabli sistema (finansijska tržišta, fizički dinamički sistemi, prepoznavanje govora i sl.). Feedback veštačke neuronske mreže imaju daleko bolje sposobnosti obrade podataka nego feedforward mreže (Cloete i Zurada, 1999; Ilić, 1999). Na Slici 3–4 prikazana je podela mreža prema smeru prostiranja informacija i arhitekturi mreže.



Slika 3–4 Podela mreža prema smeru prostiranja informacija i arhitekturi mreže (Jain et al., 1996)

Na Slici 3–4 uočava se da su nepovratne mreže u stvari mreže slojevite strukture sa jednim ili više slojeva neurona. Generalno, ovaj tip mreže se najviše koristi za obradu statističkih podataka,

pri čemu za date ulaze one generišu određenu vrednost izlaza. U povratne mreže ubrajaju se povezane mreže i celularne mreže različite arhitekture (Jain et al., 1996).

Različite arhitekture mreže podrazumevaju i različite načine učenja mreža. Prema načinu učenja (obučavanja) mreže mogu biti sa nenadgledanim, sa nadgledanim i sa delimično nadgledanim obučavanjem.

3.11.3 Načini učenja (obučavanja) neuronskih mreža

Poznata su tri načina na osnovu kojih mreže uče, odnosno na osnovu kojih se mreže obučavaju. Svaki od ovih načina obučavanja ima svoje specifičnosti, a koji će se od njih primeniti, zavisi od problema koji mreža treba da reši. Načini obučavanja mreže su:

- nadgledano učenje, supervizorsko (*engl. supervised training*) ili učenje sa nadzorom,
- nenadgledano (*engl. unsupervised training*), bez nadgledanja ili kompetitivno,
- hibridno (Jain et al., 1996; Prieto et al., 2016).

Supervizorsko ili nadgledano učenje podrazumeva učenje uz nadgledanje. Mreži se za date ulaze prezentuju željeni izazi. Zatim se stvarni izlazi iz mreže poredi sa onim koji su joj prethodno prezentovani kao željeni. Mera odstupanja stvarnih od željenih vrednosti javlja se kao greška i na osnovu nje mreža sama menja svoje težinske koeficijente, kako bi greška ili odstupanje bilo što manje.

Nenadgledano učenje podrazumeva da mreža ne zna koji su željeni izlazi, pa ona sama na osnovu zadatih ulaza podešava svoje težinske koeficijente u cilju dobijanja optimalnog izlaznog rešenja. Mreža samostalno uočava korelacije između ulaznih podataka.

Hibridan način učenja ili obučavanja mreža predstavlja simbiozu prethodna dva načina obučavanja mreže. Deo težina koje figurišu između neurona u mreži dobijaju se nadgledanim, a deo težina nenadgledanim načinom učenja. Mreža uči samostalno, ali se u određenim periodima proverava.

Neuronske mreže koje omogućavaju rešavanje problema predviđanja (*engl. prediction*) određenih izlaza, uče uz superviziju ili, drugačije rečeno, nadgledano se obučavaju. Prilikom ove vrste obučavanja razlikuje se nekoliko koraka u radu. Mreža prvo mora da prođe kroz trening fazu, gde sa određenim brojem izlaza i ulaza podešava svoje težinske koeficijente. Uobičajno je da se za trening fazu ne koriste svi dostupni podaci, već se koristi najčešće oko dve trećine podataka. Druga faza je faza testiranja kada se mreža na preostaloj jednoj trećini podataka testira koristeći već utvrđene težinske koeficijente dobijene u prethodnoj fazi. Treća faza je operativna faza, kada za poznate ulaze mreža računa svoje izlaze (Freeman i Skapura, 1991).

3.11.4 Arhitektura mreže

Izbor parametara koji čine arhitekturu neuronske mreže u mnogome zavisi od prirode problema koji je potrebno modelirati. Svaki istraživač, na osnovu svojih znanja i saznanja, određuje osnovne parametre arhitekture mreže koju projektuje. U literaturi se mogu naći preporuke u vezi sa brojem skrivenih slojeva mreže i brojem neurona u njima, a smatra se da mreže sa tri skrivena sloja neurona mogu rešavati vrlo kompleksne probleme (Tanikić, 2016). Parametri koji određuju arhitekturu mreže mogu se sistematizovati na sledeći način:

- broj ulaznih neurona,
- broj skrivenih slojeva neurona u skrivenim slojevima,
- broj izlaznih neurona,
- veze između neurona u mreži.

Broj ulaznih neurona jasno je definisan na samom početku projektovanja neuronske mreže i odgovara broju promenljivih veličina koje objašnjavaju dati problem. Neki autori sugerisu da je potreban što manji broj ulaznih veličina, ali je vrlo bitno da usvojene ulazne veličine opisuju jedinstvene karakteristike.

Broj skrivenih slojeva i broj neurona u skrivenim slojevima je najkompleksnije pitanje koje treba rešiti, a većina istraživača se odlučuje za jedan ili dva skrivena sloja neurona prilikom projektovanja mreže. Broj skrivenih slojeva neurona i broj neurona u svakom sloju zavisi od složenosti problema koji je potrebno rešiti. Ne može se jasno utvrditi optimalan broj skrivenih neurona, većina autora je dala preporuke na osnovu iskustvenih podataka. Po pravilu, manje složeni problemi zahtevaju i manji broj skrivenih slojeva i neurona, dok složeniji problemi zahtevaju više slojeva, najčešće ne više od tri. Celokupan proces kojim mreža rešava neki problem odvija se upravo u skrivenim slojevima neurona, a značajnu ulogu igraju i veze između neurona.

Broj izlaznih neurona je takođe usko povezan sa problemom koji se modelira, pa ga je sa tog aspekta relativno lako rešiti, on odgovara broju izlaznih promenljivih.

3.11.5 Modeli neuronskih mreža

Veštačke neuronske mreže su, u stvari, matematičko-softverski alati namenjeni za modeliranje problema koje nije moguće rešiti klasičnim matematičkim metodama. Vrlo često se, pogotovo u inženjerskoj praksi, neuronske mreže nazivaju i crnim kutijama (*engl. black-box*). Razlog tome je što se uz njihovu pomoć mogu vrlo uspešno modelirati i rešavati problemi, ali one ne pružaju informaciju na koji način je sam problem rešen, tj. modeliran (Sjoberg et al., 1995; Cloete i Zurada, 1999).

Moguće je izdvojiti četiri faze u istorijskom razvoju modela neuronskih mreža. Prva faza podrazumeva modele pojedinačnih neurona, kao što je *perceptron*, i bila je aktuelna 40-ih godina prošlog veka. Nakon ovih modela, u periodu 60-ih godina prošlog veka razvijaju se modeli višeslojnih neuronskih mreža i rekurentne ANN. Ponovno intresovanje za ANN 80-ih godina prošlog veka karakterišu samoorganizujuće mape (Moura et al., 2017). Nakon 2000. godine počinje četvrta faza u razvoju mreža, a to su tzv. duboke neuronske mreže (*engl. Deep Neural Networks*) za koje se vezuje pojam *deep learning* kao novi vid mašinskog učenja. Danas se neuronskim mrežama modeliraju nepoznanice u gotovo svim oblastima, na primer u u finansijama, administraciji, obradi zvuka i signala, meteorologiji, medicini, geologiji, robotici, na internetu, u dijagnostici, genetici itd. (Prieto et al., 2016).

Kako Vuković i Miljković navode, za modeliranje problema neuronskom mrežom potrebno je realizovati:

- definisanje ulaznih i izlaznih veličina,
- prethodnu obradu podataka,
- izbor veštačke neuronske mreže, arhitekture i tipa,

- izbor aktivacionih funkcija,
- izbor tipa mašinskog učenja (nadgledano ili nenadgledano),
- izbor odgovarajućeg algoritma učenja,
- optimizaciju parametara veštačke neuronske mreže,
- validaciju kvaliteta obučenosti mreža,
- verifikaciju (Vuković i Miljković, 2014).

Prve četiri tačke predstavljaju ključne elemente za kreiranje kvalitetnog modela uz pomoć neuronskih mreža. Pretprocesiranje podataka zahteva i do 60% ukupno potrebnog vremena za izradu modela (Houari et al., 2016). Često se dešava da su neadekvatno definisani i klasifikovani ulazni podaci razlog loših rezultata dobijenih prilikom predikcije i klasifikacije. Poseban problem pojavljuje se ako su podaci različite strukture, npr. numerički i lingvistički (Sarkar i Maiti, 2020). Lingvistički podaci su prisutni u skoro svim izveštajima o povredama na radu, pa Vallmuur naglašava da je za preciznost predviđanja i kvalitetnu obradu podataka veoma bitna i kvalitetna generalizacija narativnih lingvističkih podataka (Vallmuur, 2015). Isti autor je u svom literarnom pregledu uočio da je većina autora studija koje su metodama mašinskog učenja obrađivale podatke o povredama na radu, koristila skromne baze podataka specifične za određenu oblast. Ovo je najverovatnije posledica vrlo komplikovane pripreme podataka, pogotovo ako su velike baze u pitanju. Kao ograničenja ovih tehnika (mašinskog učenja) izdvajaju se još i problemi kvalitetne generalizacije rezultata, poteškoće kod kreiranja složenih modela, potreba za ekspertskom ocenom u svakoj fazi modelovanja itd.

3.12 Teorija fazi skupova i fazi logike

Problemi koji u sebi sadrže neodređenosti ili nisu jasno definisani, danas se sve češće predstavljaju i rešavaju uz pomoć fazi logike (*engl. fuzzy logic*, što znači: *rasplinuta, nejasna, neprecizna, nedefinisana itd.*). Fazi logika je ponikla iz klasične logike, ali u fazi logici ne postoje jasno definisane granice, već su njena rešenja zasnovana na stepenu pripadnosti nekom skupu.

Osnove fazi razmišljanja prvi je postavio matematičar Lofti Zadeh, koji je svoje tvrdnje zasnovao na ideji da se uz pomoć matematike mogu povezati ljudski jezik i inteligencija. U svojim prvim radovima iz 60-ih godina prošlog veka objasnio je osnovu fazi razmišljanja: „*Jasno je da 'skup svih stvarnih brojeva koji su mnogo veći od 1' ili 'skup lepih žena' ili 'skup visokih ljudi' ne predstavljaju skupove u uobičajenom matematičkom smislu ovih izraza, ali su vrlo jasni u svakodnevnoj komunikaciji*“, zatim je dao osnovu za matematičku interpretaciju lingvističkih neodređenosti (Zadeh, 1965).

Klasična logika barata informacijama nalik „crno i belo“, dok se za fazi skupove može reći da barataju nijansama sive boje. Nekada su upravo ovakve informacije i potrebne da bismo imali adekvatan pristup problemu, koji je istovremeno i blizak čovekovom razmišljanju. Takođe, Zadeh je došao do sledećeg zaključka: „*Što detaljnije posmatramo neki problem, njegovo rešenje postaje sve više fazi*“, koji je usvojen kao princip nekompatibilnosti. U sagledavanju nekog velikog sistema, koji se menja u vremenu, precizno definisanje svih problema nije moguće. Međutim, dovoljno jasnu sliku o stanju sistema i njegovih problema dobijamo iako problem nije u potpunosti precizno definisan, ali je to koliko je definisan samo po sebi dovoljno da se razume stanje sistema. Još jedna prednost definisanja problema fazi sistemom jeste što je ono skoro uvek brže i jeftinije (Zadeh, 1965; Vujović i Milijanović, 2013; Tanikić, 2016).

Prednosti fazi logike:

- lako ju je razumeti jer koristi ljudski jezik,
- fleksibilna je i toleriše neprecizne i nepotpune podatke,
- fazi logika ima mogućnost modeliranja nelinearnih funkcija,
- ne isključuje mogućnost korišćenja drugih nekonvencijalnih ili konvencijalnih tehnika (Tanikić, 2016).

3.12.1 Teorija fazi skupova

Diskretni skupovi su skupovi kod kojih svi elementi skupa imaju ista svojstva, tj. element može da pripada ili ne pripada nekom skupu. Fazi skupovi se definišu kao prošireni skupovi jer njihovi elementi mogu potpuno ili u određenoj meri da pripadaju skupu.

Fazi skupovi se primenjuju kod rešavanja složenih problema, koje nije jednostavno opisati klasičnim matematičkim zavisnostima, pogotovo kada je cilj nalaženje približno zadovoljavajućeg rešenja (Klir i Yuan, 1995).

Zadeh je fazi skup opisao kao skup objekata sa neprekidnim stepenom pripadnosti (Zadeh, 1965).

Funkcija kojom se opisuje stepen pripadnosti nekog elementa naziva se funkcija pripadnosti i njena definicija glasi:

Funkcija pripadnosti, u oznaci μ , jeste preslikavanje $\mu: X \rightarrow [0, 1]$, gde je X univerzalni skup.

Fazi skup se definiše upravo preko svoje funkcije pripadnosti, koja može biti broj iz intervala od 0 do 1, gde 0 i 1 predstavljaju granične vrednosti (Klir i Yuan, 1995), odakle sledi:

Fazi skup \tilde{A} je skup uređenih parova $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$, gde je x element univerzalnog skupa X , a $\mu_{\tilde{A}}(x)$, vrednost funkcije pripadnosti za element x .

Ovo se može predstaviti formulom:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)); x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]\}. \quad (6)$$

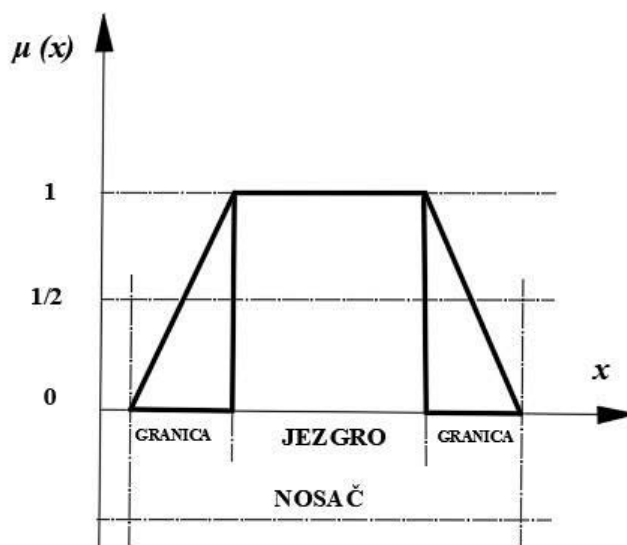
Diskretan (klasičan) skup je specijalan slučaj fazi skupa ukoliko je vrednost funkcije pripadnosti za svaki element jednaka jedinici. Kada fazi skup ima konačno mnogo elemenata, oni se mogu nabrojati i obično se elementi koji imaju nulti stepen pripadnosti (za koje je vrednost funkcije pripadnosti jednaka nuli) ne navode (Subašić, 1997).

Funkcije pripadnosti lingvističkih promenljivih obično definišemo intuitivno, na osnovu prethodnog znanja o svetu. Interval poverenja sadrži sve izlaze i ulaze koji se mogu uzeti u obzir prilikom definisanja nekog problema, tako da su elementi fazi skupova deo intervala poverenja. Subašić definiše funkciju pripadnosti „kao vezu između kvalifikacije prirodnog jezika koju koristi čovek i numeričkih podataka koje koristi računar, jer se vrednost svakog lingvističkog elementa iz intervala poverenja računaru predstavlja pomoću funkcija pripadnosti“ (Subašić, 1997). Proces

kreiranja funkcije pripadnosti zove se fazifikacija. Fazifikacija označava i proces pretvaranja diskretne u fazi promenljivu.

Postoje dva načina da se predstavi funkcija pripadnosti, tj. postoje dva osnovna oblika funkcije fazi pripadnosti: diskretni i kontinualni. Diskretni oblik podrazumeva da se svakom nosaču fazi broja pridružuje tačno jedna vrednost iz intervala od 0 do 1. Kontinualna funkcija je definisana kao interval poverenja pomoću definisanih parametara (Subašić, 1997; Petrović, 2014).

Osnovni elementi fazi skupa prikazani su na Slici 3–6.



Slika 3–6 Osnovni elementi fazi skupa

Na Slici 3–6 vidi se da je oblik karakteristične funkcije definisan trima svojstvima: jezgrom, nosačem i granicama. Jezgro predstavlja elemente koji u potpunosti pripadaju skupu, tj. imaju vrednost 1. Nosači su elementi koji imaju delimičnu pripadnost skupu i nisu 0, dok granice podrazumevaju one elemente koji imaju parcijalnu pripadnost skupu ali ne i potpunu, tj. deo su nosača ali nisu deo jezgra (Tanikić, 2016).

Za sam izgled fazi skupa vezuju se još dva važna termina. To su tačka prevoja (*engl. crossover point*) i visina (*engl. height*). Tačka prevoja funkcije pripadnosti podrazumeva tačku/element za koju funkcija pripadnosti uzima vrednost 0,5. Bitno je napomenuti da svaki istraživač, u zavisnosti od problema koji rešava, može definisati vrednost za svoju tačku prevoja. Visina fazi skupa je, u stvari, maksimalna vrednost karakteristične funkcije fazi skupa (Klir i Yuan, 1995).

Najčešće korišćene fazi funkcije pripadnosti, kao i njihove matematičke formulacije, prikazane su u Tabeli 3–12.

Tabela 3–12 Izgled fazi funkcija pripadnosti i njihovih matematičkih formulacija

Naziv funkcije pripadnosti	Izgled grafika funkcije	Matematička formulacija
Trougaona funkcija pripadnosti		$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, x \in [a, b] \\ \frac{c-x}{c-b}, x \in [b, c] \\ 0, x < a \vee x > b \end{cases}$
Trapezna funkcija pripadnosti		$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, x \in [a, b] \\ 1, x \in [b, c] \\ \frac{d-x}{d-c}, x \in [c, d] \\ 0, x < a \vee x > d \end{cases}$
Sigmoidna funkcija pripadnosti		$\mu(x) = \frac{1}{1 + \exp[-a(x - c)]}$
Gausova funkcija pripadnosti		$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-a}{\sigma})^2}$
Funkcija pripadnosti u obliku zvona		$\mu(x) = \frac{1}{1 + \frac{x-c}{2a} ^{2b}}$

Kao što se u Tabeli 3–12 vidi, fazi funkcije pripadnosti mogu imati različite oblike: trougaone, trapezne, eksponencijalne, Gausove krive itd. Parametar koji je zajednički jeste pripadnost, koja je kod svih funkcija u opsegu od 0 do 1. Fazi funkcije u obliku trougla i trapeza su zbog svoje jednostavnosti najčešće korišćene funkcije pripadnosti (Klir i Yuan, 1995; Badiru i Cheung, 2002).

Defazifikacija predstavlja proces u kome se fazi izlazni skup prevodi u izlaz smislen korisniku. Nekada je potrebno da ovaj izlaz bude jedna skalarna vrednost, a nekada je u pitanju lingvistički prikaz. Postoji više metoda koje omogućavaju defazifikaciju a najčešće korišćene su: metoda maksimuma, metoda težišta površine, metoda srednje vrednosti maksimuma, metoda polovljenja prostora, metoda minimalne vrednosti maksimuma i dr. Koja će se od ovih metoda primeniti, zavisi od prirode problema koji fazi model treba da reši (Ross, 2004). Fazi skupovi su značajni za rešavanje mnogih problema sa kojima se svakodnevno susrećemo, kao što su klasifikacija i analiza podataka, problemi pri donošenju odluka i približnih rešenja (Vučetić, 2011), otkaza rudarskih mašina (Petrović, 2014), obrade materijala rezanjem (Tanikić, 2016) itd.

4 STATISTIČKA ANALIZA PRIKUPLJENIH PODATAKA

U cilju boljeg razumevanja prikupljenih podataka, njihove strukture i otkrivanja pravilnosti u tendencijama posmatranih varijabli u daljem radu primenjena je prvo deskriptivna statistika. Izvršeno je izračunavanje osnovnih statističkih pokazatelja deskriptivne statistike: mere centralne tendencije (srednja vrednost, modus i medijana) i mere disperzije (standardna devijacija, varijansa), kao i prikaz frekvencija i procenata prikupljenih podataka. Kako bi se utvrdilo da li postoje razlike u odgovorima ispitanika u odnosu na njihove demografske karakteristike, sproveden je ANOVA test. Uz pomoć analize osnovnih komponenti (PCA – *Principal Component Analysis*) izvršena je provera da li pitanja u okviru grupe odražavaju analizirane faktore i da li potrebno iste grupisati na drugačiji način.

4.1 Demografske karakteristike ispitivanog uzorka u odnosu na povrede na radu

U Tabeli 4–1 predstavljene su (procentualno i numerički) demografske odlike celokupnog uzorka u okviru sledećih kategorija: pol, godine starosti, ukupan kalendarski radni staž, ukupan radni staž na trenutnom radnom mestu i kvalifikacija ili stručna sprema radnika.

Tabela 4–1 Demografske karakteristike ispitivanog uzorka

Demografski parametar	Kategorija	Frekvencija	Procenat %
Pol	Muški	981	93,3
	Ženski	70	6,70
Godine starosti	18–25	82	7,80
	26–35	278	26,5
	36–45	307	29,2
	46–55	265	25,2
	56–65	119	11,30
	≤ 10		
Ukupan kalendarski radni staž	11–15	450	42,8
	16–20	160	15,2
	21–25	105	10,0
	26–35	124	11,8
	26–35	212	20,2
Ukupan radni staž na trenutnom radnom mestu	≤ 10	720	68,5
	11–15	111	10,6
	16–20	66	6,30
	21–25	55	5,20
Kvalifikacija /stručna sprema	26–35	99	9,40
	Nekvalifikovan	308	29,3
	Kvalifikovan	473	45,0
	Srednja školska sprema	225	21,4
	Visoka stručna sprema	39	3,70
	Magistratura i doktorat	6	0,60

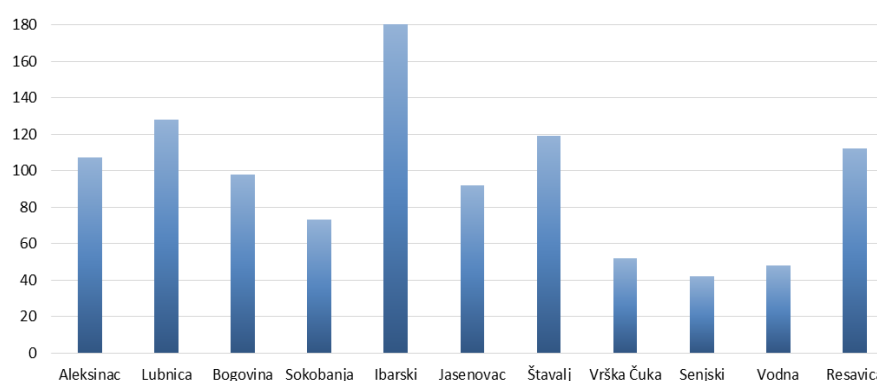
Ukoliko se posmatraju podaci o polu ispitanika, prikazani u Tabeli 4–1, može se zaključiti da je 93,3% ispitanika muškog pola, dok je samo 6,7% žena. Ovo je svakako očekivano u rudarskim kompanijama, gde čak i na svetskom nivou, procenat zaposlenih žena ne prelazi 10%.

Sledeći demografski parametar ispitanika – godine starosti, pokazuje da je najveći broj ispitanika u kategoriji 36–45 godina (29,2%), dok je najmanji procenat u najmlađoj kategoriji 18–25 godina (7,8%). Najstariji radnici takođe su zastupljeni sa veoma malim procentom koji iznosi 11,3%.

Podaci o ukupnom kalendarskom radnom stažu pokazuju da najveći procenat radnika pripada grupi radnika sa najmanjim radnim stažom (≤ 10 godina) – njih 42,8%, nakon čega sledi grupa radnika sa najviše godina (26–35) radnog staža – njih 20,2%. Slična je raspodela i u kategoriji ukupan radni staž na trenutnom radnom mestu, u kojoj 68,5% radnika na trenutnom radnom mestu radi manje od 10 godina. Populacija radnika mlađe generacije koja bi trebalo da ima najmanje radnog staža, zastupljena je u malom procentu. Podaci da 40% zaposlenih imaju radni staž manji od 10 godina ukazuju da su u rudnicima zaposlene starije grupe radnika sa malo iskustva ili bez iskustva, što sugerise da se radnici u rudnicima zapošljavaju u poznijim godinama, a ne neposredno nakon završenog školovanja.

Podaci o kategorijama kvalifikacija ili stručne spreme pokazuju da je najviše ispitanika bilo u II kategoriji, tj. kvalifikovanih ima 45,00%, nakon čega slede oni sa najnižim obrazovanjem – nekvalifikovani (29,3%), zatim sa srednjom stručnom spremom (21,4%), visokom stručnom spremom (3,7%) i magistraturom ili doktoratom (0,60%). Kako je u rudnicima u Srbiji tehnologija otkopavanja pretežno nemehanizovana, kvalifikovani i nekvalifikovani radnici predstavljaju radnu snagu koja pokreće samu proizvodnju. Izabrani reprezentativni uzorak vrlo dobro opisuje stvarnu kvalifikacionu strukturu u JP PEU Resavica, u 2019. godini. JP PEU ima sledeću kvalifikacionu strukturu zaposlenih: KV – kvalifikovani (48,21%), NK – nekvalifikovani (29,37%), SSS – srednja stručna sprema (17,22%), VSS – visoka stručna sprema i Ms/Phd – magistratura i doktorat imaju ukupno (5,17%).

Zbog prirode prikupljanja podataka, bilo je poznato iz koje su proizvedene jedinice JP PEU anketirani radnici. Prikaz broja radnika po proizvodnoj jedinici dat je na Slici 4–1.



Slika 4–1 Grafički prikaz broja anketiranih radnika po proizvodnoj jedinici

Na osnovu grafičkog prikaza na Slici 4–1, najveći broj anketiranih radnika je iz Ibarskog rudnika (180), dok je najmanji broj anketiranih u Senjskom rudniku (42), Vodni (48), i Vrškoj Čuki (52).

Za promenljive u okviru svake grupe pitanja u Tabeli 4–2 prikazani su osnovni pokazatelji deskriptivne statistike: mere centralne tendencije (srednja vrednost, modus i medijana) i mere disperzije (standardna devijacija, varijansa).

Tabela 4–2 Deskriptivna statistika odgovora ispitanika

Kodiran naziv pitanja	Broj ispitanika	Medijana	Modus	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Varijansa
PPE_1	1051	5	5	4,75	0,743	0,552
PPE_2	1051	4	4	4,01	1,169	1,367
PPE_3	1051	4	4	3,83	1,499	2,247
PPE_4	1051	5	5	4,32	1,087	1,181
PPE_5	1051	5	5	4,66	0,761	0,580
WEM_1	1051	5	4	4,23	1,217	1,482
WEM_2	1051	5	4	4,28	1,121	1,258
WEM_3	1051	5	5	4,21	1,176	1,383
WEM_4	1051	4	4	3,43	1,428	2,040
WE_1	1051	5	4	4,32	1,087	1,181
WE_2	1051	5	5	4,50	0,886	0,785
WE_3	1051	5	5	4,32	1,087	1,181
WE_4	1051	5	5	4,29	1,106	1,223
WE_5	1051	4	3	3,66	1,494	2,231
M_1	1051	5	4	4,27	1,148	1,318
M_2	1051	5	4	4,21	1,234	1,522
M_3	1051	5	4	4,20	1,195	1,429
M_4	1051	5	4	4,43	0,986	0,973
M_5	1051	5	4	4,24	1,212	1,470
OR_1	1051	5	4	4,29	1,055	1,114
OR_2	1051	5	5	4,38	1,039	1,079
OR_4	1051	4	4	4,04	1,165	1,358
T_1	1051	5	5	4,61	0,895	0,800
T_2	1051	5	4	4,34	1,034	1,069
T_3	1051	5	5	4,58	0,924	0,853

Podaci prikazani u Tabeli 4–2 ukazuju da je najveću ocenu od strane ispitivanih radnika dobilo pitanje PPE_1 – *Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu* (4,75). Radnici su prepoznali značaj LZS i gaje pozitivan odnos prema njima. Najlošije ocenjeno je pitanje WEM_4 – *Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajuću su (osećam se prijatno dok radim)* (3,43). Evidentno je da u rudnicima uslovi radne okoline nisu zadovoljavajući, dok su u podzemnoj eksploataciji negativni uslovi radne okoline još izraženiji. Skučen prostor, rad pod zemljom, veštačko provetravanje i sl., doprinose lošoj oceni ovog pitanja.

4.2 Analiza varijanse

Primenom jedne od osnovnih statističkih tehnika za analizu, analize varijanse (ANOVA), utvrđene su razlike između anketiranih radnika u odnosu na njihove demografske karakteristike.

ANOVA test je primenjen za sledeće ispitivane parametre: proizvodna jedinica, godine starosti, ukupan kalendarski radni staž i kvalifikacija, odnosno stručna sprema radnika. Rezultati primenjenog ANOVA testa prikazani su u Prilogu 2, dok su u tabelama koje slede prikazani samo oni rezultati kod kojih je uočena statistički značajna razlika između grupa, tj. kod kojih je verovatnoća $p \leq 0,05$.

ANOVA test za parametar proizvodna jedinica

Jednofaktorskom analizom varijanse istražena je razlika u odgovorima ispitanika u odnosu na proizvodnu jedinicu. Statistički značajni rezultati ANOVA testa prikazani su u Tabeli 4–3.

Tabela 4–3 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra proizvodna jedinica

Naziv pitanja	Proizvodna jedinica	Broj ispitanika	Srednja vrednost	Std. devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p	Eta-kvadrat
WE_2 Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	Aleksinac	107	4,51	0,769	0,074	2,692	0,003	0,0252
	Lubnica	128	4,66	0,704	0,062			
	Bogovina	98	4,34	0,930	0,094			
	Sokobanja	73	4,52	0,852	0,100			
	Ibarski	180	4,56	0,778	0,058			
	Jasenovac	92	4,57	0,731	0,076			
	Štavalj	119	4,66	0,858	0,079			
	Vrska Čuka	52	4,54	0,828	0,115			
	Senjski	42	4,31	1,070	0,165			
	Vodna	48	4,35	1,082	0,156			
Resavica	112	4,22	1,206	0,114				
Ukupno	1051	4,50	0,886	0,027				
T_1 Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu	Aleksinac	107	4,72	0,595	0,058	3,286	0,000	0,2250
	Lubnica	128	4,59	0,892	0,079			
	Bogovina	98	4,41	1,120	0,113			
	Sokobanja	73	4,62	0,844	0,099			
	Ibarski	180	4,68	0,751	0,056			
	Jasenovac	92	4,48	1,064	0,111			
	Štavalj	119	4,85	0,498	0,046			
	Vrska Čuka	52	4,67	0,760	0,105			
	Senjski	42	4,36	1,340	0,207			
	Vodna	48	4,85	0,618	0,089			
Resavica	112	4,39	1,157	0,109				
Ukupno	1051	4,61	0,895	0,028				
T_2 Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu	Aleksinac	107	4,36	1,013	0,098	2,653	0,003	0,2480
	Lubnica	128	4,42	0,919	0,081			
	Bogovina	98	4,13	1,273	0,129			
	Sokobanja	73	4,53	0,899	0,105			
	Ibarski	180	4,28	1,015	0,076			
	Jasenovac	92	4,39	0,925	0,096			
	Štavalj	119	4,56	0,732	0,067			
	Vrska Čuka	52	4,52	0,896	0,124			
	Senjski	42	4,17	1,305	0,201			
	Vodna	48	4,35	1,062	0,153			
Resavica	112	4,04	1,252	0,118				
Ukupno	1051	4,34	1,034	0,032				

Rezultati prikazani u Tabeli 4–3 ukazuju da postoji statistički značajna razlika za sledeća pitanja: WE_2 – *Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)*, T_1 – *Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu*, T_2 – *Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu*.

Post Hoc Test pokazuje da se u odnosu na pitanje WE_2 – *Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)* statistički značajno razlikuju odgovori radnika zaposlenih u rudnicima Lubnica ($p = 0,007$) i Štavalj ($p = 0,009$) u odnosu na odgovore radnika koji rade u proizvodnoj jedinici Resavica. Izračunavanjem veličine uticaja uz pomoć eta-kvadrata dobija se vrednost 0,0252, što, po Koenovom kriterijumu, pokazuje da je uticaj ove razlike mali. Za pitanje T_1 – *Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu*, statistički se značajno razlikuju odgovori radnika rudnika Štavalj u odnosu na zaposlene u Bogovini ($p = 0,012$) i Resavici ($p = 0,005$). Eta-kvadrat ima vrednost 0,225, na osnovu čega sledi da je uticaj mali. Za pitanje T_2 – *Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu*, statistički se značajno razlikuju odgovori radnika rudnika Resavica u odnosu na zaposlene u Sokobanji ($p = 0,049$) i Štavlju ($p = 0,005$). Eta-kvadrat ima vrednost 0,248, na osnovu čega sledi da je uticaj mali.

ANOVA test za parametar godine starosti

Sagledavajući rezultate ANOVA testa za parametar godine starosti ispitanika (Prilog 2), uočava se da od ukupno 25 iskaza statistički značajna razlika u odgovorima postoji kod 17 iskaza koji su prikazani u Tabeli 4–4.

Tabela 4–4 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra godine starosti

Naziv pitanja	Godine starosti	Br. ispitanika	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p	Eta-kvadrat
PPE_2 Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim	18–25	82	3,70	1,108	0,122	11,013	0,000	0,040
	26–35	278	3,82	1,298	0,078			
	36–45	307	3,92	1,320	0,075			
	46–55	265	4,22	0,893	0,055			
	56–65	119	4,48	0,757	0,069			
Ukupno	1051	4,01	1,169	0,036				
PPE_3 Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)	18–25	82	3,17	1,706	0,188	11,042	0,000	0,029
	26–35	278	3,95	1,448	0,087			
	36–45	307	3,90	1,513	0,086			
	46–55	265	3,58	1,516	0,093			
	56–65	119	4,39	1,091	0,100			
Ukupno	1051	3,83	1,499	0,046				
PPE_4 Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	18–25	82	4,32	0,718	0,079	9,405	0,000	0,022
	26–35	278	4,04	1,362	0,082			
	36–45	307	4,35	1,182	0,067			
	46–55	265	4,41	0,808	0,050			
	56–65	119	4,72	0,596	0,055			
Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034				
WEM_1 Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena	18–25	82	3,94	1,518	0,168	4,919	0,001	0,040
	26–35	278	4,31	1,138	0,068			
	36–45	307	4,09	1,449	0,083			
	46–55	265	4,23	1,020	0,063			
	56–65	119	4,58	0,742	0,068			
Ukupno	1051	4,23	1,217	0,038				

Nastavak Tabele 4 4 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra godine starosti

Naziv pitanja	Godine starosti	Br. ispitanika	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p	Eta-kvadrat
WEM_2 Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu	18-25	82	4,23	0,998	0,110	3,797	0,005	0,034
	26-35	278	4,35	1,197	0,072			
	36-45	307	4,15	1,254	0,072			
	46-55	265	4,24	1,027	0,063			
	156-65	119	4,60	0,740	0,068			
	Ukupno	1051	4,28	1,121	0,035			
WEM_3 Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	18-25	82	3,71	1,486	0,164	6,680	0,000	0,014
	26-35	278	4,21	1,173	0,070			
	36-45	307	4,30	1,243	0,071			
	46-55	265	4,14	1,120	0,069			
	156-65	119	4,52	0,662	0,061			
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,036			
WEM_4 Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)	18-25	82	3,30	1,119	0,124	7,904	0,000	0,034
	26-35	278	3,53	1,400	0,084			
	36-45	307	3,41	1,487	0,085			
	46-55	265	3,14	1,512	0,093			
	156-65	119	3,98	1,142	0,105			
	Ukupno	1051	3,43	1,428	0,044			
WE_1 Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanje, izboja gasa, vode...	18-25	82	4,32	0,718	0,079	9,405	0,000	0,039
	26-35	278	4,04	1,362	0,082			
	36-45	307	4,35	1,182	0,067			
	46-55	265	4,41	0,808	0,050			
	156-65	119	4,72	0,596	0,055			
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034			
WE_2 Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	18-25	82	4,66	0,773	0,085	10,858	0,000	0,024
	26-35	278	4,62	0,668	0,040			
	36-45	307	4,24	1,203	0,069			
	46-55	265	4,51	0,749	0,046			
	156-65	119	4,74	0,495	0,045			
	Ukupno	1051	4,50	0,886	0,027			
WE_3 Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu	18-25	82	4,32	0,718	0,079	9,405	0,000	0,018
	26-35	278	4,04	1,362	0,082			
	36-45	307	4,35	1,182	0,067			
	46-55	265	4,41	0,808	0,050			
	156-65	119	4,72	0,596	0,055			
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034			
WE_4 Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure	18-25	82	4,32	0,718	0,079	7,897	0,000	0,034
	26-35	278	4,02	1,358	0,081			
	36-45	307	4,33	1,182	0,067			
	46-55	265	4,34	0,891	0,055			
	156-65	119	4,66	0,694	0,064			
	Ukupno	1051	4,29	1,106	0,034			
WE_5 Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje	18-25	82	2,99	1,622	0,179	8,161	0,000	0,020
	26-35	278	3,52	1,594	0,096			
	36-45	307	3,63	1,508	0,086			
	46-55	265	3,97	1,321	0,081			
	156-65	119	3,82	1,300	0,119			
	Ukupno	1051	3,66	1,494	0,046			
M_2 Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja	18-25	82	4,63	1,710	0,189	6,010	0,000	0,014
	26-35	278	4,32	1,091	0,065			
	36-45	307	4,43	1,296	0,074			
	46-55	265	4,37	1,195	0,073			
	156-65	119	4,66	0,937	0,086			
	Ukupno	1051	4,43	1,234	0,038			
M_4 Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	18-25	82	4,39	0,949	0,105	3,725	0,005	0,029
	26-35	278	4,42	1,044	0,063			
	36-45	307	4,09	1,031	0,059			
	46-55	265	4,26	0,933	0,057			
	156-65	119	4,52	0,805	0,074			
	Ukupno	1051	4,29	0,986	0,030			

Nastavak Tabele 4–4 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra godine starosti

Naziv pitanja	Godine starosti	Br. ispitanika	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p	Eta-kvadrat
M_5 Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj	18–25	82	4,61	0,997	0,110	6,529	0,000	0,017
	26–35	278	4,63	1,221	0,073			
	36–45	307	4,59	1,425	0,081			
	46–55	265	4,41	1,107	0,068			
	156–65	119	4,82	0,753	0,069			
Ukupno	1051	4,58	1,212	0,037				
OR_1 Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR	18–25	82	4,39	0,953	0,105	5,488	0,000	0,024
	26–35	278	4,42	0,983	0,059			
	36–45	307	4,09	1,116	0,064			
	46–55	265	4,26	1,120	0,069			
	156–65	119	4,52	0,882	0,081			
Ukupno	1051	4,29	1,055	0,033				
T_3 Obuke za rad sprovode stručna lica	18–25	82	4,61	0,871	0,096	4,557	0,001	0,030
	26–35	278	4,63	0,747	0,045			
	36–45	307	4,59	1,010	0,058			
	46–55	265	4,41	1,062	0,065			
	156–65	119	4,82	0,676	0,062			
Ukupno	1051	4,58	0,924	0,028				

Podaci u Tabeli 4–4 ukazuju da se mišljenje radnika koji pripadaju grupi 18–25 godina razlikuje po svim iskazima u odnosu na mišljenje starijih radnika, tj. onih koji pripadaju grupama 46–55 i 56–65 godina. Sasvim je sigurno da mlade populacije na drugačiji način percipiraju BZR u odnosu na starije generacije. Iako se njihova mišljenja razlikuju, istraživanja su pokazala da pojava povređivanja radnika u ovim kategorijama nije tako česta u rudnicima u Srbiji (Ivaz et al., 2021).

Rezultati dalje analize (Post Hoc Test) pokazuju da postoji razlika između mišljenja radnika mlađih starosnih grupa u odnosu na starije starosne grupe u gotovo svim iskazima. Međutim, vrednost Eta-kvadrata prikazana u Tabeli 4–4, po Koenovom kriterijumu pokazuje da je uticaj ove razlike manji od 0,06, što ukazuje da je stvarna vrednost razlike između grupa mala.

ANOVA test za parametar ukupan kalendarski radni staž

ANOVA testiranje u odnosu na ukupan kalendarski radni staž pokazalo je da statistički značajna razlika postoji za 11 iskaza. Detaljnija analiza pokazuje da se mišljenje radnika koji pripadaju grupi sa radnim iskustvom 0–10 godina razlikuje u odnosu na mišljenje radnika sa dužim radnim stažom (21–25 godina) i onih pred penzijom (26–35 godina). ANOVA statistički značajne veličine za parametar ukupan kalendarski radni staž prikazane su u Tabeli 4–5.

Tabela 4–5 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra ukupan kalendarski radni staž

Naziv pitanja	Radno iskustvo	Broj uzoraka	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p	Eta-kvadrat
PPE_2 Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim	0–10	450	3,78	1,342	0,0633	8,715	0,000	0,0323
	11–15	160	4,17	1,139	0,0901			
	16–20	105	4,17	0,925	0,0902			
	21–25	124	4,07	0,973	0,0873			
	26–35	212	4,28	0,894	0,0614			
Ukupno	1051	4,01	1,169	0,0361				

Nastavak Tabele 4–5 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra kalendarski radni staž

Naziv pitanja	Radno iskustvo	Broj uzoraka	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p	Eta-kvadrat
Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, meraći gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	0–10	450	4,10	1,298	0,0612	10,628	0,000	0,0391
	11–15	160	4,35	1,150	0,0909			
	16–20	105	4,45	0,635	0,0620			
	21–25	124	4,67	0,472	0,0424			
	26–35	212	4,52	0,857	0,0588			
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,0335			
Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu	0–10	450	4,23	1,282	0,0605	3,927	0,004	0,0148
	11–15	160	4,48	0,918	0,0725			
	16–20	105	4,50	0,667	0,0651			
	21–25	124	4,03	1,126	0,1011			
	26–35	212	4,28	1,036	0,0712			
	Ukupno	1051	4,28	1,121	0,0346			
Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	0–10	450	4,00	1,376	0,0649	12,384	0,000	0,0634
	11–15	160	4,36	1,054	0,0833			
	16–20	105	4,74	0,501	0,0488			
	21–25	124	4,50	0,841	0,0755			
	26–35	212	4,13	1,080	0,0742			
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,0363			
Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)	0–10	450	3,48	1,381	0,0651	4,835	0,001	0,0182
	11–15	160	3,77	1,472	0,1164			
	16–20	105	3,47	1,366	0,1333			
	21–25	124	3,15	1,507	0,1353			
	26–35	212	3,22	1,425	0,0979			
	Ukupno	1051	3,43	1,428	0,0441			
Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanje, izboja gasa, vode ...	0–10	450	4,10	1,298	0,0612	10,628	0,000	0,0391
	11–15	160	4,35	1,150	0,0909			
	16–20	105	4,45	0,635	0,0620			
	21–25	124	4,67	0,472	0,0424			
	26–35	212	4,52	0,857	0,0588			
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,0335			
Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu	0–10	450	4,10	1,298	0,0612	10,628	0,000	0,0391
	11–15	160	4,35	1,150	0,0909			
	16–20	105	4,45	0,635	0,0620			
	21–25	124	4,67	0,472	0,0424			
	26–35	212	4,52	0,857	0,0588			
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,0335			
Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure	0–10	450	4,08	1,289	0,0608	8,065	0,000	0,0299
	11–15	160	4,33	1,152	0,0911			
	16–20	105	4,41	0,661	0,0645			
	21–25	124	4,61	0,608	0,0546			
	26–35	212	4,43	0,969	0,0665			
	Ukupno	1051	4,29	1,106	0,0341			
Moji nadređeni će zaustaviti rad u slučaju da se obavlja nebezbedno	0–10	450	4,29	1,093	0,0515	5,038	0,001	0,0147
	11–15	160	4,28	1,110	0,0878			
	16–20	105	4,42	0,852	0,0832			
	21–25	124	3,98	1,473	0,1323			
	26–35	212	3,96	1,371	0,0942			
	Ukupno	1051	4,29	1,093	0,0515			
Obuke za rad sprovode stručna lica	0–10	450	4,60	0,875	0,0412	4,651	0,001	0,0175
	11–15	160	4,38	1,176	0,0929			
	16–20	105	4,83	0,448	0,0438			
	21–25	124	4,69	0,790	0,0709			
	26–35	212	4,50	1,019	0,0700			
	Ukupno	1051	4,58	0,924	0,0285			

Prema podacima iz Tabele 4–5 najveću vrednost parametra Eta-kvadrata (0,0634) u odnosu na Koenov kriterijum imalo je pitanje WEM_3 – *Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih*. Ova vrednost svrstava značaj razlike između poređenih grupa u srednji (vrednost veća od 0,06). Najveću ocenu ovom kriterijumu dali su ispitanici koji imaju radni staž 16–20 godina, a najmanju ispitanici sa radnim stažom 0–10.

Visoku vrednost Eta-kvadrata ima i pitanje WE_3 – Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu, gde se sa ovom konstatacijom gradacijski najmanje slažu oni koji imaju najmanje iskustva, a najviše oni sa najviše radnog iskustva. Dva pitanja koja pripadaju grupi pitanja o LZS: PPE_2 – Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim i PPE_4 – Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu, takođe imaju visoku vrednost Eta-kvadrata. Međutim, prvo pitanje ima nisku ukupnu srednju vrednost, što govori da ispitanici nisu u potpunosti zadovoljni kvalitetom svoje zaštitne opreme. Kod drugog pitanja, ispitanici sa više radnog staža bolje su ocenili kvalitet kolektivnih zaštitnih sredstava u poređenju sa onima koji imaju manje radnog staža. Kod svih pitanja, izuzev pitanja WEM_3, postoji razlika u poređenju grupa, ali daljom analizom utvrđeno je da je stvarna vrednost razlika između ovih grupa pitanja mala.

ANOVA test za parametar kvalifikacija /stručna sprema

Parametar kvalifikacija/stručna sprema je ANOVA testiranjem izdvojio 12 iskaza sa statistički značajnom razlikom u odgovorima ispitanika koji su prikazani u Tabeli 4–6.

Tabela 4–6 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra kvalifikacija/stručna sprema

Naziv pitanja	Kvalifikacija/Stručna sprema	Broj uzoraka	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovao tnoća p	Eta-kvadrat
PPE_1 Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu	NK – Nekvalifikovan	308	4,88	0,497	0,028	7,221	0,000	0,027
	KV – Kvalifikovan	473	4,65	0,873	0,040			
	SSS – Srednja str. sprema	225	4,81	0,690	0,046			
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,56	0,754	0,121			
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000			
	Ukupno	1051	4,75	0,743	0,023			
PPE_3 Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)	NK – Nekvalifikovan	308	4,15	1,298	0,074	9,458	0,000	0,035
	KV – Kvalifikovan	473	3,72	1,565	0,072			
	SSS – Srednja str. sprema	225	3,51	1,593	0,106			
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,41	0,966	0,155			
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000			
	Ukupno	1051	3,83	1,499	0,046			
PPE_4 Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparat parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	NK – Nekvalifikovan	308	4,45	0,945	0,054	4,266	0,002	0,016
	KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,185	0,054			
	SSS – Srednja str. sprema	225	4,32	1,050	0,070			
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,49	0,970	0,155			
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000			
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034			
PPE_5 Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva	NK – Nekvalifikovan	308	4,57	0,790	0,045	3,767	0,005	0,014
	KV – Kvalifikovan	473	4,69	0,797	0,037			
	SSS – Srednja str. sprema	225	4,76	0,573	0,038			
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,38	0,963	0,154			
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000			
	Ukupno	1051	4,66	0,761	0,023			
WEM_1 Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena	NK – Nekvalifikovan	308	4,44	1,109	0,063	4,554	0,001	0,017
	KV – Kvalifikovan	473	4,09	1,353	0,062			
	SSS – Srednja str. sprema	225	4,18	1,079	0,072			
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,36	0,843	0,135			
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000			
	Ukupno	1051	4,23	1,217	0,038			
WEM_3 Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	NK – Nekvalifikovan	308	4,53	0,893	0,051	9,930	0,000	0,064
	KV – Kvalifikovan	473	4,00	1,299	0,060			
	SSS – Srednja str. sprema	225	4,20	1,193	0,080			
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,31	1,004	0,161			
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000			
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,036			

Nastavak Tabele 4–6 Statistički značajni rezultati ANOVA testa na osnovu parametra kvalifikacija/stručna sprema

Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanje, izboja gasa, vode ...	WE_1	NK – Nekvalifikovan	308	4,45	0,945	0,054	4,266	0,002	0,016
		KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,185	0,054			
		SSS – Srednja str. sprema	225	4,32	1,050	0,070			
		VS – Visoka stručna sprema	39	4,49	0,970	0,155			
		Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000			
		Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034			
Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu	WE_3	NK – Nekvalifikovan	308	4,45	0,945	0,054	4,266	0,002	0,016
		KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,185	0,054			
		SSS – Srednja str. sprema	225	4,32	1,050	0,070			
		VS – Visoka stručna sprema	39	4,49	0,970	0,155			
		Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000			
		Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034			
Dešava se da ponekad zbog ubrzanog rada preskačem bezbednosne procedure	WE_4	NK – Nekvalifikovan	308	4,43	0,964	0,055	4,152	0,002	0,016
		KV – Kvalifikovan	473	4,22	1,183	0,054			
		SSS – Srednja str. sprema	225	4,22	1,120	0,075			
		VS – Visoka stručna sprema	39	4,44	0,995	0,159			
		Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000			
		Ukupno	1051	4,29	1,106	0,034			
Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje	WE_5	NK – Nekvalifikovan	308	3,90	1,410	0,080	7,372	0,000	0,027
		KV – Kvalifikovan	473	3,39	1,569	0,072			
		SSS – Srednja str. sprema	225	3,83	1,407	0,094			
		VS – Visoka stručna sprema	39	4,00	1,277	0,205			
		Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000			
		Ukupno	1051	3,66	1,494	0,046			
Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	M_4	NK – Nekvalifikovan	308	4,54	0,921	0,052	5,285	0,000	0,020
		KV – Kvalifikovan	473	4,42	0,952	0,044			
		SSS – Srednja str. sprema	225	4,36	1,039	0,069			
		VS – Visoka stručna sprema	39	3,85	1,368	0,219			
		Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000			
		Ukupno	1051	4,43	0,986	0,030			
Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	OR_2	NK – Nekvalifikovan	308	4,52	0,904	0,052	3,977	0,003	0,015
		KV – Kvalifikovan	473	4,25	1,153	0,053			
		SSS – Srednja str. sprema	225	4,40	0,978	0,065			
		VS – Visoka stručna sprema	39	4,62	0,782	0,125			
		Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000			
		Ukupno	1051	4,38	1,039	0,032			

Tabela 4–6 u poslednjoj koloni prikazuje vrednost Eta-kvadrata izdvojenih iskaza. Po mišljenju ispitanika, u odnosu na Koenov kriterijum značaja pitanje WEM_3 – *Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih*, izdvojilo se kao jedino koje ima srednji značaj. Najveću ocenu ovom pitanju dali su NK radnici, a najnižu KV radnici i radnici najviši po obrazovanju. Značajne vrednosti Eta-kvadrata imaju i pitanja koja se odnose na LZS: PPE_2 – *Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim* i PPE_4 – *Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara ...)* ispravna su i prisutna na mom radnom mestu. Izdvojeno je i pitanje WE_5 – *Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje*, jer nedostatke noćnog rada prepoznaju svakako oni koji rade u smenskom režimu, a to su NK i KV radnici. Još jedno pitanje se izdvojilo, M_4 – *Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom*, gde se primećuje da je komunikacija sa nadređenima maksimalnom ocenom okarakterisana od starane najobrazovanijih, što je svakako i logično jer oni zauzimaju najviše rukovodeće pozicije. Međutim, zaposleni koji se u hijerarhiji nalaze samo stepen ispod njih dali su najmanju ocenu ovom kriterijumu iz čega proizlazi da rukovodstvo među sobom ima veoma lošu komunikaciju.

Ispitanici su prilikom popunjavanja upitnika pokazali značajne razlike u mišljenjima u vezi sa BZR u rudnicima. Različitost mišljenja najmanje je izražena u odnosu na proizvodnu jedinicu rudnika i ona se ogleda u kategoriji pitanja koja su vezana za opremu za rad i obuke. Najizraženija

razlika među ispitanicima bila je u kategoriji godine starosti i ukupan radni staž, gde su radnici pokazali statistički srednje značajne razlike u mišljenju u vezi sa kontrolom opreme za rad, stručnošću svojih kolega, organizacijom rada i u odnosu na kvalitet obuke.

4.3 Analiza glavnih komponenti

Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena je kako bi se utvrdili odnosi između 29 pitanja iz sprovedenog upitnika, odnosno kako bi se grupisala ova pitanja. Kao što je već opisano, ova analiza se sprovodi u tri koraka a prvi je provera podobnosti podataka za ovakvu vrstu analize. Provera podrazumeva određivanje vrednosti Bartletovog testa sferičnosti i Kajzer/Mejer/Olkinov pokazatelja (KMO). Ove dve vrednosti za sprovedeno istraživanje prikazane su u Tabeli 4–7.

Tabela 4–7 Vrednost Bartletovog testa sferičnosti i KMO

Kajzer/Mejer/Olkinov pokazatelj		0,887
Bertlov test sferičnosti	Approx. Chi-Square	18999,055
	df	406
	Sig.	0,00

Podaci u Tabeli 4–7 ukazuju da vrednost Bertletovog testa sferičnosti (Sig. je 0,00) zadovoljava uslov, tj. njegova vrednost je manja od 0,05, što znači da je dati skup podataka pogodan za faktorsku analizu. I vrednost KMO zadovoljava traženi uslov jer njegova vrednost iznosi 0,887. Kako bi se dobile ove vrednosti, bilo je potrebno iz analize izostaviti pitanja WE_1 i WE_3. Izostavljanje pitanja WE_1 i WE_3 bilo je neophodno jer rezultati koji su uključivali ova dva pitanja nisu zadovoljavali minimalne vrednosti Kajzer/Mejer/Olkinov pokazatelja (KMO), tj. njegova vrednost nije bila veća od 0,60.

Sledeći korak podrazumeva izdvajanje faktora. Za izdvajanje pravog broja faktora korišćen je Kajzerov kriterijum. Ovim kriterijumom izdvojeno je 8 komponenti koje zadovoljavaju uslov da njihove karakteristične vrednosti budu veće od 1. Ovih osam komponenti objašnjava ukupno 70% promenljivih, a rezultati sprovedene analize prikazani su u Tabeli 4–8.

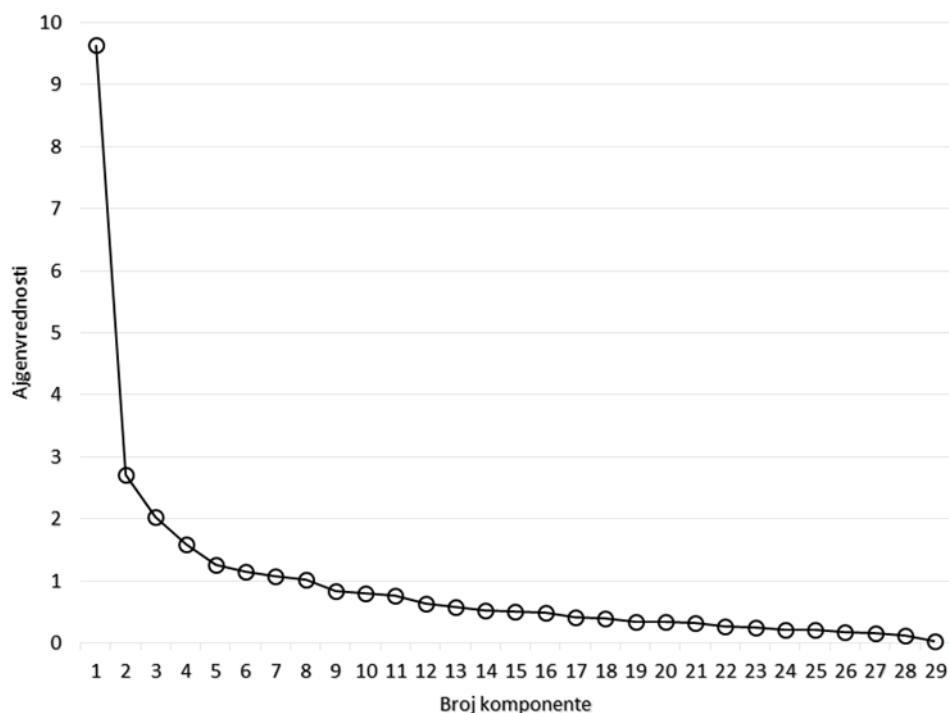
Tabela 4–8 PCA posmatranog uzorka

Objašnjenje ukupne varijanse				
Redni broj komponente	Početne Ajgenvrednosti		Rotirane vrednosti	
	Vrednost Kajzerovog kriterijuma	% objašnjene varijanse	Kumulativni % objašnjene varijanse	Ukupno
1	9,640	33,243	33,243	7,091
2	2,708	9,338	42,581	2,538
3	2,036	7,022	49,602	7,565
4	1,597	5,507	55,109	4,047
5	1,271	4,383	59,492	1,234
6	1,148	3,957	63,450	2,142
7	1,086	3,743	67,193	1,187
8	1,041	3,589	70,782	1,130
9	0,837	2,887	73,669	
10	0,805	2,777	76,445	
11	0,772	2,662	79,107	
12	0,644	2,219	81,326	
13	0,586	2,020	83,346	
14	0,534	1,843	85,189	
15	0,517	1,784	86,973	
16	0,483	1,665	88,638	
17	0,417	1,437	90,075	
18	0,394	1,358	91,433	
19	0,349	1,205	92,638	
20	0,340	1,172	93,810	
21	0,322	1,109	94,918	
22	0,274	0,944	95,863	
23	0,254	0,875	96,738	
24	0,225	0,776	97,513	
25	0,212	0,732	98,246	
26	0,186	0,640	98,886	
27	0,156	0,538	99,424	
28	0,125	0,433	99,856	
29	0,042	0,144	100,000	

Ekstracioni model: PCA

Podaci u Tabeli 4–8 pokazuju da je analiza glavnih komponenti izdvojila 8 komponenti koje objašnjavaju ukupno 70,78% varijanse, ali pojedinačno najveći deo varijanse objašnjen je komponentom jedan – 33,24%, komponente dva i tri objašnjavaju manje od 10% varijanse, a ostalih 5 komponenti manje od 6% varijanse.

Često prethodno primenjen Kajzerov kriterijum daje veliki broj komponenti, pa se kao kontrolna metoda primenjuje metoda dijagrama, tzv. Scree Test dijagram, prikazan na Slici 4–1.



Slika 4–1 Scree Test dijagram za određivanje broja komponenti

Sa Scree Test dijagrama prikazanog na Slici 4–1 uočava se da postoji tačka prevoja nakon osme komponente, na osnovu čega sledi da je razložno dalje razmatrati upravo ovih osam komponenti.

Nakon određivanja i usvajanja broj faktora (8), pristupa se rotaciji faktora. U ovom radu upotrebljena je Oblimin vrsta rotacije čiji su rezultati prikazani u Tabeli 4–9.

Tabela 4–9 Faktorske težine komponenti nakon Oblimin rotacije (Oblimin with Kaiser Normalization)

Grupa	Pitanje u okviru grupe/Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8
I	Moji nadređeni će zaustaviti rad u slučaju da se obavalja nebezbedno	0,899							
	Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skaldu sa merama BZR	0,834							
	Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno	0,800							
	Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja	0,701							
	Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj	0,626		–0,375					
	Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	0,623							
	Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	0,522							
	Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	0,400							
	Ukupno radno iskustvo		0,935						
II	Godine starosti		0,875						
	Radno iskustvo na trenutnom radnom mestu		0,826						
III	Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno–ventilac parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu			–0,860					
	Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure			–0,841					
	Oprema za rad i mašine za rad su odgovarajuće za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu			–0,805					
	Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih			–0,796					
	Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena			–0,781					
	Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim			–0,731					
	Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)			–0,570					
	Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)			–0,550	–0,329		–0,433		
Organizacija rada je usklađena sa dinamikom rada (tempo rada mi odgovara)	0,366		–0,435						
IV	Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu				–0,820				
	Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu				–0,723				
	Obuke za rad sprovode stručna lica				–0,629				
V	Kvalifikacija/stručna sprema					0,851			
VI	Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu						0,685		
	Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva						0,680		
VII	Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje							–0,895	
VIII	Pol								0,731
	Proizvodna jedinica					–0,365		0,378	0,665

Iz prethodne Tabele 4–9 uočava se da je, nakon rotacije, za zadati broj faktora PCA metoda grupisala sve promenljive u 8 grupa, gde su zadate promenljive uglavnom pripale jednoj grupi faktora. Ovo nije bio slučaj za naredna četiri pitanja: *Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj*, *Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam mogu da dobijem druga)*, *Organizacija rada je usklađena sa dinamikom rada (tempo rada mi odgovara)*, *Proizvodna jedinica*, pa su ona dodeljena grupi u kojoj su pokazala najveći težinski faktor.

Date faktorske grupe koreliraju međusobno i u Tabeli 4–10 prikazani su rezultati jačine korelacije između faktora nakon rotacije.

Tabela 4–10 Vrednosti jačine korelacije između faktora nakon rotacije

Komponenta	1	2	3	4	5	6	7	8
I	1,000	-0,084	-0,472	-0,320	0,045	0,171	0,010	0,034
II	-0,084	1,000	-0,062	0,004	0,041	0,088	-0,075	0,047
III	-0,472	-0,062	1,000	0,336	-0,002	-0,095	0,020	-0,056
IV	-0,320	0,004	0,336	1,000	0,033	-0,146	0,015	0,012
V	0,045	0,041	-0,002	0,033	1,000	-0,026	-0,114	0,034
VI	0,171	0,088	-0,095	-0,146	-0,026	1,000	0,037	-0,041
VII	0,010	-0,075	0,020	0,015	-0,114	0,037	1,000	-0,023
VIII	0,034	0,047	-0,056	0,012	0,034	-0,041	-0,023	1,000

Vrednosti prikazane u Tabeli 4–10 na osnovu *Pearsonovog* koeficijenta korelacije ukazuju na jaku korelaciju za sledeće grupe faktora I i 2, IV i 2, III i 6 i obrnuto, srednje jaku korelaciju III i 2, VII i 2, VIII i 3.

U nastavku će biti predstavljena analiza grupa faktora izdvojenih PCA metodom i njihovih težinskih koeficijenata.

Prvoj grupi pripada sledećih osam pitanja: *Moji nadređeni će zaustaviti rad u slučaju da se obavalja nebezbedno*, *Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR*, *Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno*, *Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja*, *Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj*, *Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)*, *Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom*, *Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)*. Jasno se uočava priroda ove grupe pitanja, pa otuda i potiče njen naziv *Rukovodstvo i komunikacija sa nadređenim i kolegama*. Značaj komunikacije kako sa nadređenima tako i sa kolegama prepoznat je u više studija, a u ovom radu posvećena mu je tačka 3.3.6. Faktori opterećenja za pitanja iz ove grupe pozitivno su orijentisani i imaju vrlo visoke vrednosti. Najviše vrednosti imaju pitanja koja opisuju odnos nadređenih prema BZR, što je i očekivano jer pozitivan odnos rukovodstva predstavlja osnovu svakog Sistema BZR. Za rudnike uglja u Srbiji ovo je posebno značajno zbog veoma malih ulaganja u BZR i velikog broja povreda koje se dešavaju u rudarstvu.

Drugoj grupi pripadaju sledeća pitanja: *Ukupno radno iskustvo*, *Godine starosti*, *Radno iskustvo na trenutnom radnom mestu*. Ova tri pitanja opisuju *Demografske karakteristike radnika* i u direktnoj su sprezi sa godinama. Prikazana pitanja imaju vrlo visoke pozitivne faktore opterećenja i

prepoznata su od strane mnogih istraživača kao faktor za predikciju povreda na radu. Ova pitanja i njihove međusobne relacije opisana su u poglavlju 3.3.1.

Izdvojena treća grupa pitanja sadrži najveći broj pitanja, njih devet. Treća grupa generiše faktore koji su direktno vezani za proces rada i njoj pripadaju: *Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu; Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure; Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu; Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih; Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena; Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim; Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim); Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga); Organizacija rada je usklađena sa dinamikom rada (tempo rada mi odgovara).* Ovoj grupi pitanja ne pripadaju samo ona koja opisuju mašine i alate sa kojima radnik rukuje, već celokupni proces rada i predstavljaju mešavinu svega onoga sa čim se radnik prilikom dolaska na svoje radno mesto fizički susreće. Kako bi radnik počeo sa radom, potrebna su mu lična zaštitna sredstva i vrlo je bitno da se u njima oseća udobno. Zatim slede kolektivna zaštitna sredstva, koja mu u toku celog procesa rada pružaju mogućnost monitoringa i osećaj sigurnosti. Radna okolina takođe direktno utiče na njegov proces rada, nakon toga – oprema sa kojom radi i na kraju – tempo rada koji takođe utiče na BZR. Faktori opterećenja u ovoj grupi pitanja negativno su orijentisani i u odnosu na redni broj pitanja imaju opadajuće vrednosti. Najveću vrednost faktorskih težina (0,860; 0,841; 0,805) imaju tri pitanja koja u sprovedenom upitniku pripadaju različitim grupama pitanja.

Četvrta grupa obuhvata pitanja: *Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu; Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu; Obuke za rad sprovode stručna lica i zapravo sva se odnose na obuke u vezi sa radom.* PCA ih je prepoznala identično kako su data i u upitniku, tj. svrstala ih je u istu grupu. Svi faktori opterećenja za ovu grupu pitanja su negativno orijentisani.

Peta grupa sadrži samo jedno demografsko pitanje: *Kvalifikacija/stručna sprema*, a ovo pitanje i njegov značaj za predikciju opisani su u poglavlju 3.3.1.

Pitanja šeste grupe čine dva pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva. Ova pitanja su izdvojena sa pozitivnim i nešto nižim faktorima opterećenja.

Sedmoj grupi pitanja pripada jedno pitanje – *Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje*. Prikazano pitanje, iako je jedino u grupi, ima veliki negativni faktor opterećenja, što ukazuje na značaj istog u daljoj analizi.

Poslednjoj, osmoj grupi pripadaju dva pitanja: *Pol* i *Proizvodna jedinica*. Oba pitanja pripadaju *Demografskoj grupi pitanja* i imaju značajan faktor opterećenja. Pitanje *Proizvodna jedinica* dalo je negativan težinski faktor petoj grupi i pozitivan sedmoj grupi, ali je klasifikovano u devetu grupu jer je težinski faktor u ovoj grupi bio najveći.

5 REZULTATI ANALIZE PODATAKA PRIMENOM PROMETHEE II METODE

PROMETHEE II metoda korišćena je kako bi se definisali relevantni pokazatelji na osnovnu mišljenja radnika iz sprovedenog upitnika. Uz pomoć ove metode izvršeno je i rangiranje prema proizvodnim jedinicama, kvalifikaciji radnika i godinama starosti. Nakon toga izvršeno je upoređivanje rangiranja na osnovu metode PROMETHEE II sa egzaktnim podacima, tj. indeksnim pokazateljima o povredama na radu.

Kako bi se sprovedla ova vrsta analize, potrebno je izvršiti proračun prosečnih vrednosti srednjih ocena radnika dobijenih u anketnom listu po grupama pitanja. Ovi rezultati predstavljeni su u Tabeli 5–1.

Tabela 5–1 Srednja vrednost odgovora ispitanika prikazane grupe pitanja

Alternative	PPE Lična i kolektivna zaštitna sredstva	WEM Oprema za rad i uslovi radne okoline	WE Rizici u vezi sa radom	M Menadžment rukovodstvo	OR Organizacija rada	T Obuke	Srednja vrednost alternative
Aleksinac	4,30	4,05	4,28	4,36	4,32	4,57	4,31
Lubnica	4,33	4,09	4,31	4,34	4,35	4,54	4,32
Bogovina	4,22	3,98	4,20	4,12	4,02	4,38	4,15
Sokobanja	4,37	4,11	4,33	4,19	4,18	4,59	4,30
Ibarski	4,31	3,96	4,23	4,17	4,16	4,53	4,23
Jasenovac	4,32	3,98	4,26	4,32	4,26	4,47	4,27
Štavalj	4,44	4,22	4,37	4,39	4,40	4,68	4,42
Vrška Čuka	4,48	4,12	4,35	4,46	4,35	4,65	4,40
Senjski	4,27	4,02	4,21	4,29	4,26	4,37	4,24
Vodna	4,37	3,93	4,31	4,23	4,29	4,60	4,29
Resavica	4,15	3,88	4,07	4,17	4,07	4,27	4,10
NK – Nekvalifikovan	4,43	4,18	4,35	4,28	4,31	4,62	4,36
KV – Kvalifikovan	4,24	3,94	4,20	4,29	4,18	4,41	4,21
SSS – Srednja stručna sprema	4,28	4,02	4,27	4,24	4,25	4,55	4,27
VSS – Visoka stručna sprema	4,41	4,16	4,31	4,03	4,23	4,56	4,28
Ms/Dr – Magistratura/Doktorat	4,40	4,25	3,37	5,00	4,33	4,67	4,34
18–25	4,19	3,80	4,12	4,34	4,35	4,46	4,21
26–35	4,22	4,10	4,12	4,27	4,30	4,55	4,26
36–45	4,30	3,99	4,23	4,18	4,09	4,49	4,21
46–55	4,36	3,94	4,31	4,26	4,22	4,45	4,25
56–65	4,58	4,42	4,54	4,47	4,42	4,63	4,51

Podaci iz Tabele 5–1 ukazuju da najveću srednju vrednost, prema svim grupama pitanja, ima alternativa rudnik Vrška Čuka, dok najmanju srednju vrednost ima alternativa Resavica. U odnosu na kvalifikaciju radnika srednje vrednosti nemaju velika odstupanja. Najbolju ocenu BZR dali su

nekvalifikovani radnici, a najlošiju kvalifikovani. Godine starosti pokazuju da je ukupna srednja vrednost u kategoriji mladih i radnika srednjih godina ista, dok su najstariji radnici imali najvišu ukupnu srednju vrednost prema svim alternativama.

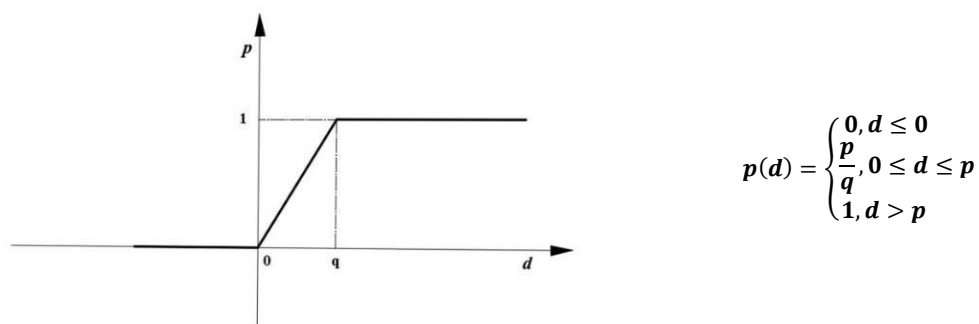
Nakon ovog propračuna bilo je potrebno odrediti težinske koeficijente. Težinski koeficijenti određeni su uz pomoć entropijske metode, a njihove vrednosti prikazane su u Tabeli 5–2. Primenjena metoda daje male vrednosti za opis alternative skupa. Manja entropijska vrednost kriterijuma daje bolje rezultate za određivanje redosleda alternativa.

Tabela 5–2 Vrednosti težinskih koeficijenata određenih entropijskom metodom

Alternative	PPE Lična i kolektivna zaštitna sredstva	WEM Oprema za rad i uslovi radne okoline	WE Rizici u vezi sa radom	M Menadžment rukovodstvo	OR Organizacija rad	T Obuke
Proizvodna jedinica	0,15	0,17	0,14	0,20	0,18	0,17
Kvalifikacija	0,20	0,17	0,15	0,17	0,17	0,14
Godine starosti	0,17	0,15	0,19	0,14	0,14	0,20

Rezultati iz Tabele 5–2 ukazuju da je u odnosu na proizvodne jedinice najmanja vrednost težinskog koeficijenta u odnosu na grupu pitanja WE – *Rizici u vezi sa radom*, što podrazumeva da su odgovori za ovu grupu najujednačeniji, dok najveći uticaj ima grupa pitanja M – *Menadžment rukovodstvo*. U odnosu na kvalifikaciju najveći uticaj ima prva grupa pitanja PPE – *Lična i kolektivna zaštitna sredstva*, dok je za alternativu godine starosti najuticajnija grupa pitanja koja se odnosi na T– *Obuke*.

Potrebno je odrediti i tip funkcije preferencije. Sagledavajući prirodu problema, izabrana je V-shape funkcija preferencije za sve tri grupe alternativa, čiji su izgled i matematička formulacija prikazani na Slici 5–1.



Slika 5–1 Izgled i matematička formulacija V-shape funkcije preferencije

V-shape funkcija preferencije koja je prikazana na Slici 5–1 podrazumeva da njena vrednost raste kako se razlika između dveju alternativa po nekom kriterijumu povećava. Ovaj rast je do nivoa p , kada funkcija daje prednost boljoj alternativu, tj. njena vrednost je tada 1. V-shape funkcija se koristi u slučajevima kada je i mala razlika u vrednosti alternativa značajna za donošenje odluke. Za vrednost praga preferencije (p) uzeta je standardna devijacija, za svaki od pokazatelja.

Kompletno rangiranje alternativa izvršeno je PROMETHEE II metodom uz pomoć softverskog paketa Visual PROMETHEE.

5.1 Rangiranje proizvodnih jedinica

Da bi se odredio redosled proizvodnih jedinica u odnosu na BZR prema podacima prikupljenim iz upitnika, u odnosu na prirodu problema, odabrana je metoda višekriterijumskog odlučivanja. U Tabeli 5–3 prikazane su vrednosti ulaznih veličina za primenjenu metodu rangiranja.

Tabela 5–3 Vrednosti ulaznih veličina za rangiranje PROMETHEE metodom – proizvodna jedinica

Kriterijumi	PPE Lična i kolektivna zaštitna sredstva	WEM Oprema za rad i uslovi radne okoline	WE Rizici u vezi sa radom	M Menadžment rukovodstvo	OR Organizacija rada	T Obuke
MIN/MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
Težinski koeficijenti	0,15	0,17	0,14	0,20	0,18	0,17
Preferentna funkcija	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Prag preferencije	0,09	0,09	0,08	0,10	0,12	0,12
Minimum	4,15	3,88	4,07	4,12	4,02	4,27
Maksimum	4,48	4,22	4,37	4,46	4,40	4,68
Prosek	4,32	4,03	4,27	4,28	4,24	4,52

Vrednost praga preferencije koji je prikazan u Tabeli 5–3 ima vrednost standardnog odstupanja srednje vrednosti odgovora ispitanika po zadatom kriterijumu.

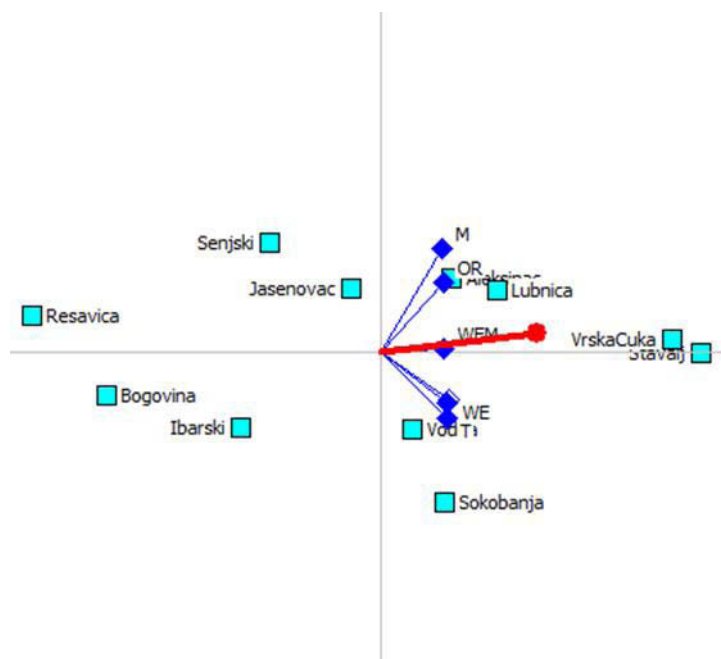
Kao što je već naglašeno, PROMETHEE II metoda bazira se na određivanju neto toka preferencije Phi, koji predstavlja razliku pozitivnog Phi+ i negativnog Phi- toka preferencije za svaku od alternativa. Dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 5–4.

Tabela 5–4 Rezultati kompletnog rangiranja proizvodnih jedinica PROMETHEE II metodom

Rang	Alternative	Phi	Phi+	Phi–
1	Štavalj	0,8274	0,8485	0,0211
2	Vrška Čuka	0,7592	0,7902	0,0310
3	Lubnica	0,3169	0,5042	0,1873
4	Aleksinac	0,2154	0,4549	0,2395
5	Sokobanja	0,1163	0,4308	0,3145
6	Vodna	0,0529	0,3828	0,3299
7	Jasenovac	-0,0613	0,3273	0,3886
8	Senjski	-0,2503	0,2621	0,5124
9	Ibarski	-0,3767	0,1813	0,5580
10	Bogovina	-0,7178	0,0703	0,7881
11	Resavica	-0,8820	0,0175	0,8995

Kao što se u Tabeli 5–4 vidi, najbolje rangirani rudnik, uzimajući u obzir sve kriterijume zajedno, jeste Štavalj, zatim Vrška Čuka, Lubnica i Aleksinac, a nakon toga Sokobanja, dok je najlošije rangirana proizvodna jedinica Resavica.

Na slici 5–2 prikazana je vizuelna prezentacija razmatranih alternativa u dvodimenzionalnoj GAIA ravni. Pouzdanost date grafičke prezentacije treba da bude veća od 60%, a za konkretan slučaj iznosi 91,40%, čime je potvrđena visoka pouzdanost ove grafičke prezentacije (Brans i Mareschal, 2005).

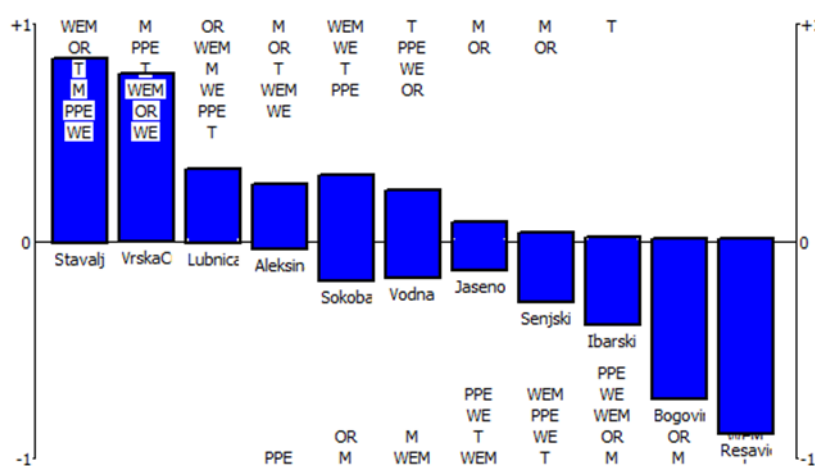


Slika 5–2 GAIA ravan izbora najpovoljnije alternative proizvodne jedinice

Na prikazanoj grafičkoj prezentaciji (Slika 5–2) kriterijumi su označeni osama koje se završavaju paralelogramima. Posmatrajući ose kriterijuma, tj. njihovo rastojanje od koordinatnog početka, uočava se da su kriterijumi WE – *Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom* i WEM – *Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline* najbliži koordinatnom početku, što znači da je njihov uticaj veći u odnosu na ostale kriterijume. To potvrđuje i blizina štapa odluke koji je predstavljen osom sa kružnim završetkom. Štap odluke grafički predstavlja najoptimalnije rešenje po svim kriterijumima. Alternative su predstavljene kvadratima, položaj alternative prema osi kriterijuma predstavlja njenu snagu ili slabost, po analogiji na alternativu koja je bliže osi nekog kriterijuma, najveći uticaj ima taj kriterijum i obrnuto. Za posmatrani slučaj najbolje performanse imaju alternative Vrška Čuka i Štavalj, koje se nalaze neposredno uz štap odluke. Na osnovu Slike 5–2 može se zaključiti da najnepovoljniji položaj imaju alternative Resavica, Bogovina, Ibarski i Senjski rudnik. Kod alternative Aleksinac jasno se uočava veliki uticaj kriterijuma M – *Pitanja koja se odnose na rukovodstvo* i OR – *Pitanja koja se odnose na organizaciju rada*. S obzirom da su radnici ovog rudnika izvođači radova na svim proizvodnim lokacijama, jasno se vidi da je njihov odnos prema BZR direktno zavisao od odnosa rukovodstva proizvodne jedinice u kojoj su angažovani prema BZR.

Na Slici 5–3 prikazan je PROMETHEE duga dijagram za alternativu proizvodna jedinica. Duga dijagram predstavlja grafički prikaz svih rangiranih alternativa prema svakom od kriterijuma. Alternative su predstavljene stubićima a položaj stubića u odnosu na koordinatni početak određuje da li kriterijumi predstavljaju prednost neke alternative ili predstavljaju njen nedostatak. Ako se deo stubića nalazi iznad ose u rasponu od 0 do +1, navedeni kriterijum je prednost te alternative, ako se

nalazi ispod koordinatnog početka, navedeni kriterijum je slabost te alternative.



Slika 5–3 PROMETHEE duga dijagram za alternativu proizvodna jedinica

Prikazan grafik na Slici 5–3 ukazuje da su u rudniku Štavalj svi aspekti BZR pozitivno rangirani, radnici u ovom rudniku pridaju veliki značaj BZR. I u rudnicima Vrška Čuka i Lubnica svi su navedeni kriterijumi pozitivno orijentisani i radnici u ovoj proizvodnoj jedinici pridaju veliki značaj BZR. Rudnici Štavalj i Lubnica najveći su značaj dali kriterijumima OR – *Pitanja koja se odnose na organizaciju rada* i WEM – *Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline*. Rudnik Vrška Čuka najbolje je ocenio kriterijum M – *Pitanja koja se odnose na rukovodstvo*, što ukazuje da rudnik Vrška Čuka gaji kvalitetniji odnos radnika i rukovodstva. Radnici koji po svim kriterijumima imaju lošu percepciju BZR zaposleni su u Resavici i Bogovini. Oba rudnika su kao svoju slabost izdvojila OR – *Pitanja koja se odnose na organizaciju rada* i M – *Pitanja koja se odnose na rukovodstvo*, kao i Ibarski rudnik, što govori o evidentnom lošem odnosu rukovodstva prema BZR koji se prepoznaje i prenosi i na ostale zaposlene.

Kako bi se rezultati dobijeni višekriterijumskom analizom verifikovali, izvršeno je upoređivanje dobijenih rezultata sa indeksnim pokazateljem broja povreda, koji predstavlja broj povreda prema broju radnika u posmatranih 11 proizvodnih jedinica, što je prikazano u Tabeli 5–5.

Tabela 5–5 Uporedno rangiranje proizvodnih jedinica

Alternative	Rangiranje na osnovu PROMETHEE II metod	Rangiranje na osnovu broja povreda prema broju radnika	Vrednost indeksnog pokazatelja broj povrede prema broju radnika
Štavalj	1	5	0,0363
Vrška Čuka	2	1	0,0382
Lubnica	3	9	0,0580
Aleksinac	4	11	0,0801
Sokobanja	5	10	0,0913
Vodna	6	6	0,1000
Jasenovac	7	4	0,1000
Senjski	8	7	0,1000
Ibarski	9	2	0,1802
Bogovina	10	3	0,1963
Resavica	11	8	0,3003

Iz prikazane Tabele 5–5 može se zaključiti da ne postoji poklapanje između rangiranja na osnovu PROMETHEE II metode i indeksnih pokazatelja povreda koje su se dogodile u organizacionim jedinicama. Takođe, nakon proračuna Spirmanovog koeficijenta korelacije čija je vrednost -0,109, dobijeni rezultati ukazuju da ne postoji korelacija između rangiranja na osnovu PROMETHEE II metode i rangiranja na osnovu indeksnog pokazatelja.

Rangiranje na osnovu indeksnog pokazatelja približno se poklapa samo za dve alternative: Vrška Čuka se rangiranjem na osnovu PROMETHEE II metode nalazi na 2. mestu, dok se na osnovu indeksnog pokazatelja nalazi na 1. mestu i rudnik Vodna koji se na osnovu oba pokazatelja nalazi na 6. mestu.

5.2 Rangiranje na osnovu kvalifikacije radnika

Za rangiranje na osnovu kvalifikacije radnika korišćena je ista metodologija, osnovni ulazni parametri sprovedene analize prikazani su u Tabeli 5–6.

Tabela 5–6 Vrednosti ulaznih veličina za rangiranje PROMETHEE metodom – kvalifikacija radnika

Kriterijumi	PPE Lična i kolektivna zaštitna sredstva	WEM Oprema za rad i uslovi radne okoline	WE Rizici u vezi sa radom	M Menadžment rukovodstvo	OR Organizacija rada	T Obuke
MIN/MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
Težinski koeficijenti	0,20	0,17	0,15	0,17	0,17	0,14
Preferentna funkcija	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Prag preferencije	0,08	0,11	0,37	0,33	0,05	0,09
Minimum	4,24	3,94	3,37	4,03	4,18	4,41
Maksimum	4,43	4,25	4,35	5,00	4,33	4,67
Prosek	4,35	4,11	4,10	4,37	4,26	4,56

Predstavljeni podaci u Tabeli 5–6 ukazuju da je za rangiranje na osnovu kvalifikacije radnika korišćena V-shape funkcija preferencije, kao i u analizi u tački 5.1. Vrednost praga preferencije ima vrednost standardnog odsupanja srednje vrednosti po zadatom kriterijumu.

Rezultati kompletnog rangiranja PROMETHEE II metodom prikazano je u Tabeli 5–7.

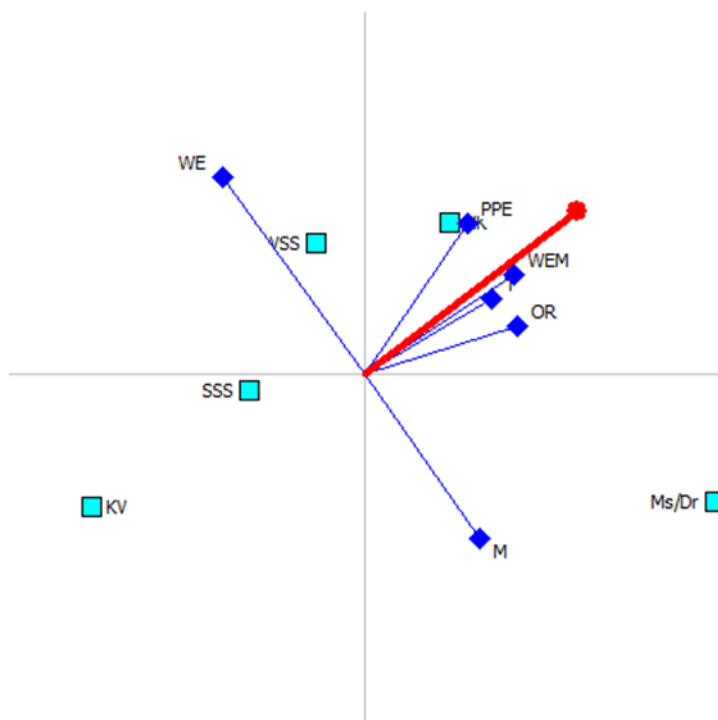
Tabela 5–7 Rezultati kompletnog rangiranja prema kvalifikaciji radnika PROMETHEE II metodom

Rang	Alternative	Phi	Phi+	Phi-
1	Ms/Dr	0,2025	0,3200	0,1174
2	NK	0,1908	0,2269	0,0361
3	VSS	0,0128	0,1354	0,1226
4	SSS	-0,1016	0,0797	0,1813
5	KV	-0,3045	0,0357	0,3402

Na osnovu izvršenog kompletnog rangiranja PROMETHEE II metodom, prikazanog u Tabeli 5–7, uzimajući u obzir sve kriterijume zajedno, kao najbolja alternativa izdvojila se alternativa Ms/Dr (Magistratura i Doktorat), nakon koje sledi NK (nekvalifikovana radna snaga) koja je takođe pokazala visoku svest u odnosu na BZR. Nakon toga se, na osnovu obrazovanja, proporcionalno smanjuje i

rang, pa se radnici sa VSS (visoka stručna sprema) nalaze na 3. mestu, radnici SSS (srednja stručna sprema) su na 4. mestu, a najlošije rangirani su KV (kvalifikovani) radnici.

Grafički prikaz alternativa u GAIA ravani na Slici 5–4, takođe ima pouzdanost veću od 60%, tačnije, ista iznosi 93,00%.

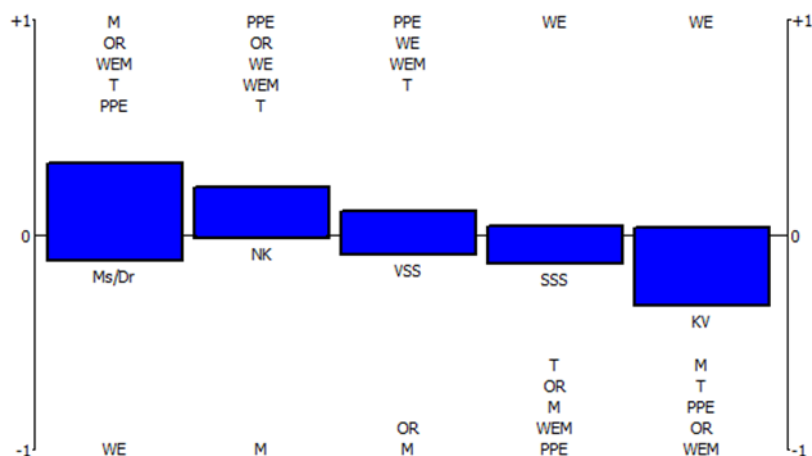


Slika 5–4 GAIA ravan izbora najpovoljnije alternative prema kvalifikaciji

Sa Slike 5–4 uočava se da, u odnosu na štap odluke, najbolja alternativa jeste Ms/Dr (Magistratura i Doktorat). Nakon koje slede NK (nekvalifikovani radnici), ovo je neočekivani rezultat jer radnici manjeg stepena obrazovanja ne prepoznaju BZR na pravi način. Ovakvo rešenje bi se delimično moglo objasniti činjenicom da je poslednjih godina posebno obraćana pažnja na ovu kategoriju radnika u smislu obuka i treninga, pa je njihova svest o BZR visoka. Sagledavajući ose kriterijuma, uočava se da su najbliže ose ovoj alternativni PPE – *Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva* i WE – *Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*.

Najlošije rangirana alternativa je KV (kvalifikovani radnici) a osim nje, od centra koordinatnog sistema udaljena je i alternativa VSS (visoka stručna sprema) kojoj je najbliži kriterijum WE – *Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*. Alternativa SSS (srednja stručna sprema) pozicionirana je bliže koordinatnom početku, ali se nalazi dislocirano u odnosu na ose kriterijuma.

Na Slici 5–5 prikazan je PROMETHEE duga dijagram za alternativu kvalifikacija radnika. Radnici su u odnosu na ovu alternativu pokazali vrlo raznolik stav. Kriterijum koji se izdvojio kao prednost u četiri alternative jeste WE – *Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*. Ovaj kriterijum nije prepoznat kao prednost jedino u kategoriji najobrazovanijih radnika iz razloga što isti nisu na takvim radnim pozicijama koje su izložene svakodnevnim rizicima.



Slika 5–5 PROMETHEE duga dijagram za alternativu kvalifikacija radnika

Grafički prikaz na Slici 5–5 prikazuje pozitivno i negativno orijentisane kriterijume za svaku alternativu. Najbolje rangirana alternativa je Ms/Dr (magistratura i doktorat). Kod ove alterantive svi kriterijumi su pozitivno orijentisani izuzev WE – *Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*. Sledeća alternativa su NK radnici i kod ove alternative uočava se samo jedan negativno orijentisan kriterijum M – *Pitanja koja se odnose na rukovodstvo*. Za alternativu VSS su kriterijumi OR i M negativno orijentisani, što ukazuje da postoji loša komunikacija između najviših organizacionih struktura u rudnicima. Alternativa KV – kvalifikovani radnici je, izuzev WE – *Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*, sve ostale kriterijume negativno klasifikovala.

Uporedno rangiranje alternativa na osnovu PROMETHEE metode i na osnovu indeksnih pokazatelja prikazano je u Tabeli 5–8.

Tabela 5–8 Uporedno rangiranje alternativa kvalifikacija radnika

Alternative	Rangiranje na osnovu PROMETHEE II metod	Rangiranje na osnovu broja povreda prema broju radnika	Vrednost indeksnog pokazatelja
Ms/Dr	1	1	0.0000
NK	2	4	1.4180
VSS	3	2	0.0745
SSS	4	3	0.2740
KV	5	5	1.4220

Uporedni prikaz rangiranja, Tabela 5–8, najbolje rangirane alternative doktora nauka i master, u ovoj kategoriji nema povreda i ona je, na osnovu indeksnog pokazatelja, najbolje rangirana, tj. prva. Naredna alternativa su NK radnici, prikazani rang se ne poklapa se sa indeksnim pokazateljem dobijenim na osnovu povreda na radu, na osnovu kog je ova alternativa rangirana kao 4. Sledeća alternativa je VSS u kojoj postoji mali broj povreda. U kategoriji SSS postoji značajan broj povreda i ona percipira BZR slično kao i KV radnici. Ovakav rezultat je i očekivan jer je ova kategorija direktno odgovorna za primenu i sprovođenje mera BZR u rudniku. Na osnovu obe metode najlošije rangirana je kategorija KV (kvalifikovani radnici) u kojoj se dogodi najviše povreda, a i svest o BZR nije visoka. Svakako postoji povezanost između kvalifikacije radnika i povreda na radu i ovaj faktor bi trebalo razmatrati u daljoj analizi.

5.3 Rangiranje na osnovu godina starosti

Kompletno rangiranje uz primenu PROMETHEE II metode korišćeno je i za rangiranje na osnovu alternative godine starosti. Ulazni podaci prikazani su u Tabeli 5–9.

Tabela 5–9 Vrednosti ulaznih veličina za rangiranje PROMETHEE metodom – godine starosti.

Kriterijumi	PPE Lična i kolektivna zaštitna sredstva	WEM Oprema za rad i uslovi radne okoline	WE Rizici u vezi sa radom	M Menadžment rukovodstvo	OR Organizacija rada	T Obuke
MIN/MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX
Težinski koeficijenti	0,17	0,15	0,19	0,14	0,14	0,20
Preferentna funkcija	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Prag preferencije	0,14	0,32	0,16	0,10	0,11	0,07
Minimum	4,19	3,94	4,12	4,18	4,09	4,45
Maksimum	4,58	4,80	4,54	4,47	4,42	4,63
Prosek	433	4,25	4,26	4,30	4,28	4,52

Podaci iz Tabele 5–9 ukazuju da je i u ovom slučaju korišćena V-shape funkcija preferencije a prag preferencije je određen kao standardno odstupanje srednje vrednosti prema svakom od kriterijuma.

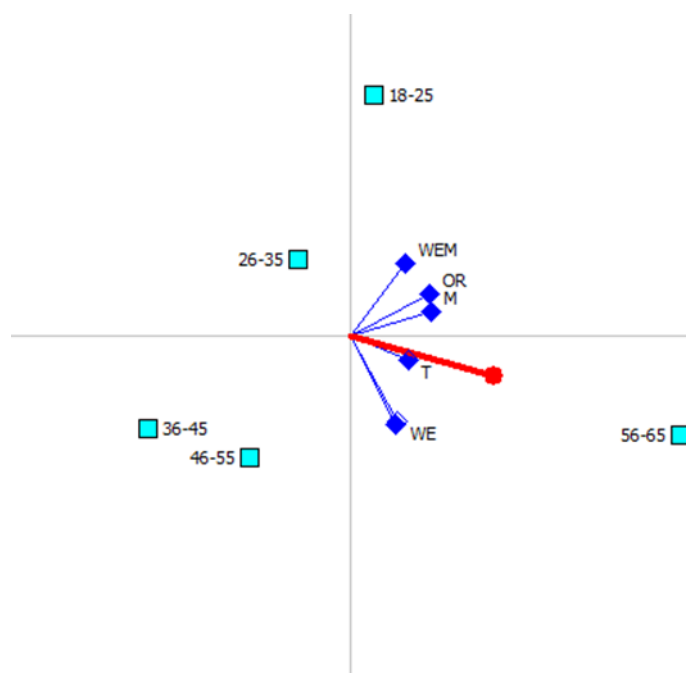
Kompletno rangiranje grupa radnika u odnosu na godine starosti višekriterijumskom PROMETHEE II metodom prikazano je u Tabeli 5–10.

Tabela 5–10 Rezultati kompletnog rangiranja prema godinama starosti radnika PROMETHEE II metodom

Rang	Alternative	Phi	Phi+	Phi-
1	56–65	0,9128	0,9499	0,0371
2	18–25	-0,1098	0,3305	0,4403
3	26–35	-0,1883	0,2903	0,4786
4	46–55	-0,1983	0,2902	0,4885
5	36–45	-0,4164	0,1781	0,5945

Rezultati rangiranja iz Tabele 5–10, uzimajući u obzir sve kriterijume zajedno, pokazuju da je najbolje rangirana grupa radnika najstarije populacije (56–65 godina starosti), na drugom mestu nalazi se grupa radnika 18–25 godina, nakon čega je na trećem mestu opet nešto mlađa populacija radnika 26–35 godina starosti, koja je po opadajućem redosledu zamenila mesto sa lošije rangiranom grupom radnika starosti 46–55 godina. Najlošije je rangirana grupa radnika starosti 36–45 godina.

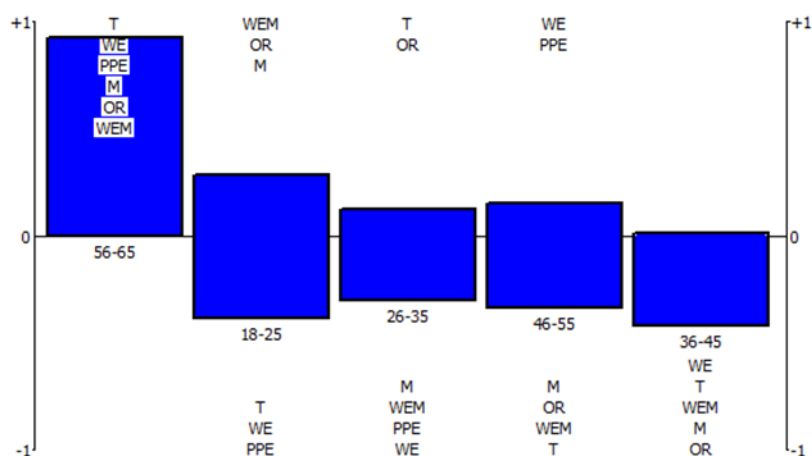
Grafički prikaz alternativa u GAIA ravni prikazan je na Slici 5–6. Pouzdanost je veća od 60%, odnosno ista iznosi 90,50%.



Slika 5–6 GAIA ravan izbora najpovoljnije alternative prema godinama starosti radnika

Grafik na Slici 5–6 ukazuje da alternativa 56–65 godina starosti u odnosu na štap odluke ima najpovoljniji položaj, ista se nalazi na podjednakoj udaljenosti od svih kriterijuma, izuzev kriterijuma WEM – *Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline*. Ovaj kriterijum ima uticaj na mlađu populaciju radnika, tj. na alternative 18–25 i 26–35 godina, koje pridaju veći značaj opremi za rad i radnoj okolini. Kriterijum T – *Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa BZR* ima najveći uticaj na rangiranje i isti se nalazi blizu koordinatnog početka i štapa odluke. Najlošije rangirane su alternative populacije srednjih godina (36–45 i 46–55 godina starosti).

Na Slici 5–7 prikazani su grafički rezultati rangiranja uz pomoć PROMETHEE duga dijagrama za alternativu godine starosti.



Slika 5–7 PROMETHEE duga dijagram za alternativu godine starosti radnika

Slika 5–7 ukazuje da su najbolje rangirana alternativa radnici starosne grupe 56–65 godina starosti, koji su sve razmatrane kriterijume pozitivno ocenili. Nasuprot njima su radnici starosne grupe 36–45 koji su sve kriterijume okarakterisali negativno.

Uparedna tabela rangiranja na osnovu PROMETHEE II metode i indeksnog pokazatelja povreda prikazana je u Tabeli 5–11.

Tabela 5–11 Uparedno rangiranje prema godinama starosti radnika

Alternative	Rangiranje na osnovu PROMETHEE II metoda	Rangiranje na osnovu broja povreda prema broju radnika	Vrednost indeksnog pokazatelja
56–65	1	1	0,061
18–25	2	3	0,103
26–35	3	2	0,074
46–55	4	4	0,156
36–45	5	5	0,171

Iz prikazane Tabele 5–11 može se zaključiti da se rangiranje na osnovu datih pokazatelja podudara. Na osnovu obe metode najbolje rangirani su najstariji radnici, odnosno u ovoj kategoriji se dogodi najmanje povreda. Svakako da je ovakav rezultat direktno vezan za iskustvo, ali i za činjenicu da su radnici kojima je ostalo malo vremena do odlaska u penziju raspoređeni na manje rizična radna mesta. Nakon najstarijih slede dve kategorije radnika mlađe populacije, pri čemu je PROMETHEE II na 2. mesto postavio najmlađe zaposlene, dok su oni po indeksnom pokazatelju povreda na 3. mestu. Radnici koji se nakon završetka škole zapošljavaju u rudnicima su obrazovani, tj. većina je završila trogodišnju ili četvorogodišnju srednju školu i rade na pozicijama kao što su KV i SSS, pa je i njihov odnos prema BZR daleko bolji, kao i razumevanje obuka i procedura. Najlošije rangirani su zaposleni starosti 36–45 godina i u ovoj kategoriji su i povrede najučestalije. Vrlo često su oni nosioci procesa rada jer se, na osnovu svog radnog iskustva i fizičke spremnosti, nalaze na pozicijama koje su izložene riziku.

PROMETHEE II metoda je u odnosu na posmatrani problem primenjena sa aspekta rangiranja proizvodnih jedinica, kvalifikacije radnika i starosnih grupa radnika. U odnosu na ove alternative proučavano je mišljenje radnika o BZR na osnovu pet faktora. Faktori su definisani na osnovu grupa pitanja iz sprovedenog upitnika (tačka 3.3.) posebno formulisanog za ovo istraživanje. Rangiranje po proizvodnim jedinicama pokazalo je da su radnici u rudnicima u kojima se dogodi veliki broj povreda ocenili ponuđene kriterijume. U odnosu na kvalifikaciju radnika najbolje rangirani su bili doktori nauka i master, nakon kojih slede nekvalifikovani radnici koji su na osnovu broja povreda rangirani kao kategorija sa najvećim indeksnim pokazateljem. U ostalim kategorijama, na osnovu kvalifikacije radnika, obe primenjene metode se poklapaju po redosledu rangiranja. Najbolje poklapanje je u odnosu na starosnu strukturu radnika i za ove alternative PROMETHEE II metoda i indeksni pokazatelji su indetično rangirali kategorije. Najbolje rangirani jesu najstariji radnici, dok se najmlađa populacija nalazi na drugom mestu, a i po analogiji se u obema kategorijama dogodi mali broj povreda. Najlošije rangirana je grupa radnika starosti 36–45 godina.

U odnosu na gore sprovedeno istraživanje može se zaključiti da je višekriterijumska analiza kompletnog rangiranja PROMETHEE II izdvojila proizvodne jedinice Štavaj, Vršku Čuku i Lubnicu kao one u kojima su performanse BZR najbolje. Radnike bez kvalifikacije, najstariju i najmlađu populaciju u rudniku izdvojila je kao one koji najbolje prepoznaju BZR. Najbolje poklapanje pri rangiranju i uporednoj analizi postignuto je prema alternativama godine starosti.

6 RAZVOJ MODELA ZA PREDVIĐANJE POVREDA U RUDARSTVU

Jedan od najvećih problema vezanih za bezbednost i zdravlje na radu u rudarskoj industriji jesu povrede na radu. Ova industrijska grana je, pored građevinske industrije, poznata kao ona sa najvećim brojem povreda. Postoji više modela koji opisuju problem povređivanja i mere koje je potrebno sprovesti da bi se broj povreda smanjio. Uticajni faktori na povrede na radu ipak nisu jasno definisani. Težnja doktorske disertacije jeste da ove faktore izdvoji i da na osnovu njih napravi model kojim se uspešno može predvideti povreda na radu.

Kako bi se razvio pouzdan model za predviđanje povreda na radu, koriste se veštačke neuronske mreže. Akcenat je zapravo na ulaznim veličinama, odnosno na izdvajanju onih uticajnih faktora ili grupe uticajnih faktora, uz pomoć kojih će se sa najmanjom greškom predikovati povrede na radu. Za izdvajanje ulaznih veličina koje na najbolji način opisuju izlaz prilikom kreiranja mreže, urađena je analiza osetljivosti. Ova metoda određuje najuticajnije ulazne veličine na predikovani izlaz, na osnovu kojih se mogu formirati nove grupe pitanja.

Pored selekcija uticajnih ulaznih veličina metodom analize osetljivosti, izvršeno je smanjenje broja ulaznih veličina uz pomoć fazi logike. Primenom min–max kompozicije, pitanja u okviru svake grupe pitanja, prikazano u tački 3.3., sabijena su u jednu veličinu sa prefiksom *fazi*, nakon čega je ispitana tačnost predikcije veštačke neuronske mreže čiji su ulazi uključivali defazifikovane fazi veličine.

Kao što je već rečeno, izdvojeno je više grupa sa različitim ulaznim parametrima na osnovu kojih je modelirano više neuronskih mreža. Opisane su i dalje razmatrane samo one koje su dale najbolje rezultate za prognozu.

6.1 Veštačke neuronske mreže za predviđanje

Za potrebe izrade modela koristimo programski paket *The Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), verziju 17.00. SPSS je vrlo moćan paket koji mnogi istraživači koriste za obradu velikog broja podataka.

Za problem predikcije vrlo često se koriste dve mreže ponuđene u okviru paketa SPSS, a to su višeslojni perceptron (*engl. Multilayer Perceptron*), (MLP) i neuronske mreže sa radijalnom bazičnom funkcijom (*engl. Radial Basis Function*), (RBF). Obe mreže, prema vrsti arhitekture, pripadaju grupi veštačkih neuronskih mreža koje se nazivaju *feed-forward*, tj. mreže sa prostiranjem signala unapred, što zapravo znači da se signal prostire u jednom pravcu – od ulaznih slojeva ka izlaznim. Pored pomenutih sličnosti, postoje i značajne razlike između ovih dveju vrsta mreža: RBF mreže imaju jednostavniju strukturu i proces obučavanja istih je mnogo jednostavniji nego kod MLP mreža. MLP mreža koristi nadgledano učenje, dok je kod RBF u primeni nenadgledano učenje sloj po sloj. RBF mreže omogućavaju veoma dobru generalizaciju problema.

U daljem istraživanju ispitana je mogućnost upotrebe oba pomenuta tipa neuronskih mreža.

6.2 Izbor veštačke neuronske mreže

Kao što je već naznačeno, u daljoj analizi koristimo dve vrste veštačkih neuronskih mreža:

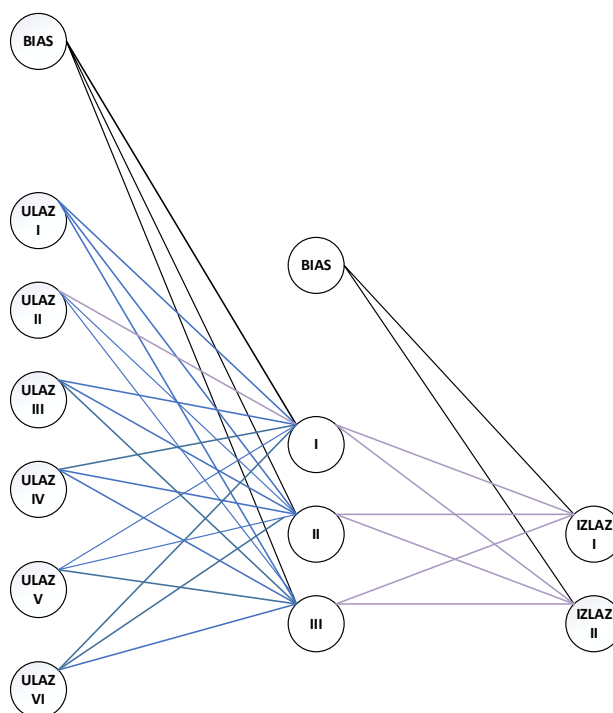
- Višeslojni perceptron – MLP,
- RBF neuronske mreže – RBF.

Neuronske mreže se definišu na osnovu svojih karakteristika opisanih u tački 3.9. U daljem tekstu karakteristike mreže opisujemo samo za primenjene ANN.

Prilikom kreiranja modela potrebno je definisati broj podataka koji će mreža koristiti za trening ili validaciju. U sprovedenom istraživanju ukupno je prikupljeno 1151 ulaznih upitnika, svaki od njih izvorno sadrži 31 ulaznu veličinu, a broj ulaznih veličina se menja prilikom izrade modela. Izlazna veličina zapravo predstavlja jedan izlazni podatak koji ima formu DA (dogodiće se povreda) ili NE (neće se dogoditi povreda). Kako bi se modelirao dati problem, ukupno je za izradu mreže izdvojeno 900 semplova, dok je za nezavisnu proveru datog modela određen 251 sempl. Nezavisna provera modela podrazumeva određivanje greške prilikom predikcije izlaza kreirane mreže koja sada koristi podatke sa kojima se nije susretala u fazi učenja.

Višeslojni perceptron – MLP

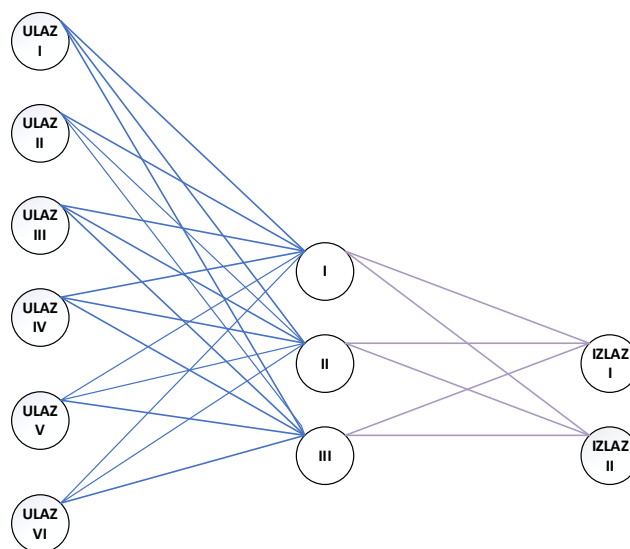
Na slici 6–1 prikazana je arhitektura MLP neuronske mreže. Prikazana MLP mreža sastoji se od ulaznog sloja sa pet neurona i bias neuronom, skrivenog sloja koji sadrži tri neurona i izlaznog sloja koji sadrži dva neurona.



Slika 6–1 Arhitektura MLP neuronske mreže

Na Slici 6–1 vidi se povezanost između neurona. Neuroni u okviru slojeva nisu međusobno povezani i jasno se uočava smer kretanja signala. Različite jačine signala grafički su predstavljene linijama različite debljine. Prilikom generisanja mreže postoji mogućnost da program sam određuje parametre mreže, tj. aktivacionu funkciju, način izračunavanja greške, kao i broj neurona u skrivenom sloju.

Osnovna karakteristika RBF mreže jeste da u svom skrivenom sloju, kao aktivacionu funkciju koristi radijalnu funkciju, najčešće Gausovu funkciju (Anderson i McNelli, 1992). Na slici 6–2 prikazana je arhitektura RBF veštačke neuronske mreže.



Slika 6–2 Arhitektura RBF veštačke neuronske mreže

Slika 6–2 prikazuje postojanje samo jednog skrivenog sloja u kome se, u ovom slučaju, nalaze tri neurona. Ulazni sloj se sastoji od pet neurona, izlazni sloj od dva. Svi neuroni povezani su sa neuronima u susednom sloju, dok njihova međusobna povezanost nije moguća. Broj neurona u skrivenom sloju može da generiše sam softverski paket uzimajući u obzir najmanju moguću grešku prilikom testiranja mreže. Softver može samostalno da određuje i odnos podataka koji će se koristiti za trening mreže i validaciju. Ovaj odnos je najčešće takav da se 70% podataka koristi za trening a preostalih 30% podataka za validaciju modela.

Osnovni parametri obe razmatrane veštačke neuronske mreže prikazani su u Tabeli 6–1.

Tabela 6–1 Osnovni parametri razmatranih veštačkih neuronskih mreža

Naziv	MLP mreža	RBF mreža
Broj ulaznih veličina	31–4	31
Broj izlaznih veličina	1	1
Broj ulazno/izlaznih parova za trening/test	70%	30%
Broj skrivenih slojeva	1	1
Broj neurona u skrivenom sloju	6–10	6–10
Vrsta aktivacione funkcije	Softmax	Softmax
Vrsta prelazne funkcije	Tanges hiperbolična	Identity
Način izračunavanja greške	Međuentropijska	Srednja kvadratna greška

Nakon definisanja osnovnih parametara prikazanih u Tabeli 6–1, mreža otpočinje proces treninga, što predstavlja najbitniji proces prilikom izrade modela. U toku ovog procesa mreža sukcesivno menja težine ili težinske koeficijente kako bi razlika između dobijene i željene vrednosti izlaza bila što manja. Kada se obučavanje završi, težinski koeficijenti se zaključavaju i nova mreža se može koristiti za rad sa potpuno nepoznatim podacima. Prilikom realizacije procesa treniranja i testiranja, mreža svaki put dobija različitu raspodelu setova ulaza i izlaza u trening i test fazi. Na osnovu redosleda setova mreža podešava sve ostale parametre, tako da, iako koristimo iste vrednosti ulaznih setova, svaka neuronska mreža do zaključavanja težinskih koeficijenata daje različite izlazne veličine.

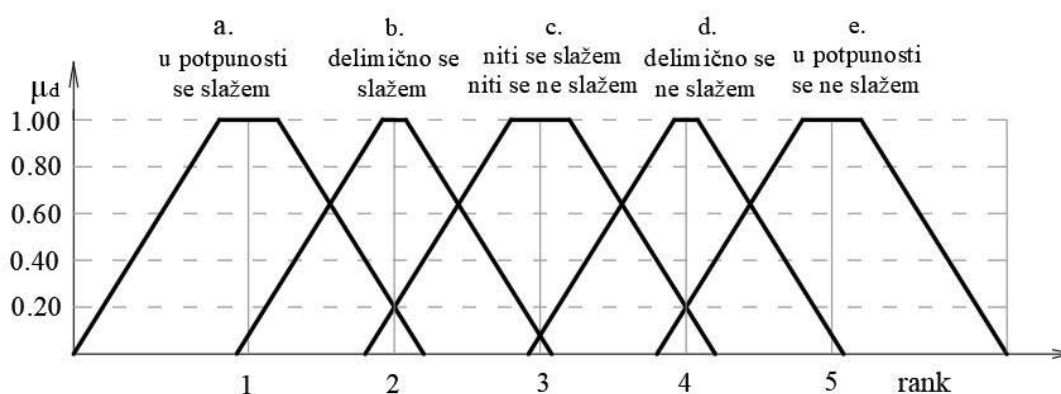
Za modeliranje su korišćeni različiti ulazni setovi podataka, a rezultati ovih istraživanja prikazani su u tačkama 3 i 4.

6.3 Fazifikacija ulaznih parametara

Teorija fazi logike i fazi skupova višestruko je primenljiva za podatke koji nisu prikazani kao brožane vrednosti već opisno kao lingvističke promenljive. Takvi podaci prikupljeni su uz pomoć upitnika sprovedenog u ovom istraživanju. Radnici su odgovore na pitanja mogli da daju u sledećem obliku: *u potpunosti se slažem, delimično se slažem, niti se slažem niti se ne slažem, delimično se ne slažem i u potpunosti se ne slažem.*

Da bi se dobio manji broj ulaznih veličina, napravljena je numerička ulazna veličina nazvana *fazi* izdvojena za sve grupe pitanja. Fazifikacija je izvršena za sledećih 6 grupa pitanja: III grupu pitanja (*Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva*) koja sadrži pet pitanja, IV grupu (*Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline*) sačinjenu od četiri pitanja, V grupu (*Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*) koja sadrži pet pitanja, VI grupu (*Pitanja koja se odnose na rukovodstvo*) koja takođe sadrži pet pitanja, VII grupu (*Pitanja koja se odnose na organizaciju rada*) sačinjenu od tri pitanja, VIII grupu (*Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa BZR*) koja sadrži tri pitanja. Pojedina pitanja u anketi sadržala su negativno orijentisane odgovore, pa je bilo neophodno da se odgovori ispitanika za ova pitanja rotiraju pre fazifikacije kako se ne bi dobio oprečan rezultat.

Fazi skup prikazan na Slici 6–3 definisan je na osnovu klasa koje su date u upitniku na osnovu petostepene Likertove skale. Izdvojeno je pet klasa, iz svih pet je usvojen trapezni oblik fazi funkcije.



Slika 6–3 Izgled fazi skupa

Sa slike je moguće definisati funkcije pripadnosti za prikazanih pet klasa, za fazi skup $a - u$ potpuno se slažem funkcija pripadnosti μ_a je definisana:

$$\mu_a = (1/1; 2/0,2; 3/0; 4/0; 5/0),$$

po analogiji, definisane su i ostale funkcije pripadnosti:

$$\mu_b = (1/0,08; 2/1; 3/0,08; 4/0; 5/0) \text{ za klasu } b - \text{delimično se slažem},$$

$$\mu_c = (1/0; 2/0,2; 3/1; 4/0,2; 5/0) \text{ za klasu } c - \text{niti se slažem niti se ne slažem},$$

$$\mu_d = (1/0; 2/0; 3/0,08; 4/1; 5/0,08) \text{ za klasu } d - \text{delimično se ne slažem},$$

$$\mu_e = (1/0; 2/0; 3/0; 4/0,2; 5/1) \text{ za klasu } e - \text{u potpunosti se ne slažem}.$$

Nakon definisanja vrednosti funkcije pripadnosti za zadatih pet klasa svakog fazi skupa, pristupa se izradi fazi kompozicije sa ciljem dobijanja vrednosti nove fazi ulazne veličine.

S obzirom da u datim relacijama treba opisati negativan fenomen kao što je povreda na radu, preporuka je da se koristi *min-max kompozicija*. Predložena kompozicija zapravo znači da će rezultat biti izdvojen kao najlošiji od najboljih ishoda (Kundu, 1998).

Prvi korak je određivanje maksimalnog broja kombinacija za sve zadate skupove u okviru jedne grupe, nakon čega se analiziraju vrednosti kombinacija koje su različite od nule. Naredni korak podrazumeva da se za dobijene kombinacije odredi maksimum vrednosti, nakon čega se kombinacije svrstavaju prema ishodima i za svaki ishod traži minimalna vrednost (Petrović, 2014).

Po ovoj metodologiji izvršena je sinteza šest grupa pitanja u šest različitih fazi numeričkih veličina. Po analogiji, novokreirane ulazne veličine dobile su sledeće nazive:

- fazi III (Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva),
- fazi IV (Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline),
- fazi V (Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom),
- fazi VI (Pitanja koja se odnose na rukovodstvo),
- fazi VII (Pitanja koja se odnose na organizaciju rada),
- fazi VIII (Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa BZR).

6.4 Uspešnosti klasifikacije modela

Tačnost dobijenog rezultata ili uspešnost modela za predikciju povreda na radu određuje se na osnovu veličine greške. Priroda istraživanog problema je takva da se ne određuje egzaktna vrednost, već kreirani model ima zadatak da klasifikuje izlaz u dve kategorije. Pošto postoje dve klase, data klasifikacija definiše se kao binarna. Prva klasa je DA (radnik će doživeti povredu), druga klasa je NE (neće doći do povređivanja radnika). Na osnovu izloženog, uspešnost predloženog modela može se opisati na sledeći način:

Ukupna uspešnost modela podrazumeva uspešnost odabrane veštačke mreže kao klasifikatora, što predočava koliko je dobijenih izlaznih podataka model adekvatno razvrstao u pomenute dve grupe. Data klasifikacija se može predstaviti matricama zabune (*engl. confusion matrix*), što je prikazano na Slici 6–4.

Prava veličina	Pozitivna	Prava pozitivna	Lažna pozitivna
	Negativna	Lažna negativna	Prava negativna
		Pozitivna	Negativna
		Predviđena veličina	

Slika 6–4 Prikaz matrice zabune

Matrica zabune prikazana na Slici 6–4 definiše broj klasifikovanih: lažno pozitivnih (FP), pravo pozitivnih (TP), lažno negativnih (FN) i stvarno negativnih (TN) rezultata primenjenog klasifikatora. Za model razvijen na bazi ANN uspešnost je definisana trima matricama: *i*) u fazi obučavanja, *ii*) u fazi testiranja, *iii*) zbirnom matricom koja podrazumeva obe faze. U dosadašnjim istraživanjima koja se odnose na predviđanje povreda na radu, uz pomoć sličnih modela se zapravo i prikazuju rezultati zbirnih matrica. Kakhki je, istražujući mogućnost predikcije povreda na radu u agroindustriji pomoću modela zasnovanih na tehnikama mašinskog učenja, utvrdio da njihova tačnost iznosi 92–98% (Kakhki et al., 2019). Neki naučnici su, proučavajući povrede u Italiji, došli do rezultata čija je greška bila 80–89% (Ciarapica i Giacchetta, 2009). Rezultati istraživanja prilikom korišćenja ANN iznose 94% (Goha et al., 2018).

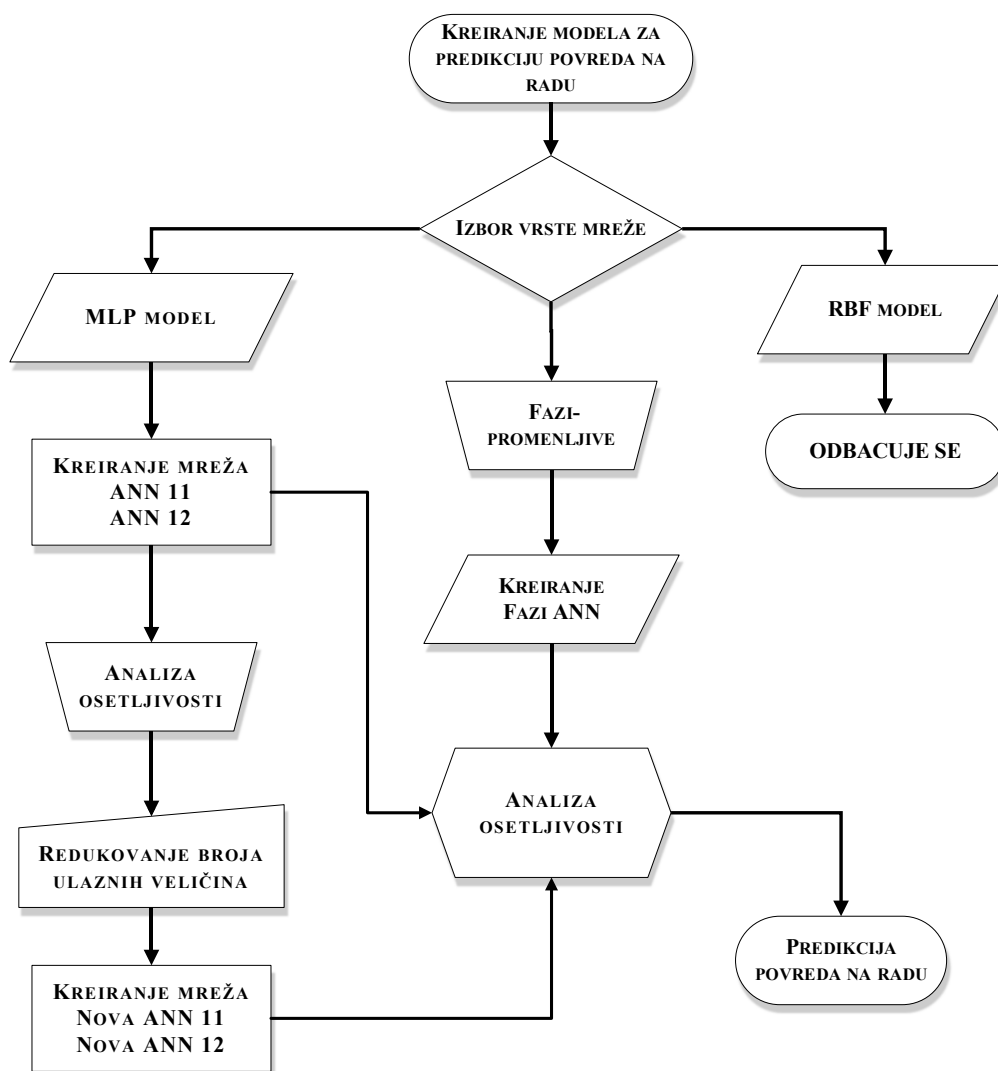
Uspešnost mreže se, po analogiji, može oceniti na osnovu klasifikacije izlaznih veličina pri radu sa podacima sa kojima se model nije sretao. Naime, prilikom kreiranja modela iz ukupnog seta podataka (koji iznosi 1051), izdvojen je deo koji model nije koristio prilikom kreiranja optimalne mreže. Greška modela može se definisati na sledeći način: koliko je izlaznih podataka model pravilno razvrstao u kategorije – DA (dogodila se povreda) i NE (nije se dogodila povreda). U ovoj fazi se modelu daju samo ulazni podaci a izlaze predikuje samostalno. Ova analiza je bitna sa aspekta kasnije primene modela u praksi. Naime, u praksi je daleko bitnije da model prepozna one kategorije radnika kojima se dogodila povreda i svrsta ih u odgovarajuću grupu, nego da u istu grupu svrsta i one radnike kojima se povreda nije dogodila. Zapravo, mnogo je rizičnije da pogrešno predikovanu povredu na radu mreža svrsta u kategoriju NE (*nije se dogodila povreda*), a da se ona ipak dogodi, nego da neki slučaj koji jeste rizičan model ne oceni kao dovoljno rizičan i svrsta ga u kategoriju NE (*nije se dogodila povreda*).

Vrlo često se merenje performansi binarnih klasifikatora ocenjuje uz pomoć površine ispod ROC krive (*engl. Receiver Operating Characteristic*). ROC kriva predstavlja grafički prikaz statističke tehnike kojom se utvrđuje granična vrednost za najbolji odnos specifičnosti i senzitivnosti. Njena vrednost je u opsegu 0–1. Vrednost 0,7–0,8 je prihvatljiva, 0,8–0,9 veoma je dobra, a sve vrednosti iznad 0,9 smatraju se odličnim.

7 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Predviđanje broja povreda na radu koje se mogu dogoditi u nekom preduzeću predstavlja vrlo značajnu informaciju za sektor BZR. Ovaj podatak omogućava poslodavcu da prepozna kritične grupe radnika ili pojedince, ali i da blagovremeno sprovede preventivne mere kako do povređivanja ne bi došlo. Jedinstveni model za predviđanje povreda na radu ne postoji, ali su u literaturi određene promenljive izdvojene kao uticajni faktori, što je opisano u tački 2. Prilikom kreiranja upitnika za prukupljanje ulaznih podataka, ovi uticajni faktori uzeti su u obzir.

Zadatak projektovanog modela jeste da sa što većom uspešnošću, za selektovane ulazne parametre, predikuje da li će se povreda dogoditi ili ne. Potencijalni ulazni parametri opisani su u tački 4, ali, pored različitih ulaznih parametara u toku kreiranja modela, ispitivana je i uspešnost modela sa različitim vrstama veštačkih neuronskih mreža, različitim arhitekturama mreže, različitim brojevima neurona u skrivenom sloju i brojevima skrivenih slojeva, ispitivane su vrste aktivacionih funkcija i sl. Plan izrade modela prikazan je na Slici 7–1.



Slika 7–1 Dijagram izrade modela za predikciju povreda na radu u rudarstvu

7.1 Izbor vrste mreže

U prvoj fazi istraživanja kreirane su dve različite mreže, MLP i RBF. Obe mreže koristile su isti broj ulaznih veličina. Ulazne veličine dobijene su na osnovu sprovedenog upitnika, što podrazumeva 31 ulaznu promenljivu i jednu izlaznu zavisnu promenljivu. Cilj je bio da se uporedi tačnost predikcije izlaznih veličina ovih dveju mreža i na osnovu dobijenih rezultata odlučujemo o vrsti veštačke neuronske mreže koju koristimo u daljem istraživanju.

MLP i RBF veštačke neuronske mreže rešavaju problem klasifikacije na osnovu ponuđenih ulaznih podataka. Kao što je već pomenuto, za sprovedenu analizu korišćene su ulazne veličine kreirane na osnovu pitanja iz upitnika, bez prethodne selekcije nekom od pomenutih metoda u prethodnim tačkama istraživanja. Osnovni parametri kreiranih ANN za obe vrste mreža prikazani su u tabelama 7–1 i 7–2. Mreže poseduju zajedničke karakteristike, a to su isti broj ulaznih (31) i izlaznih neurona (2). Za definisanje arhitekture obeju mreža korišćen je sam program. SPSS u zavisnosti od prirode samog problema definiše parametre koji su optimalni za dalji rad i predikciju. Program prvo definiše broj podataka koji je predviđen za trening mreže, što najčešće iznosi 70% od ukupnog broja podataka, dok preostalih 30% koristiti za validaciju. U okviru softvera SPSS postoje ponuđena četiri moguća načina prethodne obrade podataka: 1) bez prethodne obrade podataka, podaci se dalje procesuiraju kao što su i predstavljeni, 2) standardna obrada podataka, 3) normalizacija podataka u opsegu od 0 do 1, i 4) normalizacija podataka u opsegu od -1 do 1. Broj skrivenih slojeva je, po pravilu, jedan, a u okviru istog može se nalaziti različiti broj neurona. Ponuđene aktivacione funkcije su: Identity, Softmax, Tangens hiperbolična i Sigmoidna. Rezultati kreiranih ANN interpretiraju se uz pomoć matrice zabune, kao što je objašnjeno u poglavlju 6.4.

U Tabeli 7–1 prikazani su rezultati dobijeni kreiranjem RBF neuronske mreže. Kao što se iz tabele može uočiti, prikazano je deset različitih mreža koje su trenirane identičnim setovima podataka. Broj neurona u skrivenom sloju kretao se od 6 do 10, prelazna funkcija je ista za svih deset kreiranih mreža – Identity, a korišćena je i ista aktivaciona funkcija – Softmax. Nijedna kreirana mreža nalik RBF nije dala zadovoljavajuće rezultate. Sagledavanjem kolone koja se odnosi na tačnost predikcije za odgovor DA (dogodiće se povreda na radu), uočava se da su neuronske mreže apsolutno sve izlazne veličine svrstavale u kategoriju NE (neće se dogoditi povreda na radu). Najbolje rezultate pokazala je RBF mreža označena brojem 6, čija je ukupna uspešnost klasifikacije prilikom predikcije odgovora DA u trening fazi 7,40%, dok je u test fazi 0,8%. Prilikom rada sa nepoznatim setovima podataka kreirana mreža je u potpunosti loše klasifikovala podatke, njena uspešnost predikcije iznosila je 0%. Na osnovu iskazanog, RBF vrsta mreže odbacuje se za dalja istraživanja izrade modela za predikciju povrede na radu u rudarstvu.

Tabela 7-1 Osnovni parametri arhitekture RBF neuronske mreže, uspešnost dobijenih rezultata najuticajnije ulazne veličine

Redni broj mreže	Broj podataka za trening	Broj podataka za testiranje	Broj skrivenih slojeva	Broj neurona u skrivenom sloju	Prelazna funkcija	Aktivaciona funkcija	Funkcija greške	Uspešnost mreže – trening DA/NE %		Uspešnost mreže – test DA/NE %		Ukupna uspešnost mreže Trening/Test %		Uspešnost mreža – predikcija DA/NE %		Prvorangirani	Drugorangirani	Trećerangirani
1.	623	277	1	9	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	0,0	100	0,0	100	87,0	84,4	0,0	100	GENDER 0,064	OR_1 0,055	WE_2 0,052
2.	625	275	1	10	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	4,8	99,8	6,1	99,6	87,2	88,4	0,0	100	OR_2 0,054	PPE_1 0,045	PPE_5 0,045
3.	606	294	1	7	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	0,0	100	0,0	100	86,5	88,4	0,0	100	WE_2 0,048	T_3 0,044	OR_1 0,040
4.	624	276	1	10	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	0,0	100	0,0	100	85,1	91,7	0,0	100	GENDER 0,054	OR_2 0,049	WE_2 0,045
5.	619	281	1	7	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	0,0	100	0,0	100	86,1	89,3	0,0	100	OR_2 0,049	OR_1 0,048	WE_2 0,045
6.	636	264	1	6	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	7,4	100	0,8	100	88,2	87,5	0,0	100	OR_2 0,076	OR_1 0,043	PPE_1 0,041
7.	622	278	1	10	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	0,0	100	0,0	100	88,3	84,5	0,0	100	GENDER 0,058	OR_2 0,053	OR_1 0,043
8.	632	268	1	10	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	1,4	100	0,0	100	88,4	84,3	0,0	100	PPE_1 0,052	OR_2 0,043	WE_2 0,040
9.	639	261	1	10	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	1,2	100	0,0	100	87,0	87,7	0,0	100	OR_2 0,055	OR_1 0,048	PPE_1 0,047
10.	633	267	1	9	Identity	Softmax	Sred. kvadratna	0,0	100	0,0	100	87,0	87,0	0,0	100	PPE_5 0,049	WE_5 0,044	OR_2 0,043

Kako bi se dobio model koji kvalitetno generalizuje dati problem, kreirano je 30 neuronskih mreža, prikazanih u Tabeli 7–2. Za sve kreirane mreže softver je samostalno odredio optimalne parametre arhitekture MLP mreže. Arhitektura mreže je definisana skupovima ulaznih podataka, a u zavisnosti od njihovog redosleda softver će ponuditi i različite rezultate. Na osnovu podataka prikazanih u Tabeli 7–2 uočavaju se zajedničke odlike arhitektura svih 30 kreiranih mreža. Broj skrivenih slojeva neurona je 1, prelazna funkcija je tangens hiperbolična, aktivaciona funkcija je *Softmax*, funkcija greške je međuentropijska, približan je i broj podataka korišćen za trening i test fazu a njihov odnos iznosi 70% – 30%. Ključna razlika između predstavljenih arhitektura ogleda se u broju neurona u skrivenom sloju i ovaj broj je u opsegu 5–10 neurona. Pored razlike u broju neurona u skrivenom sloju, razlikuju se i izlazni rezultati klasifikacije, kao i sprovedena analiza osetljivosti mreže. Takođe, razlikuju se i rezultati druge faze provere mreže, tj. rezultati klasifikacije koje je zadata arhitektura mreže pokazala za podatke sa kojima se nije sretala u procesu kreiranja modela.

Tabela 7–2 Osnovni parametric arhitektura MLP neuronske mreže, uspešnost dobijenih rezultata

Redni broj mreže	Broj podataka za trening	Broj podataka za testiranje	Broj skrivenih slojeva	Broj neurona u skrivenom sloju	Prelazna funkcija	Aktivaciona funkcija	Funkcija greške	Uspešnost mreže – trening DA/NE		Uspešnost mreže – test DA/NE		Ukupna uspešnost mreže Trening/Test		Uspešnost mreža – predikcija DA/NE		Prvorangirani	Drugorangirani	Trećerangirani
1.	623	277	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	69,1	98,9	57,1	97,5	95,0	92,4	33,3	93,6	OR_2 0,057	T_2 0,056	M_4 0,047
2.	625	275	1	5	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	62,7	99,6	54,5	99,2	94,7	93,8	37,5	98,4	OR_2 0,077	T_2 0,061	M_4 0,053
3.	606	294	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	80,5	99,6	50,0	98,8	97,0	93,2	41,7	97,6	OR_2 0,055	T_2 0,053	M_4 0051
4.	624	276	1	4	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	76,3	98,3	56,5	98,8	95,0	95,3	20,8	100	OR_2 0,062	M_4 0,056	PPE_5 0,061
5.	612	281	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	47,7	99,4	43,3	98,0	92,2	92,2	16,7	96,8	M_4 0,076	WEM_1 0,066	T_2 0,058
6.	636	264	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	37,0	99,1	22,9	99,6	91,2	89,4	16,7	100	OR_2 0,102	PPE_5 0,067	M_4 0,063
7.	622	278	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	69,9	98,7	48,8	97,0	95,3	89,6	25	96,8	OR_2 0,063	T_2 0,056	WEM_1 0,055
8.	632	268	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	44,6	99,6	26,2	99,1	93,2	87,7	16,7	100	T_2 0069	WEM_1 0,055	OR_2 0,051
9.	639	261	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	79,8	99,3	53,1	96,1	96,7	90,8	12,5	98,4	WEM_1 0,063	M_4 0,062	PPE_1 0,059
10.	633	267	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	67,1	99,1	58,8	99,6	94,9	94,4	20,8	98,4	OR_2 0,081	M_4 0,068	T_2 0,064
11.	631	269	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	82,4	100	64,3	99,1	97,9	93,7	54,2	97,6	OR_2 0,062	WEM_1 0,060	OR_1 0,057
12.	647	253	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	92,5	99,8	87,0	96,5	98,8	95,7	54,2	91,9	OR_2 0,054	T_2 0,049	M_4 0,044
13.	635	265	1	4	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	57,0	99,5	40,0	99,6	93,7	92,8	29,2	95,2	OR_2 0,074	T_2 0,065	M_4 0,063
14.	623	277	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	43,7	98,7	31,0	99,2	91,0	92,1	12,5	100	T_2 0,071	WE_1 0,065	M_4 0,060

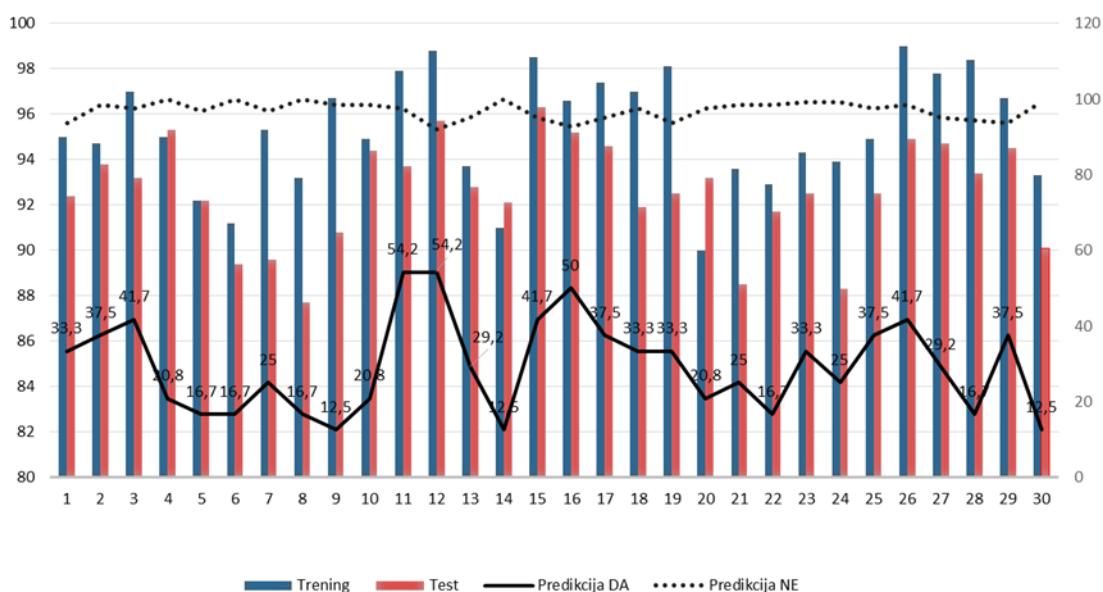
Nastavak Tabela 7-3 Osnovni parametric arhitektura MLP neuronske mreže, uspešnost dobijenih rezultata

15.	658	242	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	93,1	99,3	72,4	99,5	98,5	96,3	41,7	95,2	OR_2 0,053	M_4 0,052	WEM_1 0,051
16.	648	252	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	81,6	98,9	69,0	98,7	96,6	95,2	50	92,7	M_4 0,065	OR_2 0,058	T_2 0,050
17.	621	279	1	10	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	82,1	99,6	63,2	99,6	97,4	94,6	37,5	95,2	M_4 0,069	OR_2 0,056	PPE_5 0,052
18.	642	258	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	78,2	99,6	52,6	98,6	97,0	91,9	33,3	97,6	OR_2 0,058	WEM_1 0,058	OR_4 0,053
19.	621	279	1	5	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	86,3	99,8	52,8	98,4	98,1	92,5	33,3	93,,6	T_2 0,061	PPE_5 0,053	WEM_1 0,049
20.	651	249	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	40,2	97,0	44,8	99,5	90,0	93,2	20,8	976	OR_2 0,099	T_2 0,073	M_4 0,069
21.	612	288	1	5	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	55,8	99,1	25,6	98,4	93,6	88,5	25	98,4	T_2 0,092	OR_2 0,071	WEM_1 0,059
22.	623	277	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	41,9	99,8	45,2	100	92,9	91,7	16,7	98,4	OR_2 0,069	WEM_1 0,066	T_2 0,065
23.	633	267	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	68,9	97,7	64,3	97,8	94,3	92,5	33,3	99,2	T_2 0,080	OR_2 0,065	OR_4 0,052
24.	618	282	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	60,0	98,5	29,3	98,3	93,9	88,3	25	99,2	T_2 0,068	OR_2 0,060	WEM_1 0,053
25.	606	294	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	70,4	98,7	37,1	100	94,9	92,5	37,5	97,6	OR_2 0,060	T_2 0,068	WEM_1 0,053
26.	623	277	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	92,6	100	62,9	99,6	99,0	94,9	41,7	98,4	M_4 0,057	T_1 0,051	PPE_1 0,047
27.	638	262	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	83,1	100	66,7	98,7	97,8	94,7	29,2	95,2	OR_2 0,078	M_4 0,051	WEM_1 0,051
28.	628	272	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	91,6	99,4	51,5	99,2	98,4	93,4	16,7	94,4	M_4 0,071	PPE_4 0,053	KVALIF. 0,45
29.	646	254	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	76,8	99,6	64,7	99,1	96,7	94,5	37,5	93,6	OR_2 0,057	PPE_2 0,050	PPE_5 0,048
30.	626	274	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	54,3	99,1	31,4	98,7	93,3	90,1	12,5	99,2	T_2 0,088	M_4 0,067	OR_2 0,063

Kao što se u prikazanoj koloni 11 (*Ukupna Uspešnost mreže Trening/Test*) Tabele 7–2 uočava, najbolje rezultate u okviru prikazanih 30 ANN dale su veštačke neuronske mreže pod rednim brojevima 12, 15, 17, 26. i 27. U nastavku su opisane samo razlike između ovih mreža od važnosti za predikciju.

Mreža broj 12 u svom skrivenom sloju ima 6 neurona i njena ukupna uspešnost u okviru trening faze iznosi 98,8%, dok za test fazu ona iznosi 95,7%. Pored veoma dobre ukupne uspešnosti koja podrazumeva kvalitetnu generalizaciju, ova mreža je u okviru druge faze provere modela, prilikom rada sa nepoznatim podacima, tačno klasifikovala DA u 54,4% i tačno klasifikovala NE u 91,9%. Naredna mreža je mreža pod brojem 15 i u odnosu na ukupnu uspešnost ona daje nešto lošije rezultate – za trening fazu 98,5%, a u test fazi 96,3%. Data mreža u skrivenom sloju ima 8 neurona i njena predikcija za podatke sa kojima se nije sretala je za odgovore DA – 41,7%, a za odgovore NE – 95,2%. Pored kvalitetne generalizacije problema u fazi treniranja i testiranja, mreža ne pokazuje zadovoljavajuće rezultate prilikom rada sa nepoznatim podacima. Mreža pod brojem 17 u svom skrivenom sloju ima najviše neurona od svih razmatranih mreža – njih 10, njena ukupna uspešnost u trening fazi iznosi 97,4%, a u test fazi 94,6%. Prilikom rada sa nepoznatim podacima tačno je klasifikovala odgovore DA u 37,5% slučajeva, dok je za odgovore NE to bilo u 95,2% slučajeva. Kao mreža broj 15, i mreža broj 17 ima nezadovoljavajuću uspešnost prilikom rada sa podacima sa kojima se nije susretala u procesu kreiranja modela. Mreže 26 i 27 u svom skrivenom sloju imaju po 9 neurona, njihova ukupna generalizacija je veoma dobra i iznosi preko 95%. Međutim, prilikom rada sa nepoznatim podacima za odgovore DA njihova uspešnost za mrežu 26 je 41,7%, a za mrežu 27 samo 29,4%. Ovi rezultati takođe nisu zadovoljavajući za model predikcije povreda na radu u rudarstvu.

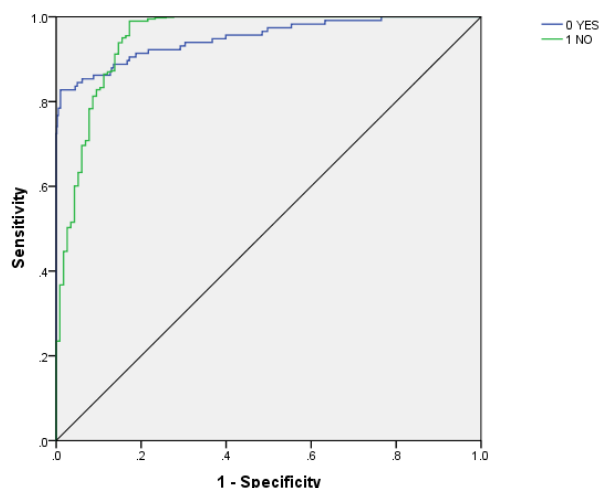
Za sprovedeno istraživanje najbitnije je dobiti kvalitetnu predikciju prilikom rada veštačke neuronske mreže sa nepoznatim podacima i to u kategoriji DA (dogodiće se povreda). Na Slici 7–1 prikazani su rezultati predikcije svih 30 kreiranih MLP mreža. Stubićima je prikazana njihova ukupna uspešnost u trening i test fazi, a linijom uspešnost prilikom rada sa nepoznatim podacima.



Slika 7–2 Dijagram izrade modela za predikciju povreda na radu u rudarstvu

Dijagram na Slici 7–2 prikazuje da najbolju predikciju pri radu sa nepoznatim podacima imaju mreže 12 i 11, a za obe mreže ona iznosi 54,2%. Ukupna generalizacija problema mreže broj 11, tj. uspešnost u test i trening fazi nije najbolja u odnosu na ostale mreže: u trening fazi ona iznosi 97,9%, u test fazi 93,6%, ali je njena uspešnost prilikom rada sa nepoznatim podacima veoma visoka, za odgovore DA iznosi 54,2%, a za odgovore NE – 97,6%.

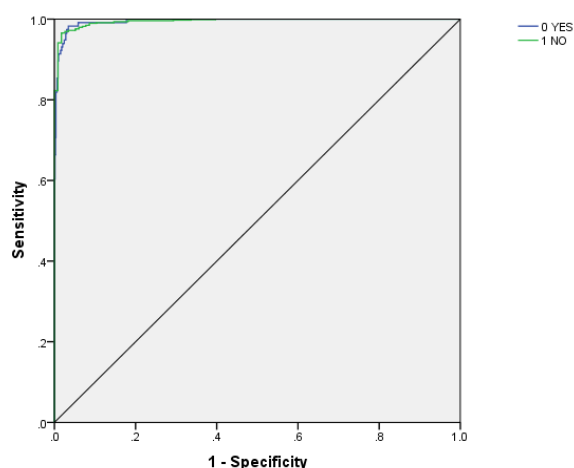
ROC kriva predikcije povreda na radu za mrežu ANN 11 prikazana je na Slici 7–4.



Slika 7–3 ROC kriva predikcije povreda na radu ANN 11

Prilikom diskusije rezultata uspešnosti predikcije ROC krivom analizira se veličina površine ispod krive. Za grafikon predstavljen na Slici 7–3 ova površina iznosi 0,95 za obe ispitivane kategorije, tj. DA (dogodiće se povreda) i NE (neće se dogoditi povreda). Ovo je veoma visoka vrednost i dati model vrši odličnu generalizaciju problema.

ROC kriva predikcije povreda na radu za mrežu ANN 12 prikazana je na Slici 7–4.

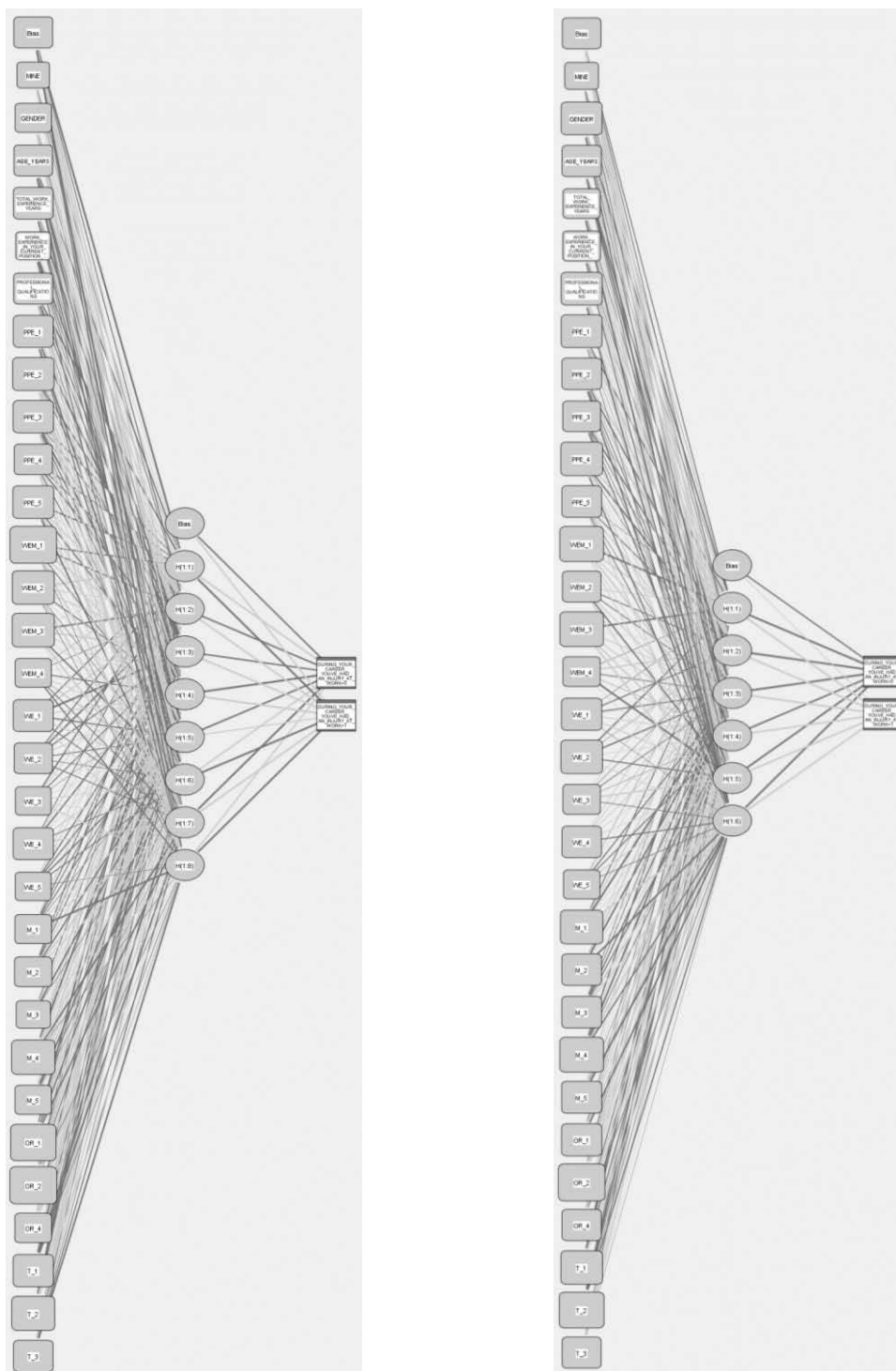


Slika 7–4 ROC kriva predikcije povreda na radu ANN 12

Kao i na prethodnoj slici, i grafik na slici 7–4 ukazuje na kvalitetnu generalizaciju ANN 12 mreže, grafik je pozicioniran u gornjem levom uglu a vrednost površine ispod grafika je za ovu mrežu

još veća i iznosi za obe klase 0,995. Ovakvi rezultati takođe ukazuju da model vrši odličnu klasifikaciju povreda na radu.

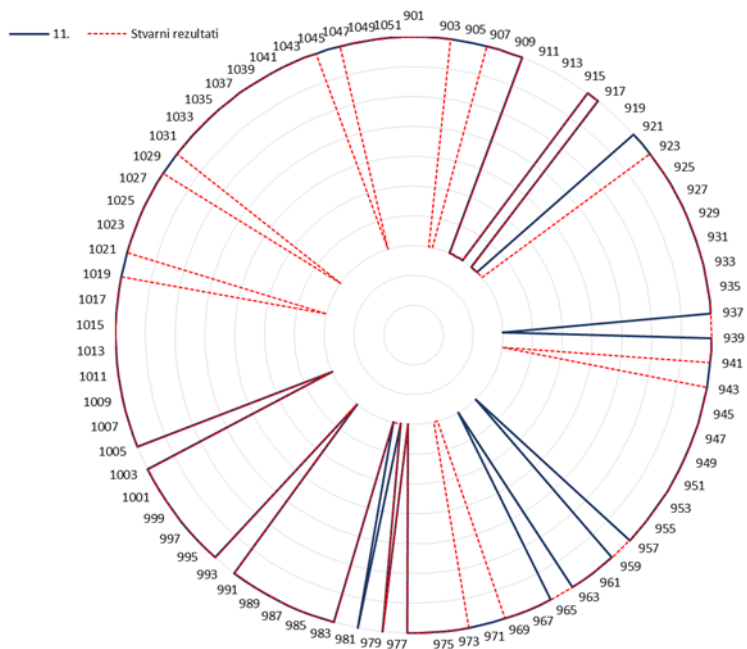
Od 30 kreiranih veštačkih neuronskih mreža izdvojile su se mreže 11 i 12. One su dale najbolje rezultate u predviđanju povreda na radu sa podacima sa kojima se nisu susretale u procesu kreiranja mreže i njihov izgled je prikazan na Slici 7–5.



Slika 7–5 Arhitektura ANN 11 i 12

Na Slici 7–5 uočava se da su mreže vrlo kompleksne strukture, sa jednim skrivenim slojem u kom se nalazi različit broj neurona.

Analiza kvaliteta predviđanja može se sagledati sa aspekta mogućnosti mreže da se predikovanim vrednostima izlaza što više približi stvarnim vrednostima. Grafik na Slici 7–6 prikazuje predikciju mreže broj 11 za odgovore DA prilikom rada sa potpuno nepoznatim ulaznim veličinama.



Slika 7–6 Dijagram predikcije mreže broj 11

Na Slici 7–6 vidi se da predikovanje mreže 11 za odgovore DA u odnosu na stvarne vrednosti nije bilo uspešno za 11 uzoraka, tj. jedanaest ispitanika jeste doživelo povredu. Radnici koji su doživeli povredu a mreža 11 ih nije ispravno klasifikovala, na grafiku su predstavljeni brojevima 905, 906, 921, 922, 942, 970, 971, 981, 1020, 1029 i 1045.

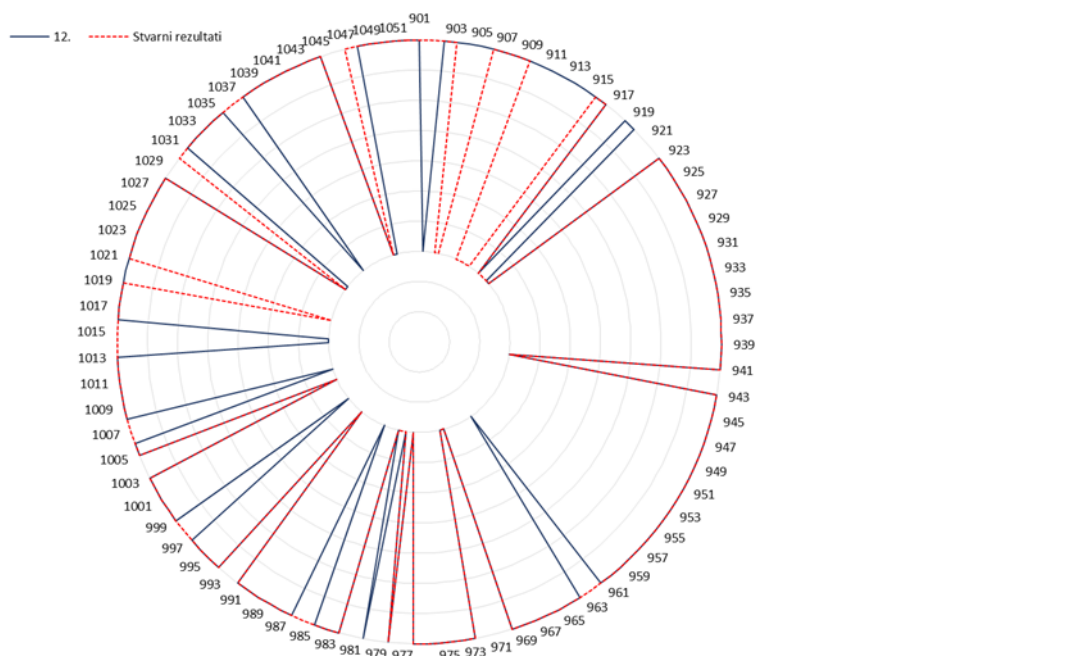
Dati ispitanici imaju sledeće zajedničke demografske karakteristike: svi su muškarci, pripadaju dvema različitim starosnim grupama (26–35 i 46–55 godina), većina ima radno iskustvo na trenutnom radnom mestu 0–10 godina i imaju niži stepen obrazovanja (radnici su NK – nekvalifikovani i KV – kvalifikovani).

U odnosu na odgovore koje su dali u primenjenom upitniku, radnici su najvišom prosečnom ocenom (5,00) ocenili 4 pitanja: PPE_1 (*Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu*), PPE_5 (*Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva*), M_2 (*Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja*) i T_1 (*Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu*).

Najnižim prosečnim ocenama ocenjena su pitanja: PPE_3 (*Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)*) i WEM_4 (*Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajuću su (osećam se prijatno dok radim)*). Zaključuje se da radnici koji pridaju važnost ličnim i kolektivnim zaštitnim sredstvima, odnosu

rukovodstva prema BZR i obukama u vezi sa radom, nisu klasifikovani u grupu visokog rizika od povreda, tj. prikazana mreža ih je pogrešno klasifikovala.

Grafik na Slici 7–7 prikazuje rezultate predikcije mreže broj 12 za odgovore DA prilikom rada sa potpuno nepoznatim ulaznim varijablama.



Slika 7–7 Dijagram predikcije mreže broj 12

Prikazani rezultati na Slici 7–7 ukazuju da predikcija mreže 12 za odgovore DA (dogodiće se povreda) nije bila uspešna u 11 slučajeva. Radnici koji jesu doživeli povredu a mreža 12 ih nije pravilno klasifikovala, na grafiku su označeni brojevima 905, 906, 911, 912, 913, 914, 915, 919, 920, 981 i 1020.

Izdvojeni ispitanici imaju sledeće zajedničke demografske karakteristike: u pitanju su muškarci, ispitanici koje je izdvojila mreža 12 pripadaju starijoj starosnoj grupi 36–45 i 46–55 godina, radno iskustvo je 11–15 godina i, kao i prethodna mreža, imaju niži stepen obrazovanja – radnici su NK (nekvalifikovani) i KV (kvalifikovani).

U odnosu na odgovore u upitniku, najvišom ocenom (5,00) ocenili su čak 9 tvrdnji, 4 koje je izdvojila mreža 11 i još 5 novih: PPE_1 (*Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu*), PPE_5 (*Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva*), M_2 (*Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja*) i T_1 (*Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu*). M_1 (*Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno*), M_3 (*Moji nadređeni zaustaviće rad u slučaju da se obavlja nebezbedno*), T_3 (*Obuke za rad sprovode stručna lica*), OR_2 (*Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)*), WEM_1 (*Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena*).

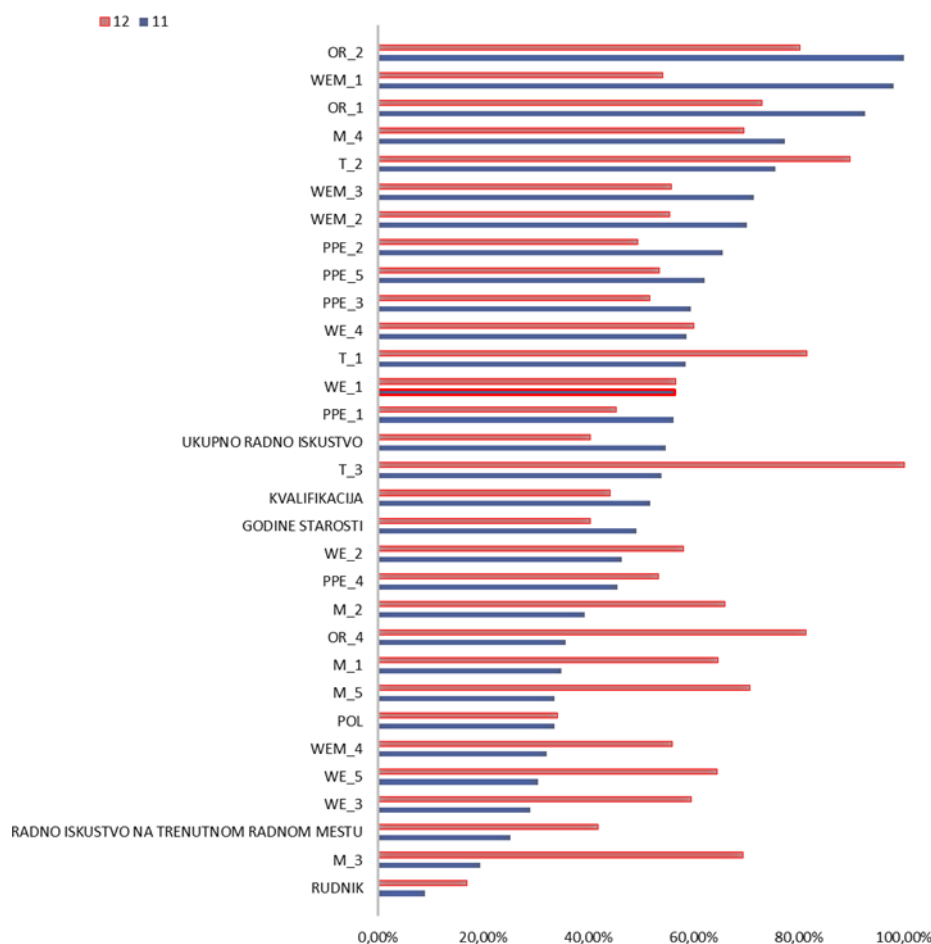
Najnižu prosečnu ocenu ispitanici su dali pitanju PPE_3 (*Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)*).

7.2 Prikaz rezultata modeliranja dobijenih na osnovu analize osetljivosti

U okviru SPSS paketa postoji mogućnost analize uticaja ulaznih parametara na predikovane izlazne veličine, tzv. analiza osetljivosti (*engl. Sensitivity analysis*). Sam program rangira ulazne promenljive u odnosu na grešku obučavanja prilikom izbacivanja neke ulazne varijable. Cilj analize je izdvajanje one ulazne varijable čiji je uticaj najznačajniji prilikom predikcije povreda na radu. Izdvajanjem ulaznih varijabli može se smanjiti broj ulaza isključivanjem onih ulaza iz dalje analize koji nemaju veliki uticaj na izlaznu veličinu. Nakon isključivanja manje uticajnih veličina, potrebno je kreirati nove mreže kako bi se ispitala uspešnost predikcije ovog novog predloženog modela. Svrha izbacivanja je mogućnost pojednostavljenja modela, jednostavniji proračun, kao i prikupljanje manjeg broja podataka za buduće analize.

Na Slici 7–8 prikazani su rezultati analize osetljivosti ulaznih veličina veštačkih neuronskih mreža 11 i 12.

Slika 7–8 Analiza osetljivosti mreža 11 i 12



Grafik na Slici 7–8 ukazuje da najveći uticaj u slučaju obeju posmatranih mreža ima ulazna veličina OR_2 (*Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)*). Ovo znači da i najmanja promena u vrednostima promenljive OR_2, rezultira značajnim promenama izlazne veličine. Najmanji uticaj na dešavanje povreda na radu ima varijabla RUDNIK.

Posmatrane su dve veštačke neuronske mreže 11 i 12, kod kojih su se, na osnovu analize osetljivosti, izdvojile sledeće ulazne veličine, čiji uticaj iznosi preko 50%, Tabela 7–4.

Tabela 7–3 Izdvojeni vrednosti analize osetljivosti ANN 11 i 12

Promenljiva	Rezultati analize osetljivosti	
	ANN 11 (%)	ANN12 (%)
GODINE (AGE_YEARS)		53,32
POL (GENDER)		64,49
M_1		73,05
M_2		55,48
M_3		56,63
M_4	77,4	81,46
M_5		57,97
OR_1	92,6	59,62
OR_2	100	100,00
OR_4		53,40
PPE_1	56,2	64,73
PPE_2	65,5	55,84
PPE_3	59,5	
PPE_4		70,67
PPE_5	62,1	55,98
KVALIFIKACIJA (PROFESSIONAL_QUALIFICATIONS)	51,7	65,94
T_1	58,5	69,60
T_2	75,6	89,75
T_3	53,9	51,61
UKUPNO RADNO ISKUSTVO (TOTAL_WORK_EXPERIENCE_YEARS)	54,7	
WE_1	56,4	60,10
WE_2		69,40
WE_4	58,6	54,15
WEM_1	98	81,44
WEM_2	70,2	
WEM_3	71,4	80,17

U Tabeli 7–3 može se uočiti da posmatrane mreže nisu izdvojile isti broj ulaznih veličina. Mreža ANN 11 izdvojila je 17 ulaznih veličina, dok je ANN 12 izdvojila 23. Nakon izdvajanja komponenti, kreirane su nove neuronske mreže, koje kao ulazne veličine koriste manji broj varijabli, tj. varijable koje je izdvojila analiza osetljivosti. Novokreirane mreže nazvane su *Nova ANN 11* i *Nova ANN 12*.

Po analogiji već sprovedene procedure prikazane prilikom kreiranja ANN 11 i ANN 12, prvo se pristupa kreiranju više mreža. U procesu kreiranja mreža programu je data mogućnost da sam izabere optimalne parametre arhitekture buduće neuronske mreže. Posle trening i test faze izvršena je analiza uspešnosti klasifikacije novih mreža pri radu sa podacima sa kojima se nisu sretale u trening i test fazi, a rezultati ove analize i osnovnih parametara obeju novokreiranih mreža *Nova ANN 11* i *Nova ANN 12* prikazani su u Tabeli 7–4.

Tabela 7–4 Osnovni parametri arhitektura Nova ANN 11 i Nova ANN 12, uspešnost dobijenih rezultata, ROC kriva.

Mreža	Redni broj mreže	Broj podataka za trening	Broj podataka za testiranje	Broj skrivenih slojeva	Broj neurona u skrivenom sloju	Prelazna funkcija	Aktivaciona funkcija	Funkcija greške	Uspešnost mreže – trening DA/NE		Uspešnost mreže – test DA/NE		Ukupna uspešnost mreže Trening/Test		Uspešnost mreža predikcija DA/NE		ROC kriva
Nova ANN 11	1.	642	258	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	76,9	97,7	50,0	95,9	95,2	89,1	50,0	96,5	0,923
	2.	621	279	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	60,0	97,8	41,7	98,4	92,9	91,0	16,6	100	0,916
	3.	651	249	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	65,6	98,9	62,1	98,2	94,5	94	16,6	99,21	0,948
	4.	612	288	7	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	72,7	99,1	48,7	98,0	95,8	91,3	12,5	97,6	0,919
	5.	623	277	1	11	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	71,6	99,8	69,0	97,3	96,5	92,9	25,0	96,8	0,930
	6.	656	244	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	66,7	98,8	59,4	97,6	94,7	92,6	20,8	95,8	0,933
	7.	638	262	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	65,9	99,6	61,8	98,2	95,3	93,5	29,1	95,3	0,944
	8.	628	22	1	10	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	56,1	98,9	44,1	96,6	93,3	90,1	4,1	99,2	0,928
	9.	627	273	1	10	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	57,8	98,7	57,6	98,3	93,3	93,4	16,7	100	0,925
	10.	601	299	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	76,7	99,8	48,8	100	97,0	92,6	29,1	97,6	0,955
Nova ANN 12	1.	666	234	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	68,4	99,1	51,4	99,5	95,5	91,9	20,8	94,4	0,956
	2.	620	280	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	65,5	99,3	50,0	100	95,0	93,2	16,6	97,6	0,964
	3.	620	280	1	13	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	85,5	99,6	66,7	98,8	97,7	95,0	20,8	95,2	0,978
	4.	610	290	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	83,1	99,6	68,9	98,8	97,7	94,1	25,0	87,4	0,964
	5.	644	256	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	73,3	97,7	70,0	97,2	94,9	93,0	16,67	97,6	0,947
	6.	629	271	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	45,2	100	44,2	100	93,6	91,1	29,1	90,6	0,858
	7.	645	255	1	11	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	81,2	99,8	51,6	99,1	97,4	93,3	25,0	97,6	0,975
	8.	628	272	1	10	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	83,5	99,1	67,7	98,8	97,0	95,2	54,2	96,9	0,970
	9.	625	275	1	9	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	28,9	99,1	15,2	98,8	89,8	15,2	20,8	98,43	0,817
	10.	636	264	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	89,7	100	68,4	98,7	98,7	94,3	8,3	96,0	0,989

Kako bi se ocenila uspešnost klasifikacije *Nova ANN 11*, kreirano je ukupno 10 mreža koristeći 17 ulaznih veličina dobijenih na osnovu analize osetljivosti. Najbolju ukupnu uspešnost imala je mreža broj 3. Ista je predikovala sa 94,5% uspešnosti u trening fazi i sa 94% uspešnosti tačno klasifikovala odgovore u test fazi. Najbolje rezultate ROC krive dala je mreža 10. Mreža 1 je pokazala najbolje rezultate prilikom rada sa nepoznatim podacima i njena uspešnost iznosi 50% prilikom predikcije odgovora DA (dogodiće se povreda). Predikovana vrednost mreže 1 je samo 4% manja u odnosu na prethodno kreirane mreže čiji su ulazi bile sve varijable. Mreža 1 koristi manje ulaznih veličina – 17, ima jedan skriveni sloj sa 7 neurona, koristi identične aktivacione i prelazne funkcije (kao i mreža 11) i daje zadovoljavajuće rezultate sa aspekta predikcije povreda prilikom rada sa nepoznatim podacima.

U mreži *Nova ANN 12* korišćena je 21 ulazna veličina i kreirano 10 mreža. Najbolju ukupnu uspešnost pokazala je mreža broj 10. Ista je predikovala 98,7% uspešnosti u test fazi i 94,3% u trening fazi, a i ova mreža dala je najbolje rezultate ROC krive (0,989). Ipak, njena uspešnost prilikom rada sa nepoznatim podacima za klasifikaciju odgovora DA iznosi manje od 10%. Najbolju uspešnost prilikom rada sa nepoznatim podacima pokazala je mreža 8 i njena uspešnost za odgovore DA iznosi 54,17%, a za odgovore NE 100%. Mreža broj 8 iz grupe ANN 12 koristi istu prelaznu i aktivacionu funkciju kao i ostale kreirane mreže, ima jedan skriveni sloj i u njemu 10 neurona.

Kao što se na osnovu priloženog može zaključiti, ovom metodologijom moguće je redukovati broj ulaznih veličina a da se pri tom ne izgubi u kvalitetu generalizacije mreže. Mreža *Nova ANN 12* pod brojem 8 dala je najbolje rezultate i pokazala da odbacivanjem 8 ulaznih veličina: *RUDNIK*, *RADNO ISKUSTVO*, *RADNO ISKUSTVO NA TRENUTNOM RADNOM MESTU*, *PPE_3*, *WE_3*, *WEM_2*, *WEM_5* *WEM_4*, uspešnost predikcije ostaje nepromenjena, tj. njena uspešnost prilikom rada sa nepoznatim podacima iznosi 54% za odgovore DA (dogodiće se povreda).

7.3 Prikaz rezultata istraživanja dobijenih na osnovu fazifikovanih ulaznih veličina

U cilju da se dobije što precizniji model za predikciju povreda na radu, izvršena je fazifikacija ulaznih parametara prema grupama pitanja, koja je opisana u tački 6.3. Nove ulazne veličine su: promenljiva fazi III (*Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva*), promenljiva fazi IV (*Pitanja koja se odnose na opremu za rad i uslove radne okoline*), promenljiva fazi V (*Pitanja koja se odnose na rizike u vezi sa radom*), promenljiva fazi VI (*Pitanja koja se odnose na rukovodstvo*), promenljiva fazi VII (*Pitanja koja se odnose na organizaciju rada*), promenljiva fazi VIII (*Pitanja koja se odnose na obuke u vezi sa BZR*) i grupa pitanja koja se odnosi na demografske karakteristike posmatranog uzorka.

Kreirano je petnaest MLP veštačkih neuronskih mreža. Kreirane nove veštačke mreže nazvane su *fazi mreže* i njihove osnovne karakteristike prikazane su Tabeli 7–5.

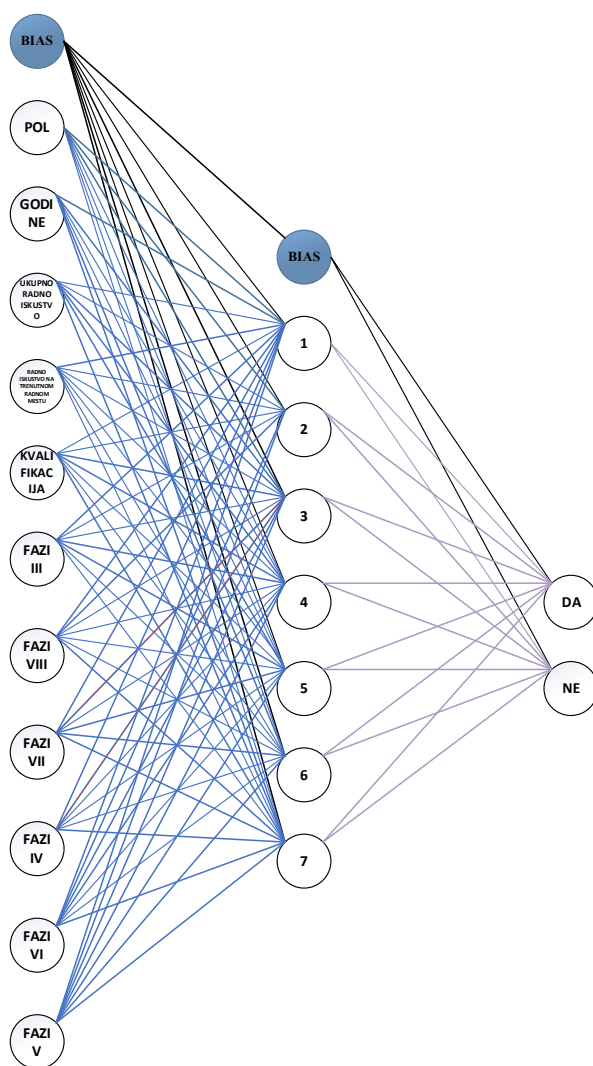
Tabela 7–5 Osnovni parametri arhitektura Fazi mreža, uspešnost dobijenih rezultata, ROC kriva.

Redni broj mreže	Broj podataka za trening	Broj podataka za testiranje	Broj skrivenih slojeva	Broj neurona u skrivenom sloju	Prelazna funkcija	Aktivaciona funkcija	Funkcija greške	Uspešnost mreže – trening DA/NE		Uspešnost mreže – test DA/NE		Ukupna uspešnost mreže Trening/Test		Uspešnost mreža predikcija DA/NE	ROC kriva	
1.	647	253	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	71,0	99,6	69,6	96,1	95,5	93,7	8,3	89,2	0,954
2.	658	242	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	35,6	99,3	31,0	98,6	90,9	90,5	4,2	96,9	0,883
3.	648	252	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	44,8	99,1	31,0	99,6	91,8	91,7	4,2	100,0	0,881
4.	621	279	7	5	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	42,3	99,3	31,6	98,3	92,1	89,2	12,5	90,7	0,903
5.	651	249	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	66,2	97,6	50,1	94,0	93,9	97,4	12,5	93,8	0,916
6.	638	262	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	61,4	98,0	33,3	98,7	93,3	90,5	12,5	96,9	0,915
7.	638	262	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	64,6	98,6	50,0	99,1	94,2	92,7	29,2	93,8	0,907
8.	601	299	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	80,8	99,4	55,8	98,4	97,2	92,3	54,2	100,0	0,934
9.	620	280	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	74,4	99,3	60,5	98,3	96,1	93,2	25,0	87,6	0,947
10.	628	272	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	61,2	98,7	38,7	99,2	93,6	92,3	8,3	100,0	0,903
11.	646	255	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	70,6	98,6	51,6	90,1	94,9	90,6	16,7	90,7	0,926
12.	636	264	1	5	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	62,8	99,3	50,8	98,7	94,8	91,7	29,2	93,8	0,935
13.	628	22	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	63,9	98,9	51,5	96,3	94,2	90,9	29,2	90,7	0,929
14.	623	277	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	64,6	97,2	37,8	95,8	93,1	88,1	20,8	92,3	0,887
15.	644	226	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska	72,5	98,6	47,2	97,3	95,3	90,2	33,3	92,3	0,931

Podaci iz Tabele 7–5 ukazuju da su najbolje rezultate ukupne uspešnosti klasifikacije dale mreže označene brojevima 8 i 9. Obe prikazane mreže imaju jedan skriveni sloj i 7 neurona u skrivenom sloju; uspešnost klasifikacije mreže broj 8 je 97,2% u trening fazi i 92,3% u test fazi, dok je uspešnost mreže 9 nešto manja – za trening fazu 96,1%, a za test fazu iznosi 92,3%, isto kao i za mrežu 8.

Najuspešnija mreža sa aspekta predikcije povreda na radu prilikom rada sa nepoznatim podacima jeste mreža broj 8. Uspešnost klasifikacije mreže broj 8 za odgovore DA (dogodiće se povreda) bila je 54,2%, dok je za odgovore NE (neće se dogoditi povreda) ova mreža bila apsolutno uspešna (100%).

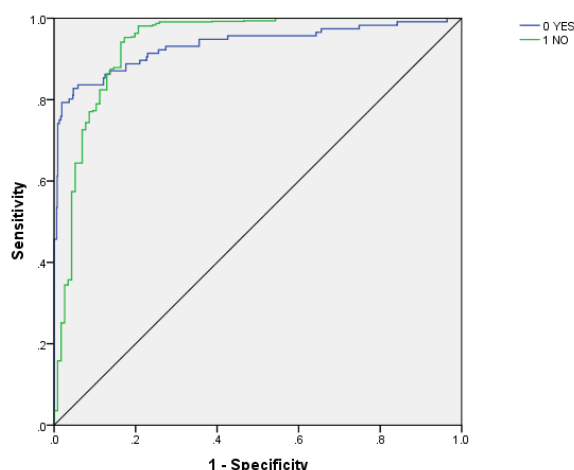
Izgled najuspešnije mreže broj 8 prikazan je na Slici 7–9.



Slika 7–9 Arhitektura fazi mreže broj 8

Na Slici 7–9 uočava se da mreža broj 8 ima 11 ulaznih veličina: 6 fazifikovanih i 5 demografskih, jedan skriveni sloj i 7 neurona u sloju.

Na Slici 7–10 prikazan je izgled ROC krive mreže broj 8, čija vrednost iznosi 0,934.



Slika 7–10 ROC kriva predikcije povreda na radu mreže fazi 8

Vrednost ROC krive kojom se može predstaviti performansa mreže 8 iznosi preko 0,9, što se smatra odličnim pokazateljem, tj. može se zaključiti da ova mreža veoma dobro klasifikuje povrede.

Analiza osetljivosti mreže 8 pokazala je ulazne veličine: fazi VII (*Pitanja koja se odnose na organizaciju rada*) sa 100%, fazi III (*Pitanja koja se odnose na lična i kolektivna zaštitna sredstva*) sa 99,9%, fazi VI (*Pitanja koja se odnose na rukovodstvo*) sa 89,9%, dok je pitanje koje pripada demografskoj grupi POL radnika ocenjeno kao pitanje sa najmanje uticaja na predikciju povreda na radu (56,6%).

7.4 Uporedna analiza dobijenih rezultata

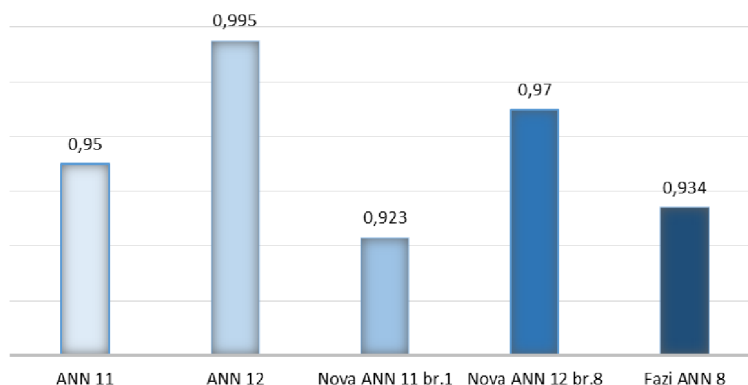
Sprovedena analiza testirala je više veštačkih neuronski mreža koje su kreirane koristeći različiti broj ulaznih veličina. Različite mreže dale su različite rezultate prilikom klasifikacije odgovora u vezi sa povredama na radu. Osnovni parametri pet najuspešnijih mreža prikazani su u Tabeli 7–6.

Tabela 7–6 Osnovni parametri arhitektura najuspešnijih mreža

Naziv mreže	Broj podataka za trening	Broj podataka za testiranje	Broj skrivenih slojeva	Broj neurona u skrivenom sloju	Prelazna funkcija	Aktivaciona funkcija	Funkcija greške
ANN 11	631	269	1	8	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska
ANN 12	647	253	1	6	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska
Nova ANN 11 br. 1	642	258	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska
Nova ANN 12 br. 8	628	272	1	10	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska
Fazi ANN 8	601	299	1	7	Tanges hiperbolična	Softmax	Međuentropijska

U Tabeli 7–6 se uočava da su prikazane najuspešnije mreže koristile istu prelaznu (Tanges hiperbolična), aktivacionu (Softmax) i istu funkciju greške (Međuentropijska). Ovih pet neuronskih mreža ima približno isti broj ulaznih podataka. Ključna razlika je u broju neurona u skrivenom sloju, koji je između 6 i 10.

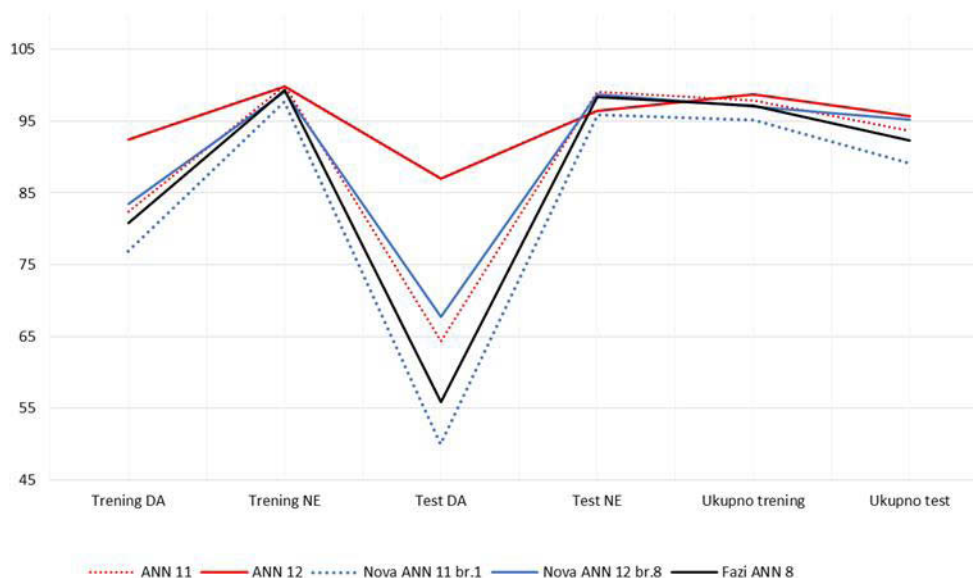
Date mreže kreirane su kako bi se dobio što uspješniji model za predikciju povreda na radu u rudarstvu. Na Slici 7–11 prikazane su vrednosti površina ispod ROC krive za svih pet mreža.



Slika 7–11 ROC kriva najuspješnijih veštačkih neuronskih mreža za predikciju povreda na radu

Prikazane vrednosti ROC krive na Slici 7–11, predstavljaju parametar koji se često koristi za opisivanje uspešnosti klasifikacije binarnih klasifikatora kao što su i gore opisani modeli. Najbolju vrednost, tj. najveću površinu ispod ROC krive ima mreža ANN 12 i njena vrednost je 0,995, dok je najlošija vrednost modela Nova ANN 11 br. 1 koja iznosi 0,923. Međutim, svi prikazani modeli imaju vrlo visoke vrednosti ovog parametra, vrednost je veća od 0,9 – što se smatra odličnim rezultatom za uspešnost generalizacije datog problema.

Grafički prikaz rezultata uspešnosti predikcije u trening i test fazi, kao i ukupna uspešnost prilikom rada sa poznatim podacima za izdvojenih pet mreža prikazan je na Slici 7–12.

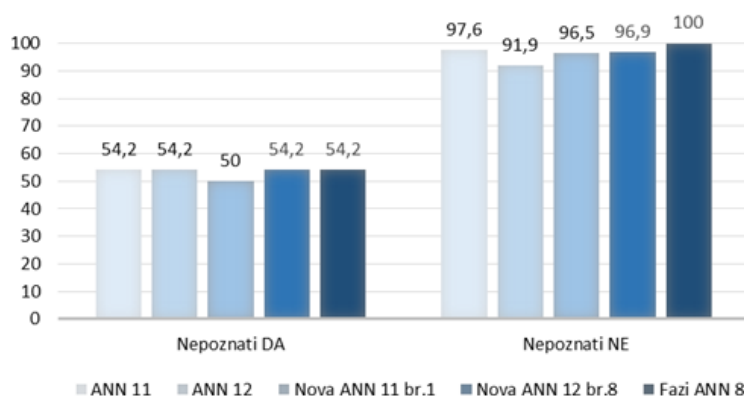


Slika 7–12 Uspešnost veštačkih neuronskih mreža prilikom rada sa poznatim podacima

Upoređujući rezultate prikazane na Slici 7–12, uočava se da grafik mreže ANN 12 značajno odstupa od ostalih. Ovo odstupanje posebno je izraženo u delu grafika koji se odnosi na predikciju

rezultata odgovora DA u trening i test fazi. U trening fazi rezultati predikcije za odgovore DA za mrežu ANN 12 iznose 92,5%, što je skoro deset procenta bolji rezultat nego sledeće rangirana Nova ANN 12 br. 8. U test fazi ovaj model ima iznačajno bolje rezultate, njegova vrednost predikcije za odgovore DA iznosi 87%, dok je kod preostalih ovaj procenat u opsegu 50–67. Za odgovore NE u trening i test fazi ne postoje značajna odstupanja između prikazanih modela, ovaj procenat je u opsegu od 97,7% do apsolutnih 100% kod modela ANN 11. Prikazane vrednosti svih modela predstavljaju veoma visoke vrednosti i ukazuju na kvalitetnu generalizaciju problema ovim modelima.

Grafički prikaz uspešnosti predikcije prilikom rada sa nepoznatim podacima za izdvojenih pet mreža predstavljen je na Slici 7–13.



Slika 7–13 Uspešnost veštačkih neuronskih mreža prilikom rada sa nepoznatim podacima

Aspekt uspešnosti modela za predikciju povreda na radu meri se pravilno klasifikovanim odgovorima DA (dogodiće se) i NE (neće se dogoditi) povreda na radu prilikom rada sa nepoznatim podacima. Prikazani rezultati na Slici 7–13 ukazuju da za predikciju odgovora DA maksimalna uspešnost iznosi 54,2%, dok je kod odgovora NE ona značajno bolja i iznosi od 91,9% (ANN 12) do 100% za najbolje rangiranu Fazi ANN 8. Iz navedenog se zaključuje da se za predikciju povreda na radu kao najuspešniji pokazao model sa fazifikovanim ulaznim veličinama (Fazi ANN 8) čija je predikcija za odgovore DA bila 54,2%, a za odgovore NE 100%.

Pored gore prikazanih analiza, urađena je i analiza osetljivosti za svih pet najuspešnijih modela kako bi se utvrdili najuticajniji faktori za predikciju povreda na radu. Analiza je prikazana u Tabeli 7–7.

Tabela 7–7 Rezultati analize osetljivosti kreiranih modela

Naziv modela	Prvorangirani	Drugorangirani	Trećerangirani
ANN 11	OR_2	WEM_1	OR_1
ANN 12	OR_2	T_2	M_4
Nova ANN 11 br. 1	OR_2	PPE_5	T_1
Nova ANN 12 br. 8	M_4	OR_4	PPE_4
Fazi ANN 8	fazi VII	fazi III	fazi VI

Rezultati analize osetljivosti prikazani u Tabeli 7–7 ukazuju da se kao najuticajnije pitanje izdvojilo OR_2 (*Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)*), M_4 (*Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom*) i fazi VII (*Pitanja koja se odnose na organizaciju rada*).

Pokazatelj OR_2 je sprovedna analiza izdvojila kao najznačajniji. Nepovoljni uslovi rada (interakcija radnika u ograničenom i skučenom prostoru, ograničeno vidno polje i prisutan manualni rad) vrlo često dovode do međusobnog ugrožavanja i preklapanja radnog prostora zaposlenih, pa se i u sprovedenoj analizi posebno ističe značaj usklađenosti radnih operacija između radnika i njihov sinhronizovan zajednički rad.

Pokazatelj OR_1, odnosno aktivna uloga rukovodstva u sprovođenju mera BZR, ima vrlo značajan uticaj na dešavanje povreda na radu. Odnos rukovodstva prema primeni BZR kreira i stav zaposlenih prema ovom pitanju. Nebezbedno ponašanje radnika direktno je povezano sa odnosom menadžmenta prema kulturi bezbednosti, kao i odnosa rukovodilaca direktno prisutnih u proizvodnji. Postavlja se pitanje koliko je menadžment voljan da unapredi bezbednost i zdravlje na radu, osim u onoj meri na koju ga zakonska regulativa primorava. Menadžment preduzeća ne pridaje dovoljan značaj kulturi bezbednosti jer ne postoji sistem kažnjavanja, što se svakako prenosi i na niže sisteme u rukovođenju preduzeća, a bezbednost se svodi na nekoliko imenovanih lica direktno zaduženih za BZR, samog radnika i njegove upoznatosti u vezi sa BZR.

OR_4, tj. dinamika rada, veoma je značajna za organizaciju rada. Najveća slabost analiziranih rudnika ogleda se u nedovoljnoj mehanizovanosti, dok je drugi razlog ekonomske prirode – žurba da se opravke i servisi što pre urade kako bi se pokrenula proizvodnja. Takvi uslovi i rad pod pritiskom, uvek sa ciljem da se ispuni plan proizvodnje, dovode do povećanog broja povreda. U složenim uslovima poslovanja, menadžment vrši konstantan pritisak na nadzorno tehničko osoblje sa ciljem da se postigne planirana proizvodnja.

Grupa pitanja koja se odnosi na lična i kolektivna zaštitna sredstva, kao što su fazi III, PPE_5 i PPE_4, izdvajaju ovaj faktor kao vrlo značajan za ponovno dešavanje povreda. Lična i kolektivna zaštitna sredstva predstavljaju tehničku meru zaštite od povreda na radu. U posmatranim rudnicima kolektivna zaštitna sredstva su prisutna, ali ne u onom obimu u kojem se to očekuje. U savremenoj rudničkoj okolini lična zaštitna sredstva su lošeg kvaliteta i, kao takva, vrlo često su neudobna i sa velikim normativima. Radnici su, potencirajući ove faktore, neposredno ukazali na manjkavost sistema BZR i podsetili na značaj ove tehničke mere u prevenciji povreda na radu.

Kao značajne, mreže su prepoznale i pokazatelje u vezi sa obukama, tj. T_2 i T_1, kao i one vezane za rukovodstvo (komunikaciju sa istim), odnosno pokazatelje fazi VI i M_4.

Obuke u vezi sa radom i primenjenim merama BZR imaju značajan uticaj na reakciju i ponašanje radnika u nekoj opasnoj situaciji. Međutim, obuke u sprovedenim rudnicima nisu osmišljene dovoljno kvalitetno, već im je svrha samo da zadovolje zakonske regulative. Iste ne prate potrebe zaposlenih, već su bazirane na uopštenim programima koji u dovoljnoj meri ne obrađuju suštinu problema, već su napravljeni za veće grupe radnika. Svaki proces u rudniku, kao i radno mesto, nose različite rizike i operacije, pa je na osnovu njih potrebno uskladiti i individualne programe obuke radnika.

Iz svega navedenog može se zaključiti da su faktori koji imaju značajan uticaj na predikciju povreda na radu: organizacioni, faktori vezani za lična i kolektivna zaštitna sredstva, faktori u vezi sa obukama na radu, kao i faktori vezani za rukovodstvo (komunikacija sa nadređenima).

Prikazano istraživanje rađeno je sa ciljem da se pronađe adekvatan alat kojim bi se analizirali svi negativni uticaji koje analitičar može da izdvoji kao uticajne faktore na pojavu povreda na radu. Težnja je bila da se iz uticajnih faktora izdvoje oni koji imaju najveći doprinos pojavi povrede. Poseban akcenat je dat i nalaženju mogućnosti da se predloženim modelom mogu izdvojiti radne jedinice gde BZR nije na zavidnom nivou, kao i grupe radnika kod kojih postoji najveći rizik od pojave povreda. Primenom i kombinovanjem statističkih metoda, neuronskih mreža i teorije fazi skupova, uspešno je kreiran model koji obuhvata sve navedeno. Velika preciznost izdvajanja pokazatelja i predikcije pojave povreda dokazuje upotrebljivost kreiranog modela u praksi.

8 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Rudarska industrija postala je prepoznatljiva po velikom broju povreda, čestim kolektivnim nesrećama i teškim uslovima za rad. Specifičnost podzemne eksploatacije i međusobna interakcija između čoveka, mašina i skućenog radnog prostora dovode do čestih akcidentnih situacija pri kojima dolazi do povređivanja radnika, oštećenja mašina i proizvodnih gubitaka. Zajednički zadatak države, rudarskih kompanija i zaposlenih u tim kompanijama jeste da se smanji broj povređenih radnika. Država ima udeo u tome donošenjem zakonskih i podzakonskih akata i kontrolu sprovođenja istih. Menadžment rudarskih kompanija trebalo bi da sprovede propise i regulative, učini radno okruženje bezbednim za rad uz minimalne rizike za dešavanje povreda i da obezbedi kvalitetne obuke i treninge zaposlenih kako bi bili spremni za svaku rizičnu situaciju. Zaposleni treba da se pridržavaju svih propisanih mera i da svom poslu pristupaju savesno i pažljivo kako ne bi ugrozili svoje, a ni tuđe zdravlje i živote. Danas je situacija u ovoj industrijskoj grani daleko povoljnija nego ranije, ali, u poređenju sa drugim delatnostima, rudarstvo je i dalje u samom vrhu kada je u pitanju broj povreda na radu.

Cilj ovog istraživanja jeste formiranje univerzalnog modela za predikciju povreda na radu u rudarstvu koji bi obuhvatio sve uticajne faktore na pojavu povreda. Takođe, pored kreiranja modela, veliki napor uložen je u prepoznavanje negativnih činilaca koji mogu prouzrokovati pojavu povreda na radu. Još jedan zadatak koji je postavljen u ovoj disertaciji jeste prepoznavanje kritičnih grupa radnika kod kojih postoji najveća opasnost od povređivanja.

Model za predikciju povreda na radu razvijen u ovoj disertaciji, pored statističkih podataka, uključuje i subjektivna mišljenja zaposlenih. Statistički podaci korišćeni su za validaciju razvijenih modela za predikciju povreda na radu, odnosno za proveru uspešnosti prognoze kreiranih modela. Korišćeni su podaci o povredama na radu koje su se dogodile u podzemnoj eksploataciji uglja u proteklih 10 godina. Podaci dobijeni na osnovu anketiranja zaposlenih služili su kao ulazni skupovi podataka za razvoj prediktivnog modela. U primenjenom upitniku ulazni podaci grupisani su u osam kategorija, sa ciljem lakšeg prepoznavanja uticajnih faktora. Uticajni faktori koji su analizirani u ovom istraživanju, izdvojeni su u skladu sa mišljenjima zaposlenih, onih koji se, nažalost, najčešće i povređuju.

Prvi zadatak pri istraživanju, pored ispitivanja validnosti uzorka, bio je da se statističkim metodama utvrde zavisnosti između ispitanika, kako bi se dobila preliminarna slika o prikupljenim podacima. Primenom analize varijanse ANOVA, analizirane su razlike na osnovu demografskih karakteristika. Ispitanici su prilikom popunjavanja upitnika pokazali značajne razlike u mišljenju u vezi sa BZR u rudnicima. Različitost mišljenja najmanje je izražena u odnosu na proizvodnu jedinicu rudnika i ona se ogleda u kategoriji pitanja koja su vezana za radnu opremu i obuke. Najizraženija razlika među ispitanicima bila je u kategoriji *godine starosti* i *ukupan radni staž*, gde su radnici pokazali statistički srednje značajne razlike u mišljenju u vezi sa kontrolom opreme za rad, stručnošću svojih kolega, organizacijom rada i kvalitetom obuke. PCA metoda je grupisala predstavljena pitanja u osam novih grupa pitanja, međutim, novonastale grupe nisu dale zadovoljavajuće rezultate prilikom kreiranja modela na bazi veštačkih neuronskih mreža. Višekriterijumska analiza kompletnog rangiranja PROMETHEE II izdvojila je proizvodne jedinice Štavalj, Vrška Čuka i Lubnica kao one u kojima su performanse BZR najbolje. Radnike bez kvalifikacije, najstariju populaciju i najmlađu populaciju u rudniku izdvojila je kao one koje najbolje prepoznaju BZR.

Dalje istraživanje je fokusirano na mogućnost predikcije povreda na radu uz pomoć veštačkih neuronskih mreža. U tu svrhu testirane su dve vrste mreže, tzv. MLP i RBF, od kojih su se, za klasifikaciju ove vrste problema, kao adekvatniji izbor pokazale MLP mreže. Nakon odabira vrste

mreže, testirana je uspešnost predikcije izabrane MLP mreže, pri čemu je kreirana mreža koristila sve ulazne veličine iz sprovedene ankete (31). Ista mreža pokazala se kao veoma uspešna za rešavanje predstavljenog problema. Izdvojene su dve najuspešnije mreže: *ANN 11* i *ANN 12*, čija je ukupna uspešnost klasifikacije iznosila više od 90%, prilikom rada sa poznatim podacima. Dalji razvoj modela u cilju poboljšanja performansi kreiranog modela kretao se u pravcu redukcije broja ulaznih veličina i u tu svrhu korišćena je analiza osetljivosti. Uz pomoć analize osetljivosti definisane su veličine koje značajno utiču na promenu izlazane veličine, tj. predikciju povreda na radu. Izostavljanjem manje uticajnih ulaznih veličina izvršena je redukcija ulaznih podataka. Kreirane su nove mreže sa manjim brojem ulaznih veličina: *Nova ANN 11 br. 1* i *Nova ANN 12 br. 8*. Ove mreže pokazale su se jednako uspešnim kao i prethodne. Kako bi se ispitala mogućnost povećanja uspešnosti modela, izvršena je fazifikacija ulaznih veličina po grupama pitanja koja su predstavljena u anketi. Tako je dobijeno šest novih grupa pitanja koja su, zajedno sa demografskim pitanjima, činila nove ulazne veličine modela. Novokreirani model je nazvan *Fazi ANN 8* i pokazao je jednako dobru uspešnost prilikom rada sa nepoznatim podacima za odgovore DA kao i prethodno kreirani modeli, ali je bio superiorniji za predikciju odgovora NE, gde je bio 100% uspešan.

Glavne prednosti kreiranog modela su:

- Model kreiran sa ulazima baziranim na rezultatima fazi kompozicije grupe pokazatelja, koji je bio najuspešniji u predikciji povreda na radu, pored velike tačnosti omogućuje rad mreže sa znatno manjim brojem ulaznih veličina. Min–max kompozicijom ulaznih uticajnih faktora vrši se grupisanje, odnosno izdvajanje faktora koji imaju najveći negativan uticaj da rizični događaj postane akcidentna situacija, odnosno da dođe do povređivanja radnika. Uspešnost ovakvog pristupa ogleda se u apsolutnoj preciznosti modela prilikom predikcije odgovora NE (neće se dogoditi povreda).
- Pored uspešnosti predikcije ispitani su i uticajni faktori koji su dobijeni analizom osetljivosti sprovedenoj na prikazanim modelima.
- Glavni doprinos kreiranog modela ogleda se, pored predikcije, u mogućnosti izdvajanja glavnih uticajnih činilaca koji dovode do pojave povreda na radu. Na osnovu rezultata modela moguće je preispitivanje procedura BZR u rudarskim kompanijama. Glavni fokus menadžmenta BZR moguće je preusmeriti na kritične grupe radnika ili kritične organizacione faktore, kako bi se otklonila sva negativna delovanja na razvoj rizičnih situacija.
- Data analiza je kao najuticajnije faktore na predikciju povreda na radu izdvojila one koji se tiču organizacije rada, a, pored njih, izdvojeni su i faktori koji se tiču obuke u vezi sa radom, lična i kolektivna zaštitna sredstva i odnos rukovodstva preduzeća prema BZR, kao i komunikacija sa radnicima.
- Pokazalo se da kreirani modeli u sprovedenom istraživanju veoma dobro predikuju povrede na radu u rudarstvu prilikom rada sa podacima sa kojima se u fazi kreiranja nisu susretali, a i da se primenjena metodologija može uspešno koristiti za prepoznavanje uticajnih faktora na povrede na radu.

Imajući u vidu napred navedeno, a i u odnosu na polaznu hipotezu istraživanja, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Primenom statističkih metoda detektovane su razlike i uticajni parametri na BZR. Najizraženija razlika među ispitanicima je u kategoriji *godine starosti* i *ukupan radni staž*, gde su radnici pokazali statistički srednje značajne razlike u mišljenju u vezi sa kontrolom opreme za rad, stručnošću svojih kolega, organizacijom rada i u odnosu na

kvalitet obuke. PROMETHEE II metoda izdvojila je proizvodne jedinice u kojima su performanse BZR najbolje. Istom metodom detektovano je i koje grupe radnika imaju najbolji odnos prema BZR.

- Primenom veštačkih neuronskih mreža i teorije fazi logike moguće je kreirati model za predikciju povreda na radu na osnovu demografskih karakteristika i stavova zaposlenih. Kreirani modeli ostvarili su vrlo visoke vrednosti uspešnosti predikcije pojave povreda na radu.
- Primenom metode analize osetljivosti na kreiranim modelima mogu se izdvojiti najuticajniji parametri za predikciju pojave povrede na osnovu demografskih karakteristika i stavova zaposlenih. Data analiza utvrdila je da najznačajniji doprinos imaju sledeći faktori: organizacioni, faktori vezani za lična i kolektivna zaštitna sredstva, faktori u vezi sa obukama na radu, kao i faktori vezani za rukovodstvo (komunikacija sa nadređenima).
- Kreirani model predstavlja univerzalni alat za utvrđivanje stanja BZR u rudnicima, izdvajanje kritičnih pogona i kritičnih grupa radnika, na osnovu čega se može kreirati efikasnija politika BZR u rudarskim kompanijama.

LITERATURA

Abbott, M. L., 2017. Using statistics in the social and health sciences with SPSS® and Excel®. 1st ur. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Abdi, H., Williams, L., 2010. Principal Component Analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2, pp. 433–459.

Agrikola, G., 1556. De Re Metallica, translated from the first latin edition of 1556. London: The mining magazine.

Ajith, M. M., Ghosh, A. K., 2019. Comparison of parameters for likelihood and severities of injuries in artisanal and small-scale mining (ASM). Safety Science, 118, pp. 212–220.

Akersted, T., Knuttson, A., Alfredsson, L., Theorell, T., 1984. Shift work and cardiovascular disease. Scandinavian Journal Work Environ Health, 10, pp. 409–414.

Anderson, D., McNelli, G., 1992. Artificial Neural Networks Technology. New York: A DACS State-of-the-Art Report.

Anđelković, B., 2010. Osnovi sistema zaštite na radu. Niš, Fakultet zaštite na radu u Nišu.

Anđelković, B., 2012. Zaštita na radu u kontekstu savremenih tehnoloških promena. Inženjerstvo zaštite na radu, 2, pp. 47–53.

Arandelović, M., Jovanović, J., 2009. Medicina rada. Niš, Medicinski fakultet.

Australian Government, 2016. Workplace Gender Equality Agency, Gender composition of the workforce: by industry April 2016. Dostupno na: <https://www.wgea.gov.au/sites/default/files/Gender%20composition-of-the-workforce-by-industry>, [01. 05. 2018.].

Awala, Z. I., Hasegawab, K., 2017. A Study on Accident Theories and Application to Maritime Accidents. Procedia Engineering, 194, pp. 298–306.

Azadeha, A, Ghaderia, S, Partovi, M., Ebrahimipoura, V; K., Suzuki, E., 2007. An integrated framework for continuous assessment and improvement of manufacturing systems. Applied Mathematics and Computation, 186, pp. 1216–1233.

Badiru, A., Cheung, J., 2002. Fuzzy engineering expert systems with neural network applications. New York.: John Wiley & Sons.

Bazić, M., Bazić, A., 2017. Anketiranje kao tehnika ispitivanja i njena primena u istraživanju komunikacijskih procesa. Megatrend Review, 14, pp. 61–76.

Bennet, J., Passmore, D., 1984. Correlates of coal mine accidents and Injuries: a literature review. Accident Analysis and Prevention, 16, pp. 37–45.

Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Mazzuto, G., 2012. Analysis of injury events with fuzzy cognitive maps. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25, pp. 677–685.

Blanch, A., Torrelles, B., Aluja, A., Salinas, J., 2009. Age and lost working days as a result of an occupational accident: A study in a shiftwork rotation system. *Safety Science*, 47, pp. 1359–1363.

Blank, V., Laflamme, L., Diderichsen, F., 1996. The impact of major transformations of a production process on age-related accident risks: a study of an iron-ore mine. *Accident Analysis and Prevention*, 28, pp. 627–636.

Brans, J., Mareschal, B., 2005. Promethee methods. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys. New York: Springer, pp. 163–186.

Brans, J., Vincke, P., 1985. A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, 3, pp. 647–656.

Brocal, F., Gonzalez-Gaya, C., Komljenovic, D., Katina, P.D., Sebastian, M. A., 2019. Emerging risk management in Industry 4.0: an approach to improve organizational and human performance in the complex systems. *Complexity*, 3, pp. 1–13.

Butani, S., 1988. Relative risk analysis of injuries in coal mining by age and experience et present company. *Journal of Occupational Accidents*, 10, pp. 209–216.

Calys-Tagoe, B., Ovađe, L., Clarke, E., Basu, N., Robins, T. Injury Profiles Associated with Artisanal and Small-Scale Gold. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, pp. 7922–7937.

Cavazza, N., Serpe, A., 2009. Effects of safety climate on safety norm violations: exploring the mediating role of attitudinal ambivalence toward personal protective equipment. *J. Saf. Res*, 40, pp. 277–283.

Chena, H., Luo, X., 2016. Severity Prediction Models of Falling Risk for Workers et Height. *Procedia Engineering*, 164, pp. 439 – 445.

Chen, H., Qi, H., Long, R., Zhang, M., 2012. Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors. *Safety Science*, 50, pp. 745–750.

Ciarapica, E., Giacchetta, G., 2009. Classification and prediction of occupational injury risk using soft computing techniques: An Italian study. *Safety Science*, 47, pp. 36–49.

Cloete, I., Zurada, J. M., 1999. Knowledge-based neurocomputing. London: The MIT press.

Cohen, J., 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York: Routledge.

Cronbach, L., 1951. Coefficient alpha and the internal structure oftests. *Psychometrika*, 16, pp. 297–334.

Cui Y., Tian S., Qiao N., Wang C., Wang T., 2015. Huang. Associations of Individual-related and job-related risk factors with nonfatal occupational injury in the coal workers of Shanxi Province: A Cross-Sectional Study. PLOSE ONE, 1–13.

Ćirić, I., 2015. Inteligentno upravljanje mobilnim robotima na osnovu neuro-fazi-genetskog prepoznavanja objekata i praćenja ljudi u robotskoj viziji. Doktorska disertacija. Niš: Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet.

Dabson, J., Harland-Riddiford, D., Bell, A., Steet, J., 2018. Are underground coal miners satisfied with their boats?. Applied Ergonomics, 66, pp. 98–104.

Delen, D., Sharda, R., Bessonov, M., 2006. Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks. Accident Analysis and Prevention, 38, pp. 434–444.

Deublein, M., Schubert, M., Adey, B., Köhler, J. Faber, M., 2013. Prediction of road accidents: A Bayesian hierarchical approach. Accident Analysis and Prevention, 51, pp. 274–291.

Duarte, J., Marques, T. & Baptista, S., 2021. Occupational Accidents Related to Heavy Machinery: A Systematic Review. Safety, 7, pp. 2–22.

Dytham, C., 2011. Choosing and using statistics : a biologist's guide. 3rd ur. Hoboken: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

Elenge, M., Leveque, A. & De Brower, C., 2013. Occupational accidents in artisanal mining in katanga, D.R.C.. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 26, pp. 267–274.

Farzano, L.-A. B., Gravetter, F. J., 2017. Research Methods for the Behavioral Sciences. 6th ed. Boston: CENGAGE.

Fausett, L., 1994. Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms and applications. 1st ed. NJ: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle Rive.

Freeman, J., Skapura, D., 1991. Neural networks – algorithms, applications, and programming techniques. New York: Addison-Wesley.

Gavran, S., 2016. Veštačke neuronske mreže-pregled i primena. Master rad:Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet.

Gerard, I. J., Zwetsloot, M., Kines, P., Wybo, J., Ruotsala, R., Drupsteen, L., Bezeme, R. A., 2017. Zero Accident Vision based strategies in organisations: Innovative perspectives. Safety Science, 91, pp. 260–268.

Gerassis, S., Savedra, A., Taboada, J., Alonso, E., Bastante, F., 2020. Differentiating between fatal and non-fatal mining accidents using artificial intelligence techniques. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 34, pp. 687–699.

Goha, Y., Ubeynarayana, C., Wong, K., Guo, B., 2018. Factors influencing unsafe behaviors: A supervised learning approach. *Accident Analysis and Prevention*, 118, pp. 77–85.

Gordon, J. E., 1949. The Epidemiology of Accidents. *Am I Public Health Nations Health*, 39, pp. 504–515.

Greenwood, M., Wood, H. M., 1919. The incidence of industrial accidents upon individuals, with special reference to multiple accidents. Dostupno na: <https://archive.org/details/incidenceofindus00grea>, [08. 04. 2019.].

Gurney, K., 2001. *Computers and Symbols versus Nets and Neurons*. Uxbridge, Middlesex: Brunel University.

Hana, S., Chena, H., Stemm, E. & Owen, J., 2019. Hana S., Chena. Interactions between organizational roles and environmental hazards: The case of safety in the Chinese coal industry. *Resources Policy*, 60, pp. 36–46.

Hebb, D., 1949. *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. New York: John Wiley.

Hedlund, F. H., 2013. Recorded fatal and permanently disabling injuries in South African. *Safety Science*, Volume 55, pp. 149–159.

Heinrich, H., 1969. *Industrial accident prevention: a scientific approach*. New York: McGraw–Hill.

Hollnagel, E., 1998. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM*. Oxford: Elsevier Science.

Hollnagel, E., 2009. *Safer complex industrial environments: a human factors approach*. New York: CRC Press.

Hollnagel, E., 2014a. Is safety a subject for science?. *Safety Science*, 67, pp. 21–24.

Hollnagel, E., 2014. *Safety–I and Safety–II, The Past and Future of Safety Management*. Boca Raton: CRC Press.

Houari, R., Bounceur, A., Kechadi, M., Tari, A., Euler, R., 2016. Dimensionality reduction in data mining: a copula approach. *Expert System Application*, 64, pp. 247–260.

Hui, L., Hu, Y., Zhou, E., Shao, K., 2012. Prediction of safety objective of an enterprise using fuzzy neural network. *Procedia Engineering*, 43, pp. 162–167.

Hu, Y. H., Hwang, J., 2002. *Introduction to Neural Networks for Signal Processing*. J. H. Yu Hen Hu, *Handbook of Neural Network Signal Processing*. Boca Raton: CRC Press.

Ignjatović, M., Miljković, M., 2012. Rudarska ergonomija. Bor: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.

Ilić, V., 1999. Neuronske mreže. Dostupno na: <http://solair.eunet.rs/~ilicv/neuro.html#Aktivacione%20funkcije>, [07. 03. 2017].

Ivaz, J., Petrović, D., Fedajev, A., Milić, V., Stojadinović, S., P., Stojković, 2018. Economic aspects of occupational injuries in mining. *Podzemni radovi*, 33, pp. 41–51.

Ivaz, J., Stojadinović, S., Petrović, D., Stojković, P., 2021. A Retrospective Comparative Study of Serbian Underground Coalmining Injuries. *Safety and Health at Work*, 27, pp. 362–377.

Jarl, T., 1980. Fatal occupational accidents in Sweden. *Accident Analysis and Prevention*, 12, pp. 185–188.

Jaško, O., Čudanov, M., Jevtić, M., Krivokapić, J., 2014. Osnovi organizacije i menadžmenta, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

Javno preduzeće za podzemnu eksploataciju uglja Resavica, 2021. Javno preduzeće za podzemnu eksploataciju uglja Resavica. Dostupno na: <https://www.jppeu.rs/>, [02. 05. 2021.].

Jain, A. K., Mao, J., Mahuddin, K., 1996. Artificial Neural Networks: A Tutorial, *Thema Future. Computer*, 3, pp. 31–44.

Jovičić, V., Miljković, M., Ilić, J., Uljić, H., Vukić, M., 1987. Sigurnost i tehnička zaštita u rudarstvu. Tuzla: Univerzal OOUR Izdavačka djelatnost.

Jurjević, D., 2014. Sigurnost na radu. Rijeka: Sveučilište u Rijeci.

Kakhkia, F. D., Freeman, S. A., Mosher, G. A., 2020. Applied Machine Learning in Agro–Manufacturing Occupational Incidents. *Procedia Manufacturing*, 48, pp. 24–30.

Kakhki, F. D., Freeman, S., G., M., 2019. Evaluating machine learning performance in predicting injury severity in agribusiness industries. *Safety Science*, 117, pp. 257–262.

Karmis, M., 2011. Mine Health and Safety Management. Littelton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.

Karra, V., 2005. Analysis of non–fatal and fatal injury rates for mine operator and contractor employees and the influence of work location. *Journal of Safety Research*, 36, pp. 413–421.

Katsakiori, P., Sakellaropoulos, G., Manatakis, E., 2009. Towards an evaluation of accident investigation methods in terms of their alignment with accident causation models. *Safety Science*, 47, pp. 1007–1015.

Kecman, V., 2001. Learning and Soft Computing Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models. London: The MIT press.

Keckojevic, V., 2011. Analysis of " high –dollar " value safety and health citations and orders for the US coal mines. *Safety Science*, 49, pp. 658–663.

Keckojevic, V., Komljenovic, D., Groves, W., Radomsky, M., 2007. Injuries in U.S. mining operations – A preliminary risk analysis. *Safety Science*, 46, pp. 792–801.

Khanzode, V., Maiti, J., Ray, P., 2012. Occupational injury and accident research: A comprehensive review. *Safety Science*, 50, pp. 1355–1367.

Kinilakodi, H., Grayson, R. L., 2011. Citation–related reliability analysis for a pilot sample of underground coal mines. *Accident Analysis and Prevention*, 43, pp. 1015–1021.

Klir, G., Yuan, B., 1995. *Fuzzy sets and fuzzy logic, theory and applications*. New Jersey: Prentice Hall.

Klockner, K., Toft, Y., 2018. Railway accidents and incidents: Complex socio–technical system accident modelling comes of age. *Safety Science*, 110, pp. 59–66.

Komljenovic, D., Loiselle, G., Kumral, M., 2016. Risks of extreme and rare events in Asset Management. *Safety Science*, 88, p. 129–145.

Komljenovic, D., Loiselle, G., Kumral, M., 2017. Organization: A new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27, pp. 617–625.

Kothari, C., 2004. *Research methodology: Methods and Techniques*. New Delhi: New Age International (P) Ltd.

Krstić, I., Anđelković, B., 2013. *Profesionalni rizik*. Niš: Fakultet zaštite na radu u Nišu.

Kunar, B., Bhattacharjee, A., N., Chau., 2010. A matched case–control study of occupational injury in underground coalmine workers. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 110, pp. 1–9.

Kundu, S., 1998. The min–max composition rule and its superiority over the usual max–min composition rule. *Fuzzy Sets and Systems*, 93, pp. 319–329.

Laberge, M., MacEachen, E., Calvet, B., 2017. Why are occupational health and safety training approaches not effective? Understanding young worker learning processes using an ergonomic lens. *Safety Science*, 68, pp. 250–257.

Laflamme, L., Menckel, E., 1995. Aging and occupational accidents: a critical review of the literature of the past three decades. *Safety Science*, 1, pp. 145–161.

Latinović, B., 2006. Ekspertni sistemi. Dostupno na: <https://vdocuments.site/ekspertnisistemi1.html>, [17. 07. 2018.].

Leigh, J., Mulder, B., Want, G., Farnsworth, N., Morgana, G., 1990. Personal and environmental factors in coal mining accidents. *Journal of Occupational Accidents*, 13, pp. 233–250.

Leu, S., Chang, C., 2013. Bayesian–network–based safety risk assessment for steel construction projects. *Accid. Anal. Prev.*, 122–133, pp. 54.

Lilley, R. i drugi, 2018. Age–related patterns in work–related injury claims from older New Zealanders, 2009–2013: Implications of injury for an aging work force. *Analysis and Prevention*, 110, pp. 86–92.

Lin, S. i drugi, 2008. Safety climate measurement at workplace in China: A validity and reliability assessment. *Safety Science*, 46, pp. 1037–1046.

Loef, B. i drugi, 2018. Objectively measured physical activity of hospital shiftworkers. *Scand J Work Environ Health*, 44, pp. 265–273.

Löow, J., Nygren, M., 2019. Initiatives for increased safety in the Swedish mining industry: Studying 30 years of improved accident rates. *Safety Science*, 117, pp. 437–446.

Lu, Y., Taksa, L., Jia, H., 2020. Influence of management practices on safety performance: The case of mining sector in China. *Safety Science*, 132, pp. 104947.

Mahdevari, S., Shahriara, K., Esfahanipourb, A., 2014. Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of The Total Environment*, 488, pp. 85–99.

Maiti, J., Bhattacharjee, A., 2001a. Predicting accident susceptibility: a logistic regression analysis of underground coal mine workers. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 6, pp. 203–208.

Maiti, J., Bhattacharjee, A., 1999. Evaluation of Risk of Occupational Injuries Among Underground Coal Mine Workers Through Multinomial Logit Analysis. *Journal of Safety Research*, 2, pp. 93–101.

Maiti, J., Khanzode, V., 2009. Development of a relative risk model for roof and side fall fatal accidents in underground coal mines in India. *Safety Science*, 47, pp. 1068 – 1076.

Manasijević, D., 2016. Terijske osnove za izradu master rada. Bor: Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu.

Margolis, K. A., 2010. Underground coal mining injury: A look et how age and experience relate to days lost from work following an injury. *Safety Science*, 48, pp. 417–421.

Marković, D., 1978. Prilog određivanju predmeta sociologije zaštite na radu. *Revija za sociologiju*, 1–2, pp. 89–95.

McCulloch, W. S. , Pitts, W. A., 1943. A Logical Calculus of the Ideas immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biology*, 52, pp. 99–115.

Meyer, S., 2005. Fatal occupational injuries to older workers in farming, 1995–2002. *Monthly Labor Review*, October, pp. 38–48.

Miljković, M., 2004. Metodologija naučnog istraživanja, modeliranja, optimizacije i programiranja procesa u rudarstvu. *Praktikum za posleđiplomske studije u rudarstvu*. Bor: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru.

Miljković, Z., Aleksendrić, D., 2009. *Veštačke neuronske mreže*. Beograd: Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet.

Mooi, E., Sarstedt, M., 2011. *A Concise Guide to Market Research*. New York: Springer.

Moura, R., Beer, M., Patelli, E., Lewis, J., Knol, I., 2017. Learning from accidents: Interactions between human factors, technology and organisations as a central element to validate risk studies. *Safety Science*, 99, pp. 196–214.

Mutavdžić, B., Nikolić–Đorić, E., 2018. *Statistika*. Novi Sad: Poljoprivredni fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu.

Nu, Y. H. , Hwang, J. H., 2002. *Intrroduction to Neural Networks for Signal Procesing*, Chapter 1 of *Handbook of Neural Network Signal Procesing*. NJ: CRC Press.

Obradović, S., Fedajev, A., Nikolić, Đ., 2012. Analysis of Business Environment. Using the Multi–Criteria Approach – Case of. *Balkan's Transition Economies*. *Serbian Journal of Management*, 7, pp. 37–52.

Patterson, J., Shappell, S., 2010. Operator error and system deficiencies: Analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS Accident Analysis and Prevention 42, 1379–1385.

Paul, P. , Maiti, J., 2005. Development and test of a sociotechnical model for accident/injury occurrences in underground coalmines. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 1, pp. 43–54.

Petrović, D., 2014. *Razvoj algoritma procene efekata rizika rada rudarskih mašina na bazi fazi algebre*, doktorska disertacija. Beograd: RGF Beograd.

Petrović, M., 2011. *Osnovi veštačkih mreža i značaj njihove primene*. *Zbornik radova Građevinskog fakulteta Subotica*, 20, pp. 47–55.

Prieto, A. i drugi, 2016. Neural networks: An overview of early research, current frameworks and new challenges. *Neurocomputing*, 214, pp. 242–268.

Prvulović, S., Tolmač, D. Nikolić, Đ., 2008. Primena PROMETHEE II–metode u dijagnostici uspešnosti proizvoda od gume. Tehnička dijagnostika, 7, pp. 23–28.

Qiao, W., Quanlong, L., Xinchun, L., Xixi, L., YuLong, W., 2018. Using data mining techniques to analyze the influencing factor of unsafe behaviors in Chinese underground coal mines. Resources Policy, 59, pp. 210–216.

Razani, M., Yazdani–Chamzini, A., Yakhchali, S., 2013. A novel fuzzy inference system for predicting roof fall rate in underground coal mines. Safety Science, 55, pp. 26–33.

Rivas, T., Paz, M., Martí, J.E., Matias, J.M., Garcia, J.F., Taboada, J., 2011. Explaining and predicting workplace accidents using data–mining techniques. Reliability Engineering and System Safety, 96, pp. 739–747.

Roberts, H., Gordon, J. E., Fiore, A., 1952. Epidemiological techniques in home accident prevention. Public Health Reports, 67, pp. 547–515.

Rojas, R., 1996. Neural Networks. Berlin: Springer–Verlag.

Root, N., 1987. Injuries et work are fewer among older employes. Monthly Labor Review, March, pp. 31–38.

Ross, T., 2004. Fuzzy logic with engineering applications. New York: John Wiley and Sons.

Salminen, S., 2004. Have young workers more injuries than older ones? An international literature review. Journal of Safety Research, 35, pp. 513–521.

Sanmiquela, L., Rossellb, J., Vintro, C., 2015. Study of Spanish mining accidents using data mining techniques. Safety Science, 75, pp. 49–55.

Sanmiquel, L., Bascompta, M., Rossell, J.M., Anticoi, H.F., Guash, E., 2018. Analysis of Occupational Accidents in Underground and Surface Mining in Spain Using Data–Mining Techniques. Int. J. Environ. Res. Public Health, 15, pp. 462–479.

Sanmiquet, L., Freijo, M., Edo, J., Rossell, J. M., 2010. Analysis of work related accidents in the Spanish mining sector from 1982–2006. Journal of Safety Research, Volume 41, pp. 1–7.

Sanmiquet L., Vintro C., Freijo M., Joaquin E., Rosset J., 2010a. Analysis of Spanish non–energetic mining accidents: age, experience and size of the work centers. Dostupno na: <https://www.prevencionintegral.com/en/canal–orp/papers/orp–2010/analysis–spani> [1. 8. 2018.].

Sari, M., Duzgun, H. S. B., Karpuz, C., Selcuk, A. S., 2004. Accident analyssis of two Turkish underground coal mines. Safety Science, 42, pp. 675–690.

Sarkar, S., Maiti, J., 2020. Machine learning in occupational accident analysis: A review using science mapping approach with citation network analysis. Safety Science, 131, pp. 104900.

Sarkar, S., Vinay, S., Raj, R., Maiti, J., Mitra, P., 2019. Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents. *Computers and Operations Research*, 106, pp. 210–224.

Shahani, N., Sajid, M. J. I., Ullah, B., Qureshi, A., 2021. Comparative Analysis of Coal Miner's Fatalities by Fuzzy Logic. *Journal of Mining and Environment*, 12, pp. 77–87.

Shirali, G., Shekari, M., Angali, K., 2016. Quantitative assessment of resilience safety culture using principal components analysis and numerical taxonomy: A case study in a petrochemical plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, pp. 277–284.

Shuanga, D., Li, H., Skitmorec, M., Qin, Y., 2019. An experimental study of intrusion behaviors on construction sites: The role of age and gender. *Safety Science*, 115, pp. 425–434.

Sjoberg, J., Zhang, Q., Ljung, L., Benveniste, A., Delyon, B., Glorennec, P., Hjalmarsson, H., Juditsky, E., 1995. Nonlinear black-box modeling in system identification: a unified overview. *Automatica*, 31, pp. 1691–1724.

Smith, N., Ali, S., Bofinger, C., Collins, N., 2016. Human health and safety in artisanal and small-scale mining: an integrated approach to risk mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 129, pp. 43–52.

Sola, J., Sevilla, J., 1997. Importance of input data normalization for the application of neural networks to complex industrial problems. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 44, pp. 1464–1468.

Somerville, M., Abrahamsson, L., 2003. Trainers and learners constructing a community of practice: Masculine work cultures and learning safety in the mining industry. *Studies in the Education of Adults*, 35, pp. 16–35.

Spada, M., Burgherr, P., 2016. An aftermath analysis of the 2014 coal mine accident in Soma, Turkey: Use of risk performance indicators based on historical experience. *Accident Analysis and Prevention*, 87, pp. 134–140.

Spasić, D., 2003. *Ekonomika zaštite na radu*. Niš: Fakultet zaštite na radu.

Srđević, B., Srđević, Z., Lakićević, M., Galamboš, L., 2016. O objektivnim metodima određivanja težina kriterijuma u višekriterijumskim analizama i optimizaciji. *Letopis naučnih radova*, 40, pp. 78–86.

Stemn, E., 2019. Analysis of Injuries in the Ghanaian Mining Industry and Priority Areas for Research. *Safety and Health at Work*, 10, pp. 151–165.

Stojadinović, S., Svrkuta, I., Petrović, D., Denić, M., Pantović, R., Milic, V., 2012. Mining injuries in Serbian underground coal mines – A 10-year study. *Injury, Int. J. Care Injured*, 43, p. 2001–2005.

Stylianou, N., Akbarov, A., Kontopantelis, E., Buchan, I, Dunn, K. W., 2015. Mortality risk prediction in burn injury: Comparison of logistic regression with machine learning approaches. *Burns*, 4, pp. 925–934.

Subašić, P., 1997. Fazi logika i neuronske mreže. Beograd: Tehnička knjiga.

Suchman, E. A., 1970. Accidents and social deviance. *Journal of Health and Social Behavior*, 11, pp. 4–15.

Tanikić, D., 2016. Veštačke neuronske mreže, fazi logika i genetski algoritam. Bor: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru.

Vallmur, K., 2015. Machine learning approaches to analysing textual injury surveillance data: A systematic review. *Accident Analysis and Prevention*, 79, pp. 41–49.

Verma, S., Chaudhari, S., 2017. Safety of Workers in Indian Mines: Study, Analysis, and Prediction. *Safety and Health at Work*, 8, pp. 267–275.

Vučetić, M., 2011. Primena fazi logike u relacionim bazama podataka. *Info M*, 10, pp. 38–44.

Vujović, S., Milijanović, I., 2013. Fazi logika u rudarstvu. Beograd: Akademija inž. nauka i Rudarski institut Beograd.

Vuković, M., Miljković, Z., 2014. Mašinsko učenje veštačke neuronske mreže sa radijalnom aktivacionom funkcijom Gausovog tipa na bazi Kalmanovog filtera – Teorijske osnove. *Tehnika – Mašinstvo*, 63, pp. 613–622.

Vuković, M., Štrbac, N., 2019. Metodologija naučnih istraživanja. Bor: Tehnički fakultet u Boru – Univerzitet u Beogradu.

Waltersa, J., Olsonb, R., Karrb, J., Zoller, E., Caina, D., Douglasa, J., 2013. Elevated occupational transportation fatalities among older workers in Oregon: An empirical investigation. *Accident Analysis and Prevention*, 53, pp. 28–38.

Wang, X., Meng, F., 2018. Statistical analysis of large accidents in China's coal mines in 2016. *Nat Hazards*. 92, pp. 311–325.

Warr, P. B., 1993. In what circumstances does job performance vary with age?. *Eur. Work Organiz. Psychol.*, 3, pp. 237–249.

Wattles, I., 2019. Intervju kao istraživačka metoda: Teorijski aspekti. *CIVITAS*, 9, pp. 201–214.

Xu, Q., Xu, K., 2021. Analysis of the Characteristics of Fatal Accidents in the Construction Industry in China Based on Statistical Data. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8, pp. 2–21.

Yamane, T., 1967. *Statistics: an introductory analysis*. New York: Harper and Row.

Yedla, A., Kakhki, F. D., Jannesari, A., 2020. Predictive Modeling for Occupational Safety Outcomes and Days Away from Work Analysis in Mining Operations. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, pp. 2–17.

Yin, W. i drugi, 2017. Fatal gas explosion accidents on Chinese coal mines and the characteristics of unsafe behaviors: 2000–2014. *Safety Science*, 92, pp. 173–179.

Yu, H., Chen, H. & Long, R., 2017. Mental fatigue, cognitive bias and safety paradox in chinese coal mines. *Resources Policy*, 52, pp. 165–172.

Zadeh, L., 1965. Fuzzy sets. *Inform Control*, 8, pp. 338–353.

Zhang, M., Kecojevic, V., Komljenovic, D., 2014. Investigation of haul truck–related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis. *Safety Science*, 65, pp. 106–117.

Zhangtao, 2010. Analysis on occupational–related safety fatal accident reports of China, 2001–2008. *Safety Science*, 48, pp. 640–642.

Zhao, D., Nie, B., 2011. Statistical analysis of China’s coal mine particularly serious accidents. *Proc. Eng.*, 26, pp. 2213–2221.

Zheng, Y., Feng, C., Jing, G., Qian, X., Li, X., Liu, Z., Huang, P., 2009. A statistical analysis of coal mine accidents caused by coal dust explosions in China. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, pp. 528–532.

Zheng Y., Shao W., 2016 Analysis 320 coal mine accidents using structural equation modeling with unsafe conditions of the rules and regulations as exogenous variables. *Accident Analysis and Prevention*, 92, pp. 189–201.

Zimmermann, H., 1998. *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Boston: Kluwer.

Zwetsloot, G., Kines, P., Wybo, J., Ruotsala, R., Drupsteen, L., Bezemer, R., 2017. Zero Accident Vision based strategies in organisations: Innovative perspectives. *Safety Science*, 91, pp. 260–268.

Zwetsloot, G., Leka, S., Kines, P., 2017a. Vision Zero: from accident prevention to the promotion of health, safety and wellbeing et work. *Policy and Practice in Health and Safety*, 15, pp. 1–13.

Žižić, M., Lovrić, M., Dubravka, P., 1997. *Metodi statističke analize*. Beograd: Ekonomski fakultet.

PRILOG 1 – Anketni upitnik

ANKETA		MOLIM VAS DA ZAOKRUŽITE VAŠE ODGOVORE				
1D.	POL	MUŠKI			ŽENSKI	
2D.	GODINE STAROSTI	≤ 25 26–35 36–45 46–55 ≥ 56				
3D.	UKUPNI KALENDARSKI RADNI STAŽ	GODINA			≤ 5	
		5–10 11–15 16–20 21–25 26–30 ≥ 31				
4D.	UKUPNI RADNI STAŽ NA TRENUTNOM RADNOM MESTU	GODINA			≤ 5	
		5–10 11–15 16–20 21–25 26–30 ≥ 31				
5D.	KVALIFIKACIJA/ STRUČNA SPREMA	NK – NEKVALIFIKOVAN PK – POLUKVALIFIKOVAN KV – KVALIFIKOVAN SSS – SREDNJA SRUČNA SPREMA VS – VISOKA STRUČNA SPREMA MAGISTRATURA I DOKTORAT				
1P.	U TOKU SVOJE KARIJERE DOŽIVEO SA POVREDU NA RADU	NISAM			JESAM	
2P.	POVREDA JE OKARAKTERISANA KAO	LAKA			TEŠKA	
3P.	POVREDU SAM DOŽIVEO PRE (GODINA)	≤ 1 2–3 ≥ 3				
4P.	POVREDIO SAM	RUKU NOGU GLAVU TRUP OSTALO				
5P.	SMATRAM DA SE POVREDA DESILA USLED	MOJE NEPAŽNJE LOŠIH USLOVA RADA NEADEKVATNE OBUKE GREŠKE MOJIH PRETPOSTAVLJENIH NEADEKVATNE OPREME ZA RAD VIŠE SILE				
6P.	U KOJOJ SMENI SE DESILA POVREDA?	PRVA DRUGA TREĆA				
	MOLIMO VAS DA OPIŠETE VAŠE SLAGANJE ILI NESLAGANJE SA POJEDINIM PITANJIMA TAKO ŠTO ĆETE ZAOKRUŽITI JEDAN OD BROJEVA OD 1 DO 5, GDE JE 5 – U POTPUNOSTI SE SLAŽEM, A 1 – U POTPUNOSTI SE NE SLAŽEM	1 – u potpunosti se NE slažem 2 – delimično se NE slažem 3 – nemam misljenje 4 – delimično se slažem 5 – u potpunosti se slažem				
1L.	SMATRAM DA SU LIČNA ZAŠTITNA SREDSTVA NEOPHODNA ZA RAD NA MOM RADNOM MESTU	1	2	3	4	5
2L.	LIČNA ZAŠTITNA SREDSTVA SU UDOBNA I NE SMETAJU MI DOK RADIM	1	2	3	4	5
3L.	LIČNA ZAŠTITNA SREDSTVA SU MI DOSTUPNA (U SLUČAJU DA IH IZGUBIM ILI POCEPAM, MOGU DA DOBIJEM DRUGA)	1	2	3	4	5

4L.	KOLEKTIVNA ZAŠTITNA SREDSTVA (PROTIVPOŽARNI APARATI, MERAČI GASNO-VENTILACIONIH PARAMETARA...) ISPRAVNA SU I PRISUTNA NA MOM RADNOM MESTU	1	2	3	4	5
5L.	POZNATO MI JE KAKO SE PRAVILNO I NAMENSKI UPOTREBLJAVAJU KOLEKTIVNA I LIČNA ZAŠTITNA SREDSTVA	1	2	3	4	5
1RO.	OPREMA ZA RAD KOJU KORISTIM JE ISPRAVNA, BEZBEDNA I SAVREMENA	1	2	3	4	5
2RO.	OPREMA ZA RAD I MAŠINE ZA RAD ODGOVARAJUĆE SU ZA RADNE OPERACIJE KOJE OBAVLJAM NA SVOM RADNOM MESTU	1	2	3	4	5
3RO.	OPREMA ZA RAD I MAŠINE ZA RAD REDOVNO SE KONTROLIŠU I PREGLEDAJU OD STRANE NADLEŽNIH	1	2	3	4	5
4RO.	USLOVI RADNE OKOLINE (TEMPERATURA, VLAŽNOST, PRAŠINA...) ZADOVOLJAVAJUĆI SU (OSEĆAM SE PRIJATNO DOK RADIM)	1	2	3	4	5
1IR.	NA MOM RADNOM MESTU IZLOŽEN SAM RIZIKU OD IZNENADNOG OBRUŠAVANJA, IZBOJA GASA, VODE...	1	2	3	4	5
2IR.	KOLEGE SA KOJIMA RADIM SU STRUČNE I SVOJ POSAO OBAVLJAJU BEZBEDNO (OSEĆAM SE BEZBEDNO DOK RADIM SA NJIMA)	1	2	3	4	5
3IR.	RADNO ISKUSTVO UTIČE NA BEZBEDAN RAD NA MOM RADNOM MESTU	1	2	3	4	5
4IR.	DEŠAVA SE DA PONEKAD ZBOG UBRZANOG TEMPA RADA PRESKAČEM BEZBEDNOSNE PROCEDURE	1	2	3	4	5
5IR.	NOĆNI RAD I RAD U SMENAMA ME ISCRPLJUJE	1	2	3	4	5
1M.	MOJI NADREĐENI VODE RAČUNA O BEZBEDNOSTI I SAMI SE PONAŠAJU BEZBEDNO	1	2	3	4	5
2M.	MENADŽMENT SMATRA DA JE BEZBEDNOST VAŽNA BAR KOLIKO I PROIZVODNJA	1	2	3	4	5
3M.	MOJI NADREĐENI ZAUSTAVIĆE RAD U SLUČAJU DA SE OBAVLJA NEBEZBEDNO	1	2	3	4	5
4M.	SLOBODAN SAM DA SVOJIM NADREĐENIMA IZNESEM PROBLEME KOJE IMAM U VEZI SA RADOM	1	2	3	4	5
5M.	MOJI NADREĐENI ISTIČU ZNAČAJ BEZBEDNOSTI I I OTVORENO DISKUTUJEMO O NJOJ	1	2	3	4	5
1O.	MOJI NADREĐENI UVEK ORGANIZUJU RADNI PROCES U SKALDU SA MERAMA BZR	1	2	3	4	5
2O.	ORGANIZACIJA RADA JE TAKVA DA SE RADNICI MEĐUSOBNO NE UGROŽAVAJU (TJ. POSLOVI KOJE JA OBAVLJAM NE UGROŽAVAJU MOJE KOLEGE)	1	2	3	4	5
3O.	ORGANIZACIJA RADA JE TAKVA DA PONEKAD OSTAJEM I POSLE RADNOG VREMENA	1	2	3	4	5
4O.	ORGANIZACIJA RADA JE USKLAĐENA SA DINAMIKOM RADA (TEMPO RADA MI ODGOVARA)	1	2	3	4	5
1OB.	MISLIM DA JE OBUKA ZA RAD NEOPHODNA ZA RAD NA MOM RADNOM MESTU	1	2	3	4	5
2OB.	SMATRAM DA SU OBUKE ZA RAD, PROCEDURE I UPUTSTVA ZA RAD ADEKVATNE, TJ. PRILAGOĐENE ZA RAD NA MOM RADNOM MESTU	1	2	3	4	5
3OB.	OBUKE ZA RAD SPROVODE STRUČNA LICA	1	2	3	4	5

PRILOG 2 – ANOVA test

REZULTATI ANOVA TESTA ZA PARAMETAR PROIZVODNA JEDINICA							
Naziv pitanja	Proizvodna jedinica	Br. ispitanika	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p
PPE_1 Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu	Aleksinac	107	4,70	0,703	0,068	0,842	0,588
	Lubnica	128	4,75	0,676	0,060		
	Bogovina	98	4,76	0,813	0,082		
	Sokobanja	73	4,73	0,838	0,098		
	Ibarski	180	4,74	0,794	0,059		
	Jasenovac	92	4,80	0,616	0,064		
	Štavalj	119	4,83	0,557	0,051		
	Vrška Čuka	52	4,83	0,430	0,060		
	Senjski	42	4,71	0,891	0,138		
	Vodna	48	4,83	0,630	0,091		
PPE_2 Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim	Resavica	112	4,60	0,972	0,092	1,281	0,236
	Ukupno	1051	4,75	0,743	0,023		
	Aleksinac	107	3,97	1,185	0,115		
	Lubnica	128	4,07	1,102	0,097		
	Bogovina	98	3,84	1,266	0,128		
	Sokobanja	73	4,18	1,018	0,119		
	Ibarski	180	3,99	1,233	0,092		
	Jasenovac	92	3,98	1,167	0,122		
	Štavalj	119	4,11	1,170	0,107		
	Vrška Čuka	52	4,35	0,947	0,131		
PPE_3 Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)	Senjski	42	3,74	1,363	0,210	1,368	0,190
	Vodna	48	4,10	1,036	0,150		
	Resavica	112	3,91	1,182	0,112		
	Ukupno	1051	4,01	1,169	0,036		
	Aleksinac	107	3,72	1,577	0,152		
	Lubnica	128	3,80	1,506	0,133		
	Bogovina	98	3,58	1,579	0,160		
	Sokobanja	73	3,86	1,503	0,176		
	Ibarski	180	3,89	1,482	0,110		
	Jasenovac	92	3,92	1,361	0,142		
PPE_4 Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	Štavalj	119	4,08	1,385	0,127	1,013	0,430
	Vrška Čuka	52	4,19	1,269	0,176		
	Senjski	42	3,93	1,504	0,232		
	Vodna	48	3,63	1,424	0,205		
	Resavica	112	3,62	1,683	0,159		
	Ukupno	1051	3,83	1,499	0,046		
	Aleksinac	107	4,35	1,100	0,106		
	Lubnica	128	4,38	0,988	0,087		
	Bogovina	98	4,24	1,131	0,114		
	Sokobanja	73	4,42	0,985	0,115		
PPE_5 Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva	Ibarski	180	4,26	1,140	0,085	1,107	0,354
	Jasenovac	92	4,29	1,144	0,119		
	Štavalj	119	4,45	0,909	0,083		
	Vrška Čuka	52	4,48	1,057	0,147		
	Senjski	42	4,31	1,199	0,185		
	Vodna	48	4,46	0,824	0,119		
	Resavica	112	4,11	1,290	0,122		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
	Aleksinac	107	4,75	0,616	0,060		
	Lubnica	128	4,65	0,671	0,059		
Bogovina	98	4,60	0,939	0,095			
Sokobanja	73	4,66	0,786	0,092			
Ibarski	180	4,63	0,776	0,058			
Jasenovac	92	4,61	0,755	0,079			
Štavalj	119	4,71	0,715	0,066			
Vrška Čuka	52	4,81	0,525	0,073			
Senjski	42	4,64	0,759	0,117			
Vodna	48	4,81	0,394	0,057			
Resavica	112	4,52	0,995	0,094			

	Ukupno	1051	4,66	0,761	0,023		
	Aleksinac	107	4,17	1,217	0,118		
	Lubnica	128	4,25	1,177	0,104		
	Bogovina	98	4,07	1,286	0,130		
	Sokobanja	73	4,40	1,127	0,132		
WEM_1	Ibarski	180	4,25	1,263	0,094		
Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena	Jasenovac	92	4,25	1,145	0,119	1,221	0,273
	Štavalj	119	4,39	1,067	0,098		
	Vrška Čuka	52	4,40	0,995	0,138		
	Senjski	42	4,33	1,243	0,192		
	Vodna	48	4,06	1,262	0,182		
	Resavica	112	3,99	1,424	0,135		
	Ukupno	1051	4,23	1,217	0,038		
	Aleksinac	107	4,28	1,097	0,106		
	Lubnica	128	4,30	1,153	0,102		
	Bogovina	98	4,11	1,174	0,119		
	Sokobanja	73	4,30	1,050	0,123		
WEM_2	Ibarski	180	4,25	1,176	0,088		
Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu	Jasenovac	92	4,27	1,140	0,119	1,043	0,405
	Štavalj	119	4,51	0,964	0,088		
	Vrška Čuka	52	4,48	0,828	0,115		
	Senjski	42	4,21	1,138	0,176		
	Vodna	48	4,21	1,184	0,171		
	Resavica	112	4,18	1,232	0,116		
	Ukupno	1051	4,28	1,121	0,035		
	Aleksinac	107	4,24	1,148	0,111		
	Lubnica	128	4,28	1,122	0,099		
	Bogovina	98	4,19	1,181	0,119		
	Sokobanja	73	4,23	1,149	0,134		
WEM_3	Ibarski	180	4,19	1,236	0,092		
Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	Jasenovac	92	4,10	1,232	0,128	0,723	0,703
	Štavalj	119	4,39	1,034	0,095		
	Vrška Čuka	52	4,35	0,837	0,116		
	Senjski	42	4,02	1,239	0,191		
	Vodna	48	4,15	1,321	0,191		
	Resavica	112	4,09	1,319	0,125		
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,036		
	Aleksinac	107	3,50	1,532	0,148		
	Lubnica	128	3,52	1,392	0,123		
	Bogovina	98	3,37	1,373	0,139		
WEM_4	Sokobanja	73	3,49	1,425	0,167		
	Ibarski	180	3,41	1,452	0,108		
Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)	Jasenovac	92	3,30	1,532	0,160	0,555	0,851
	Štavalj	119	3,60	1,317	0,121		
	Vrška Čuka	52	3,42	1,304	0,181		
	Senjski	42	3,50	1,502	0,232		
	Vodna	48	3,31	1,417	0,204		
	Resavica	112	3,26	1,463	0,138		
	Ukupno	1051	3,43	1,428	0,044		
	Aleksinac	107	4,35	1,100	0,106		
	Lubnica	128	4,38	0,988	0,087		
	Bogovina	98	4,24	1,131	0,114		
WE_1	Sokobanja	73	4,42	0,985	0,115		
Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanja, izboja gasa, vode...	Ibarski	180	4,26	1,140	0,085		
	Jasenovac	92	4,29	1,144	0,119	1,013	0,430
	Štavalj	119	4,45	0,909	0,083		
	Vrška Čuka	52	4,48	1,057	0,147		
	Senjski	42	4,31	1,199	0,185		
	Vodna	48	4,46	0,824	0,119		
	Resavica	112	4,11	1,290	0,122		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
	Aleksinac	107	4,51	0,769	0,074		
WE_2	Lubnica	128	4,66	0,704	0,062		
Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	Bogovina	98	4,34	0,930	0,094		
	Sokobanja	73	4,52	0,852	0,100	2,692	0,003
	Ibarski	180	4,56	0,778	0,058		
	Jasenovac	92	4,57	0,731	0,076		
	Štavalj	119	4,66	0,858	0,079		
	Vrška Čuka	52	4,54	0,828	0,115		

	Senjski	42	4,31	1,070	0,165		
	Vodna	48	4,35	1,082	0,156		
	Resavica	112	4,22	1,206	0,114		
	Ukupno	1051	4,50	0,886	0,027		
	Aleksinac	107	4,35	1,100	0,106		
	Lubnica	128	4,38	0,988	0,087		
	Bogovina	98	4,24	1,131	0,114		
	Sokobanja	73	4,42	0,985	0,115		
WE_3	Ibarski	180	4,26	1,140	0,085		
Radno iskustvo utiče na	Jasenovac	92	4,29	1,144	0,119	1,013	0,430
bezbedan rad na mom radnom	Štavalj	119	4,45	0,909	0,083		
mestu	Vrška Čuka	52	4,48	1,057	0,147		
	Senjski	42	4,31	1,199	0,185		
	Vodna	48	4,46	0,824	0,119		
	Resavica	112	4,11	1,290	0,122		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
	Aleksinac	107	4,24	1,140	0,110		
	Lubnica	128	4,29	1,116	0,099		
	Bogovina	98	4,23	1,129	0,114		
WE_4	Sokobanja	73	4,44	0,972	0,114		
Dešava se da ponekad zbog	Ibarski	180	4,23	1,152	0,086		
ubrzanog tempa rada	Jasenovac	92	4,30	1,097	0,114	1,216	0,276
preskačem bezbednosne	Štavalj	119	4,41	0,951	0,087		
procedure	Vrška Čuka	52	4,52	1,057	0,147		
	Senjski	42	4,29	1,195	0,184		
	Vodna	48	4,42	0,821	0,118		
	Resavica	112	4,04	1,276	0,121		
	Ukupno	1051	4,29	1,106	0,034		
	Aleksinac	107	3,95	1,313	0,127		
	Lubnica	128	3,86	1,402	0,124		
	Bogovina	98	3,58	1,492	0,151		
	Sokobanja	73	3,74	1,291	0,151		
	Ibarski	180	3,76	1,396	0,104		
WE_5	Jasenovac	92	3,73	1,392	0,145	2,374	0,009
Noćni rad i rad u smenama me	Štavalj	119	3,43	1,587	0,145		
iscrpljuje	Vrška Čuka	52	3,27	1,535	0,213		
	Senjski	42	3,10	1,832	0,283		
	Vodna	48	3,90	1,519	0,219		
	Resavica	112	3,46	1,734	0,164		
	Ukupno	1051	3,66	1,494	0,046		
	Aleksinac	107	4,24	1,172	0,113		
	Lubnica	128	4,29	1,198	0,106		
	Bogovina	98	4,23	1,129	0,114		
	Sokobanja	73	4,25	1,199	0,140		
M_1	Ibarski	180	4,19	1,259	0,094		
Moji nadređeni vode računa o	Jasenovac	92	4,37	0,946	0,099	0,999	0,442
bezbednosti i sami se ponašaju	Štavalj	119	4,36	1,064	0,097		
bezbedno	Vrška Čuka	52	4,65	0,653	0,091		
	Senjski	42	4,10	1,303	0,201		
	Vodna	48	4,23	1,225	0,177		
	Resavica	112	4,19	1,182	0,112		
	Ukupno	1051	4,27	1,148	0,035		
	Aleksinac	107	4,22	1,254	0,121		
	Lubnica	128	4,34	1,152	0,102		
	Bogovina	98	3,96	1,276	0,129		
	Sokobanja	73	4,05	1,311	0,153		
M_2	Ibarski	180	4,22	1,274	0,095		
Menadžment smatra da je	Jasenovac	92	4,17	1,182	0,123	1,157	0,316
bezbednost važna bar koliko i	Štavalj	119	4,30	1,225	0,112		
proizvodnja	Vrška Čuka	52	4,52	0,939	0,130		
	Senjski	42	4,26	1,061	0,164		
	Vodna	48	4,04	1,320	0,191		
	Resavica	112	4,20	1,328	0,125		
	Ukupno	1051	4,21	1,234	0,038		
M_3	Aleksinac	107	4,42	0,922	0,089		
Moji nadređeni zaustaviće rad u	Lubnica	128	4,23	1,133	0,100		
slučaju da se obavljaju	Bogovina	98	3,99	1,425	0,144	1,365	0,191
nebezbedno	Sokobanja	73	4,15	1,210	0,142		
	Ibarski	180	4,06	1,285	0,096		

	Jasenovac	92	4,28	1,132	0,118		
	Štavalj	119	4,34	1,076	0,099		
	Vrška Čuka	52	4,37	1,121	0,155		
	Senjski	42	4,24	1,165	0,180		
	Vodna	48	4,15	1,220	0,176		
	Resavica	112	4,09	1,298	0,123		
	Ukupno	1051	4,20	1,195	0,037		
	Aleksinac	107	4,51	0,883	0,085		
	Lubnica	128	4,49	0,860	0,076		
	Bogovina	98	4,19	1,207	0,122		
	Sokobanja	73	4,36	0,991	0,116		
M_4	Ibarski	180	4,39	1,116	0,083		
Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	Jasenovac	92	4,48	0,931	0,097	1,341	0,203
	Štavalj	119	4,54	0,800	0,073		
	Vrška Čuka	52	4,62	0,771	0,107		
	Senjski	42	4,38	0,962	0,148		
	Vodna	48	4,52	0,922	0,133		
	Resavica	112	4,30	1,097	0,104		
	Ukupno	1051	4,43	0,986	0,030		
	Aleksinac	107	4,38	1,070	0,103		
	Lubnica	128	4,34	1,131	0,100		
	Bogovina	98	3,95	1,410	0,142		
	Sokobanja	73	4,16	1,258	0,147		
M_5	Ibarski	180	4,16	1,260	0,094		
Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj	Jasenovac	92	4,30	1,046	0,109	1,550	0,117
	Štavalj	119	4,42	1,062	0,097		
	Vrška Čuka	52	4,29	1,177	0,163		
	Senjski	42	4,45	1,017	0,157		
	Vodna	48	4,23	1,341	0,194		
	Resavica	112	4,07	1,393	0,132		
	Ukupno	1051	4,24	1,212	0,037		
	Aleksinac	107	4,36	1,012	0,098		
	Lubnica	128	4,33	0,965	0,085		
	Bogovina	98	3,93	1,364	0,138		
	Sokobanja	73	4,36	0,963	0,113		
OR_1	Ibarski	180	4,31	0,998	0,074		
Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR	Jasenovac	92	4,36	0,979	0,102	1,765	0,063
	Štavalj	119	4,45	0,963	0,088		
	Vrška Čuka	52	4,42	0,893	0,124		
	Senjski	42	4,31	0,975	0,150		
	Vodna	48	4,25	1,120	0,162		
	Resavica	112	4,18	1,210	0,114		
	Ukupno	1051	4,29	1,055	0,033		
	Aleksinac	107	4,44	0,943	0,091		
	Lubnica	128	4,47	0,922	0,081		
	Bogovina	98	4,19	1,207	0,122		
	Sokobanja	73	4,14	1,194	0,140		
OR_2	Ibarski	180	4,39	1,022	0,076		
Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	Jasenovac	92	4,36	1,033	0,108	1,366	0,191
	Štavalj	119	4,49	1,040	0,095		
	Vrška Čuka	52	4,60	0,721	0,100		
	Senjski	42	4,36	1,100	0,170		
	Vodna	48	4,46	0,967	0,140		
	Resavica	112	4,27	1,123	0,106		
	Ukupno	1051	4,38	1,039	0,032		
	Aleksinac	107	4,16	1,100	0,106		
	Lubnica	128	4,24	0,929	0,082		
	Bogovina	98	3,79	1,379	0,139		
	Sokobanja	73	4,04	1,148	0,134		
OR_4	Ibarski	180	3,92	1,217	0,091		
Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena	Jasenovac	92	4,08	1,092	0,114	2,394	0,008
	Štavalj	119	4,26	1,021	0,094		
	Vrška Čuka	52	4,10	1,209	0,168		
	Senjski	42	4,12	1,131	0,174		
	Vodna	48	4,17	1,117	0,161		
	Resavica	112	3,75	1,325	0,125		
	Ukupno	1051	4,04	1,165	0,036		
	Aleksinac	107	4,72	0,595	0,058		
T_1	Lubnica	128	4,59	0,892	0,079	3,286	0,000

Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu	Bogovina	98	4,41	1,120	0,113		
	Sokobanja	73	4,62	0,844	0,099		
	Ibarski	180	4,68	0,751	0,056		
	Jasenovac	92	4,48	1,064	0,111		
	Štavalj	119	4,85	0,498	0,046		
	Vrška Čuka	52	4,67	0,760	0,105		
	Senjski	42	4,36	1,340	0,207		
	Vodna	48	4,85	0,618	0,089		
	Resavica	112	4,39	1,157	0,109		
	Ukupno	1051	4,61	0,895	0,028		
	Aleksinac	107	4,36	1,013	0,098		
	Lubnica	128	4,42	0,919	0,081		
	Bogovina	98	4,13	1,273	0,129		
	Sokobanja	73	4,53	0,899	0,105		
	T_2 Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu	Ibarski	180	4,28	1,015	0,076	2,653
Jasenovac	92	4,39	0,925	0,096			
Štavalj	119	4,56	0,732	0,067			
Vrška Čuka	52	4,52	0,896	0,124			
Senjski	42	4,17	1,305	0,201			
Vodna	48	4,35	1,062	0,153			
Resavica	112	4,04	1,252	0,118			
Ukupno	1051	4,34	1,034	0,032			
Aleksinac	107	4,63	0,795	0,077			
Lubnica	128	4,60	0,863	0,076			
Bogovina	98	4,48	1,057	0,107			
Sokobanja	73	4,63	0,936	0,109			
Ibarski	180	4,62	0,873	0,065			
Jasenovac	92	4,55	0,869	0,091			
T_3 Obuke za rad sprovode stručna lica	Štavalj	119	4,62	0,939	0,086	0,921	
Vrška Čuka	52	4,77	0,807	0,112			
Senjski	42	4,60	0,939	0,145			
Vodna	48	4,60	0,869	0,125			
Resavica	112	4,39	1,126	0,106			
Ukupno	1051	4,58	0,924	0,028			

REZULTATI ANOVA TESTA ZA PARAMETAR PROIZVODNA JEDINICA

Naziv pitanja	Godine starosti	Br. ispitanika	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parametar F	Verovatnoća p		
PPE_1 Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu	18-25	82	4,96	0,189	0,021				
	26-35	278	4,71	0,699	0,042				
	36-45	307	4,71	0,938	0,054				
	46-55	265	4,80	0,657	0,040	0,065	0,016		
	156-65	119	4,65	0,659	0,060				
Ukupno	1051	4,75	0,743	0,023					
PPE_2 Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim	18-25	82	3,70	1,108	0,122				
	26-35	278	3,82	1,298	0,078				
	36-45	307	3,92	1,320	0,075				
	46-55	265	4,22	0,893	0,055	1,013	0,000		
	156-65	119	4,48	0,757	0,069				
Ukupno	1051	4,01	1,169	0,036					
PPE_3 Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)	18-25	82	3,17	1,706	0,188				
	26-35	278	3,95	1,448	0,087				
	36-45	307	3,90	1,513	0,086				
	46-55	265	3,58	1,516	0,093	1,042	0,000		
	156-65	119	4,39	1,091	0,100				
Ukupno	1051	3,83	1,499	0,046					
PPE_4 Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	18-25	82	4,32	0,718	0,079				
	26-35	278	4,04	1,362	0,082				
	36-45	307	4,35	1,182	0,067				
	46-55	265	4,41	0,808	0,050	0,405	0,000		
	156-65	119	4,72	0,596	0,055				
Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034					

PPE_5	18-25	82	4,78	0,786	0,087		
Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva	26-35	278	4,56	0,816	0,049		
	36-45	307	4,61	0,854	0,049		
	46-55	265	4,77	0,604	0,037		
	156-65	119	4,66	0,628	0,058	0,534	0,007
	Ukupno	1051	4,66	0,761	0,023		
WEM_1	18-25	82	3,94	1,518	0,168		
Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena	26-35	278	4,31	1,138	0,068		
	36-45	307	4,09	1,449	0,083		
	46-55	265	4,23	1,020	0,063		
	156-65	119	4,58	0,742	0,068	0,919	0,001
	Ukupno	1051	4,23	1,217	0,038		
WEM_2	18-25	82	4,23	0,998	0,110		
Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu	26-35	278	4,35	1,197	0,072		
	36-45	307	4,15	1,254	0,072		
	46-55	265	4,24	1,027	0,063		
	156-65	119	4,60	0,740	0,068	0,797	0,005
	Ukupno	1051	4,28	1,121	0,035		
WEM_3	18-25	82	3,71	1,486	0,164		
Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	26-35	278	4,21	1,173	0,070		
	36-45	307	4,30	1,243	0,071		
	46-55	265	4,14	1,120	0,069		
	156-65	119	4,52	0,662	0,061	0,680	0,000
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,036		
WEM_4	18-25	82	3,30	1,119	0,124		
Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)	26-35	278	3,53	1,400	0,084		
	36-45	307	3,41	1,487	0,085		
	46-55	265	3,14	1,512	0,093		
	156-65	119	3,98	1,142	0,105	0,904	0,000
	Ukupno	1051	3,43	1,428	0,044		
WE_1	18-25	82	4,32	0,718	0,079		
Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanja, izboja gasa, vode...	26-35	278	4,04	1,362	0,082		
	36-45	307	4,35	1,182	0,067		
	46-55	265	4,41	0,808	0,050		
	156-65	119	4,72	0,596	0,055	0,405	0,000
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
WE_2	18-25	82	4,66	0,773	0,085		
Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	26-35	278	4,62	0,668	0,040		
	36-45	307	4,24	1,203	0,069		
	46-55	265	4,51	0,749	0,046		
	156-65	119	4,74	0,495	0,045	0,858	0,000
	Ukupno	1051	4,50	0,886	0,027		
WE_3	18-25	82	4,32	0,718	0,079		
Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu	26-35	278	4,04	1,362	0,082		
	36-45	307	4,35	1,182	0,067		
	46-55	265	4,41	0,808	0,050		
	156-65	119	4,72	0,596	0,055	0,405	0,000
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
WE_4	18-25	82	4,32	0,718	0,079		
Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure	26-35	278	4,02	1,358	0,081		
	36-45	307	4,33	1,182	0,067		
	46-55	265	4,34	0,891	0,055		
	156-65	119	4,66	0,694	0,064	0,897	0,000
	Ukupno	1051	4,29	1,106	0,034		
WE_5	18-25	82	2,99	1,622	0,179		
Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje	26-35	278	3,52	1,594	0,096		
	36-45	307	3,63	1,508	0,086		
	46-55	265	3,97	1,321	0,081		
	156-65	119	3,82	1,300	0,119	0,161	0,000
	Ukupno	1051	3,66	1,494	0,046		
M_1	18-25	82	4,44	0,833	0,092		
Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno	26-35	278	4,33	1,107	0,066		
	36-45	307	4,12	1,316	0,075		
	46-55	265	4,29	1,002	0,062		
	156-65	119	4,37	1,241	0,114	0,241	0,063
	Ukupno	1051	4,27	1,148	0,035		
M_2	18-25	82	3,71	1,710	0,189		
	26-35	278	4,29	1,091	0,065		
	36-45	307	4,14	1,296	0,074		

Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja	46-55	265	4,22	1,195	0,073		
	156-65	119	4,52	0,937	0,086		
	Ukupno	1051	4,21	1,234	0,038	0,010	0,000
M_3	18-25	82	4,45	1,124	0,124		
Moji nadređeni zaustaviće rad u slučaju da se obavlja nebezbedno	26-35	278	4,28	1,034	0,062		
	36-45	307	4,14	1,262	0,072		
	46-55	265	4,12	1,251	0,077		
	156-65	119	4,13	1,273	0,117	0,775	0,132
	Ukupno	1051	4,20	1,195	0,037		
M_4	18-25	82	4,63	0,949	0,105		
Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	26-35	278	4,32	1,044	0,063		
	36-45	307	4,43	1,031	0,059		
	46-55	265	4,37	0,933	0,057		
	156-65	119	4,66	0,805	0,074	0,725	0,005
	Ukupno	1051	4,43	0,986	0,030		
M_5	18-25	82	4,48	0,997	0,110		
Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj	26-35	278	4,14	1,221	0,073		
	36-45	307	4,07	1,425	0,081		
	46-55	265	4,28	1,107	0,068		
	156-65	119	4,66	0,753	0,069	0,529	0,000
	Ukupno	1051	4,24	1,212	0,037		
OR_1	18-25	82	4,39	0,953	0,105		
Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR	26-35	278	4,42	0,983	0,059		
	36-45	307	4,09	1,116	0,064		
	46-55	265	4,26	1,120	0,069		
	156-65	119	4,52	0,882	0,081	0,488	0,000
	Ukupno	1051	4,29	1,055	0,033		
OR_2	18-25	82	4,57	1,066	0,118		
Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	26-35	278	4,41	0,986	0,059		
	36-45	307	4,24	1,149	0,066		
	46-55	265	4,39	0,939	0,058		
	156-65	119	4,48	1,024	0,094	0,441	0,045
	Ukupno	1051	4,38	1,039	0,032		
OR_4	18-25	82	4,10	1,129	0,125		
Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena	26-35	278	4,08	1,139	0,068		
	36-45	307	3,95	1,257	0,072		
	46-55	265	4,00	1,075	0,066		
	156-65	119	4,27	1,184	0,109	0,840	0,119
	Ukupno	1051	4,04	1,165	0,036		
T_1	18-25	82	4,51	0,572	0,063		
Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu	26-35	278	4,66	0,727	0,044		
	36-45	307	4,53	1,042	0,059		
	46-55	265	4,69	0,853	0,052		
	156-65	119	4,57	1,078	0,099	0,695	0,149
	Ukupno	1051	4,61	0,895	0,028		
T_2	18-25	82	4,24	0,988	0,109		
Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne tj. prilagodene za rad na mom radnom mestu	26-35	278	4,37	0,905	0,054		
	36-45	307	4,34	1,046	0,060		
	46-55	265	4,25	1,100	0,068		
	156-65	119	4,51	1,149	0,105	0,580	0,177
	Ukupno	1051	4,34	1,034	0,032		
T_3	18-25	82	4,61	0,871	0,096		
Obuke za rad sprovode stručna lica	26-35	278	4,63	0,747	0,045		
	36-45	307	4,59	1,010	0,058		
	46-55	265	4,41	1,062	0,065		
	156-65	119	4,82	0,676	0,062	0,557	0,001
	Ukupno	1051	4,58	0,924	0,028		

REZULTATI ANOVA TESTA ZA PARAMETAR KVALIFIKACIJA RADNIKA/STRUČNA SPREMA

Naziv pitanja	Godine starosti	Broj uzoraka	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parmetar F	Verovatnoća p
PPE_1 Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu	NK – Nekvalifikovan	308	4,88	0,497	0,028	7,221	0,000
	KV – Kvalifikovan	473	4,65	0,873	0,040		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,81	0,690	0,046		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,56	0,754	0,121		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,75	0,743	0,023		
PPE_2 Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim	NK – Nekvalifikovan	308	4,10	1,072	0,061	2,480	0,042
	KV – Kvalifikovan	473	3,92	1,221	0,056		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,03	1,174	0,078		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,21	1,218	0,195		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,01	1,169	0,036		
PPE_3 Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)	NK – Nekvalifikovan	308	4,15	1,298	0,074	9,458	0,000
	KV – Kvalifikovan	473	3,72	1,565	0,072		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	3,51	1,593	0,106		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,41	0,966	0,155		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	3,83	1,499	0,046		
PPE_4 Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	NK – Nekvalifikovan	308	4,45	0,945	0,054	4,266	0,002
	KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,185	0,054		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,32	1,050	0,070		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,49	0,970	0,155		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
PPE_5 Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva	NK – Nekvalifikovan	308	4,57	0,790	0,045	3,767	0,005
	KV – Kvalifikovan	473	4,69	0,797	0,037		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,76	0,573	0,038		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,38	0,963	0,154		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,66	0,761	0,023		
WEM_1 Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena	NK – Nekvalifikovan	308	4,44	1,109	0,063	4,554	0,001
	KV – Kvalifikovan	473	4,09	1,353	0,062		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,18	1,079	0,072		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,36	0,843	0,135		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,23	1,217	0,038		
WEM_2 Oprema za rad i mašine za rad su odgovarajuće za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu	NK – Nekvalifikovan	308	4,42	1,013	0,058	1,765	0,134
	KV – Kvalifikovan	473	4,25	1,140	0,052		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,18	1,217	0,081		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,28	1,169	0,187		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,28	1,121	0,035		
WEM_3 Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	NK – Nekvalifikovan	308	4,53	0,893	0,051	9,930	0,000
	KV – Kvalifikovan	473	4,00	1,299	0,060		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,20	1,193	0,080		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,31	1,004	0,161		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,036		
WEM_4 Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost,	NK – Nekvalifikovan	308	3,34	1,388	0,079	1,106	0,352
	KV – Kvalifikovan	473	3,41	1,453	0,067		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	3,52	1,467	0,098		

prašina...)	VS – Visoka stručna sprema	39	3,69	1,280	0,205		
zadovoljavajući su	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
(osećam se prijatno dok radim)	Ukupno	1051	3,43	1,428	0,044		
WE_1	NK – Nekvalifikovan	308	4,45	0,945	0,054		
Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanja, izboja gasa, vode...	KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,185	0,054		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,32	1,050	0,070	4,266	0,002
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,49	0,970	0,155		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
WE_2	NK – Nekvalifikovan	308	4,52	0,953	0,054		
Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	KV – Kvalifikovan	473	4,45	0,901	0,041		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,61	0,725	0,048	2,273	0,060
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,28	0,999	0,160		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,50	0,886	0,027		
WE_3	NK – Nekvalifikovan	308	4,45	0,945	0,054		
Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu	KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,185	0,054		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,32	1,050	0,070	4,266	0,002
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,49	0,970	0,155		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,034		
WE_4	NK – Nekvalifikovan	308	4,43	0,964	0,055		
Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure	KV – Kvalifikovan	473	4,22	1,183	0,054		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,22	1,120	0,075	4,152	0,002
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,44	0,995	0,159		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	3,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,29	1,106	0,034		
WE_5	NK – Nekvalifikovan	308	3,90	1,410	0,080		
Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje	KV – Kvalifikovan	473	3,39	1,569	0,072		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	3,83	1,407	0,094	7,372	0,000
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,00	1,277	0,205		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	3,66	1,494	0,046		
M_1	NK – Nekvalifikovan	308	4,18	1,228	0,070		
Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno	KV – Kvalifikovan	473	4,25	1,162	0,053		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,46	0,954	0,064	3,007	0,018
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,05	1,297	0,208		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,27	1,148	0,035		
M_2	NK – Nekvalifikovan	308	4,24	1,233	0,070		
Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja	KV – Kvalifikovan	473	4,19	1,260	0,058		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,20	1,209	0,081	0,729	0,572
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,18	1,144	0,183		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,21	1,234	0,038		
M_3	NK – Nekvalifikovan	308	4,15	1,335	0,076		
Moji nadređeni zaustaviće rad u slučaju da se obavalja nebezbedno	KV – Kvalifikovan	473	4,31	1,037	0,048		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,04	1,271	0,085	3,188	0,013
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,00	1,318	0,211		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,20	1,195	0,037		
M_4	NK – Nekvalifikovan	308	4,54	0,921	0,052		
Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	KV – Kvalifikovan	473	4,42	0,952	0,044		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,36	1,039	0,069	5,285	0,000
	VS – Visoka stručna sprema	39	3,85	1,368	0,219		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,43	0,986	0,030		
M_5	NK – Nekvalifikovan	308	4,28	1,286	0,073		
	KV – Kvalifikovan	473	4,27	1,163	0,053	1,386	0,237

Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,13	1,231	0,082		
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,08	1,133	0,181		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,24	1,212	0,037		
OR_1 Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR	NK – Nekvalifikovan	308	4,31	1,112	0,063		
	KV – Kvalifikovan	473	4,33	1,009	0,046		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,25	1,013	0,068	0,994	0,410
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,03	1,405	0,225		
OR_2 Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,29	1,055	0,033		
	NK – Nekvalifikovan	308	4,52	0,904	0,052		
	KV – Kvalifikovan	473	4,25	1,153	0,053		
OR_4 Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,40	0,978	0,065	3,977	0,003
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,62	0,782	0,125		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,38	1,039	0,032		
T_1 Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na mom radnom mestu	NK – Nekvalifikovan	308	4,11	1,108	0,063		
	KV – Kvalifikovan	473	3,96	1,232	0,057		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,09	1,102	0,073	1,991	0,094
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,05	1,146	0,183		
T_2 Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom radnom mestu	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,04	1,165	0,036		
	NK – Nekvalifikovan	308	4,69	0,693	0,039		
	KV – Kvalifikovan	473	4,52	1,105	0,051		
T_3 Obuke za rad sprovode stručna lica	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,68	0,610	0,041	2,835	0,023
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,67	0,806	0,129		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	4,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,61	0,895	0,028		
	NK – Nekvalifikovan	308	4,41	0,903	0,051		
	KV – Kvalifikovan	473	4,24	1,159	0,053		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,45	0,896	0,060	2,803	0,025
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,23	1,111	0,178		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,34	1,034	0,032		
	NK – Nekvalifikovan	308	4,77	0,759	0,043		
	KV – Kvalifikovan	473	4,47	1,019	0,047		
	SSS – Srednja stručna sprema	225	4,52	0,936	0,062	6,168	0,000
	VS – Visoka stručna sprema	39	4,79	0,570	0,091		
	Dr/Ms – Doktorat/Master	6	5,00	0,000	0,000		
	Ukupno	1051	4,58	0,924	0,028		

REZULTATI ANOVA TESTA ZA PARAMETAR GODINE RADNOG STAŽA

Naziv pitanja	Godine starosti	Broj uzoraka	Srednja vrednost	Standardna devijacija	Std. greška	Parmeta r F	Verovatnoća p
PPE_1 Smatram da su lična zaštitna sredstva neophodna za rad na mom radnom mestu	0-10	450	4,68	0,888	0,0419	3,144	0,014
	11-15	160	4,82	0,525	0,0415		
	16-20	105	4,82	0,476	0,0465		
	21-25	124	4,90	0,484	0,0435		
	26-35	212	4,71	0,760	0,0522		
	Ukupno	1051	4,75	0,743	0,0229		
PPE_2 Lična zaštitna sredstva su udobna i ne smetaju mi dok radim	0-10	450	3,78	1,342	0,0633	8,715	0,000
	11-15	160	4,17	1,139	0,0901		
	16-20	105	4,17	0,925	0,0902		
	21-25	124	4,07	0,973	0,0873		
	26-35	212	4,28	0,894	0,0614		
	Ukupno	1051	4,01	1,169	0,0361		
PPE_3 Lična zaštitna sredstva su mi dostupna (u slučaju da ih izgubim ili pocepam, mogu da dobijem druga)	0-10	450	3,83	1,556	0,0734	0,048	0,996
	11-15	160	3,79	1,560	0,1233		
	16-20	105	3,85	1,518	0,1481		
	21-25	124	3,85	1,583	0,1421		
	26-35	212	3,85	1,264	0,0868		
	Ukupno	1051	3,83	1,499	0,0462		
PPE_4 Kolektivna zaštitna sredstva (protivpožarni aparati, merači gasno-ventilacionih parametara...) ispravna su i prisutna na mom radnom mestu	0-10	450	4,10	1,298	0,0612	10,628	0,000
	11-15	160	4,35	1,150	0,0909		
	16-20	105	4,45	0,635	0,0620		
	21-25	124	4,67	0,472	0,0424		
	26-35	212	4,52	0,857	0,0588		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,0335		
PPE_5 Poznato mi je kako se pravilno i namenski upotrebljavaju kolektivna i lična zaštitna sredstva	0-10	450	4,58	0,902	0,0425	2,581	0,036
	11-15	160	4,73	0,672	0,0532		
	16-20	105	4,62	0,561	0,0548		
	21-25	124	4,75	0,488	0,0438		
	26-35	212	4,74	0,699	0,0480		
	Ukupno	1051	4,66	0,761	0,0235		
WEM_1 Oprema za rad koju koristim je ispravna, bezbedna i savremena	0-10	450	4,13	1,389	0,0655	3,594	0,006
	11-15	160	4,48	1,046	0,0827		
	16-20	105	4,43	0,795	0,0776		
	21-25	124	4,08	1,389	0,1247		
	26-35	212	4,23	0,953	0,0655		
	Ukupno	1051	4,23	1,217	0,0376		
WEM_2 Oprema za rad i mašine za rad odgovarajuće su za radne operacije koje obavljam na svom radnom mestu	0-10	450	4,23	1,282	0,0605	3,927	0,004
	11-15	160	4,48	0,918	0,0725		
	16-20	105	4,50	0,667	0,0651		
	21-25	124	4,03	1,126	0,1011		
	26-35	212	4,28	1,036	0,0712		
	Ukupno	1051	4,28	1,121	0,0346		
WEM_3 Oprema za rad i mašine za rad redovno se kontrolišu i pregledaju od strane nadležnih	0-10	450	4,00	1,376	0,0649	12,384	0,000
	11-15	160	4,36	1,054	0,0833		
	16-20	105	4,74	0,501	0,0488		
	21-25	124	4,50	0,841	0,0755		
	26-35	212	4,13	1,080	0,0742		
	Ukupno	1051	4,21	1,176	0,0363		
WEM_4 Uslovi radne okoline (temperatura, vlažnost, prašina...) zadovoljavajući su (osećam se prijatno dok radim)	0-10	450	3,48	1,381	0,0651	4,835	0,001
	11-15	160	3,77	1,472	0,1164		
	16-20	105	3,47	1,366	0,1333		
	21-25	124	3,15	1,507	0,1353		
	26-35	212	3,22	1,425	0,0979		
	Ukupno	1051	3,43	1,428	0,0441		
WE_1 Na mom radnom mestu sam izložen riziku od iznenadnog obrušavanja, izboja gasa, vode...	0-10	450	4,10	1,298	0,0612	10,628	0,000
	11-15	160	4,35	1,150	0,0909		
	16-20	105	4,45	0,635	0,0620		
	21-25	124	4,67	0,472	0,0424		
	26-35	212	4,52	0,857	0,0588		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,0335		
WE_2	0-10	450	4,56	0,822	0,0387	2,088	0,080
	11-15	160	4,40	1,083	0,0856		

Kolege sa kojima radim su stručne i svoj posao obavljaju bezbedno (osećam se bezbedno dok radim sa njima)	16–20	105	4,42	0,978	0,0955		
	21–25	124	4,37	1,032	0,0927		
	26–35	212	4,56	0,682	0,0469		
	Ukupno	1051	4,50	0,886	0,0273		
WE_3 Radno iskustvo utiče na bezbedan rad na mom radnom mestu	0–10	450	4,10	1,298	0,0612		
	11–15	160	4,35	1,150	0,0909		
	16–20	105	4,45	0,635	0,0620	10,628	0,000
	21–25	124	4,67	0,472	0,0424		
WE_4 Dešava se da ponekad zbog ubrzanog tempa rada preskačem bezbednosne procedure	26–35	212	4,52	0,857	0,0588		
	Ukupno	1051	4,32	1,087	0,0335		
	0–10	450	4,08	1,289	0,0608		
	11–15	160	4,33	1,152	0,0911		
WE_5 Noćni rad i rad u smenama me iscrpljuje	16–20	105	4,41	0,661	0,0645	8,065	0,000
	21–25	124	4,61	0,608	0,0546		
	26–35	212	4,43	0,969	0,0665		
	Ukupno	1051	4,29	1,106	0,0341		
M_1 Moji nadređeni vode računa o bezbednosti i sami se ponašaju bezbedno	0–10	450	3,48	1,563	0,0737		
	11–15	160	3,78	1,581	0,1250		
	16–20	105	3,80	1,444	0,1409	3,471	0,008
	21–25	124	3,98	1,284	0,1153		
M_2 Menadžment smatra da je bezbednost važna bar koliko i proizvodnja	26–35	212	3,67	1,374	0,0944		
	Ukupno	1051	3,66	1,494	0,0461		
	0–10	450	4,35	1,145	0,0540		
	11–15	160	4,10	1,161	0,0918		
M_3 Moji nadređeni će zaustaviti rad u slučaju da se obavljaju nebezbedno	16–20	105	4,24	0,904	0,0883	1,756	0,135
	21–25	124	4,17	1,413	0,1269		
	26–35	212	4,31	1,069	0,0734		
	Ukupno	1051	4,27	1,148	0,0354		
M_4 Slobodan sam da svojim nadređenima iznesem probleme koje imam u vezi sa radom	0–10	450	4,17	1,344	0,0634		
	11–15	160	4,10	1,193	0,0943		
	16–20	105	4,59	0,675	0,0659	2,996	0,018
	21–25	124	4,17	1,174	0,1054		
M_5 Moji nadređeni ističu značaj bezbednosti i otvoreno diskutujemo o njoj	26–35	212	4,21	1,242	0,0853		
	Ukupno	1051	4,21	1,234	0,0381		
	0–10	450	4,29	1,093	0,0515		
	11–15	160	4,28	1,110	0,0878		
OR_1 Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR	16–20	105	4,42	0,852	0,0832	5,038	0,001
	21–25	124	3,98	1,473	0,1323		
	26–35	212	3,96	1,371	0,0942		
	Ukupno	1051	4,20	1,195	0,0369		
OR_2 Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	0–10	450	4,35	1,097	0,0517		
	11–15	160	4,36	0,987	0,0780		
	16–20	105	4,60	0,767	0,0749	3,913	0,004
	21–25	124	4,69	0,603	0,0542		
OR_4 Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena	26–35	212	4,41	0,986	0,0677		
	Ukupno	1051	4,43	0,986	0,0304		
	0–10	450	4,16	1,219	0,0575		
	11–15	160	4,38	1,186	0,0937		
OR_2 Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	16–20	105	4,40	0,916	0,0894	1,561	0,182
	21–25	124	4,19	1,469	0,1319		
	26–35	212	4,26	1,174	0,0806		
	Ukupno	1051	4,24	1,212	0,0374		
OR_1 Moji nadređeni uvek organizuju radni proces u skladu sa merama BZR	0–10	450	4,37	1,019	0,0481		
	11–15	160	4,17	1,100	0,0870		
	16–20	105	4,22	0,951	0,0928	1,273	0,279
	21–25	124	4,29	1,088	0,0977		
OR_2 Organizacija rada je takva da se radnici međusobno ne ugrožavaju (tj. poslovi koje ja obavljam ne ugrožavaju moje kolege)	26–35	212	4,26	1,121	0,0770		
	Ukupno	1051	4,29	1,055	0,0326		
	0–10	450	4,42	1,057	0,0498		
	11–15	160	4,18	1,202	0,0950		
OR_4 Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena	16–20	105	4,45	0,720	0,0703	2,496	0,041
	21–25	124	4,51	0,811	0,0729		
	26–35	212	4,31	1,100	0,0756		
	Ukupno	1051	4,38	1,039	0,0320		
OR_4 Organizacija rada je takva da ponekad ostajem i posle radnog vremena	0–10	450	4,02	1,189	0,0561		
	11–15	160	4,14	1,132	0,0895		
	16–20	105	4,36	0,867	0,0846	3,602	0,006
	21–25	124	3,82	1,223	0,1099		
	26–35	212	3,98	1,204	0,0827		

	Ukupno	1051	4,04	1,165	0,0359		
	0-10	450	4,55	0,827	0,0390		
T_1	11-15	160	4,64	0,901	0,0712		
Mislim da je obuka za rad neophodna za rad na	16-20	105	4,85	0,585	0,0571	2,396	0,049
mom radnom mestu	21-25	124	4,61	1,057	0,0949		
	26-35	212	4,58	1,029	0,0707		
	Ukupno	1051	4,61	0,895	0,0276		
	0-10	450	4,29	0,999	0,0471		
T_2	11-15	160	4,46	0,924	0,0731		
Smatram da su obuke za rad, procedure i uputstva	16-20	105	4,51	0,774	0,0755	2,237	0,063
za rad adekvatne, tj. prilagođene za rad na mom	21-25	124	4,19	1,214	0,1090		
radnom mestu	26-35	212	4,34	1,164	0,0799		
	Ukupno	1051	4,34	1,034	0,0319		
	0-10	450	4,60	0,875	0,0412		
	11-15	160	4,38	1,176	0,0929		
T_3	16-20	105	4,83	0,448	0,0438	4,651	0,001
Obuke za rad sprovode stručna lica	21-25	124	4,69	0,790	0,0709		
	26-35	212	4,50	1,019	0,0700		
	Ukupno	1051	4,58	0,924	0,0285		

BIOGRAFIJA KANDIDATA I SPISAK NAUČNIH RADOVA

Kandidat Jelena Ivaz rođena je 7.3.1982. godine u Boru.

Osnovnu školu završila je u Boljevcu 1997. godine, srednju Saobraćajnu školu (smer Nautički tehničar) završila je 2001. godine u Novom Sadu. Diplomirala je na Tehničkom fakultetu u Boru na smeru Eksploatacija ležišta mineralnih sirovina sa prosečnom ocenom 8,33. Diplomski rad „Idejno rešenje površinske eksploatacije granodiorita na lokalitetu Duboki potok kod Boljevca“ odbranila je 30.3.2010. sa ocenom 10 (deset).

Stručni ispit položila je 24.2.2012. u Savezu inženjera i tehničara Srbije u Beogradu (Uverenje br. 5816/R, izdato 27.6.2012.). Stručni ispit iz oblasti zaštite od požara za lica sa visokim obrazovanjem položila je 27.6.2015. godine (Uverenje br. 152–1–1841/15, 3.7.2015.). Stručni ispit o praktičnoj osposobljenosti za obavljanje poslova bezbednosti i zdravlja na radu položila je 10.12.2017. (Uverenje br. 152–02–00269/2017–01, 10.12.2017.). Položila je ispit za člana Čete za spasavanje u rudnicima (del. br. 4848/2. 25.10.2013.). Osposobljena je za organizaciju i pružanje prve pomoći.

Od oktobra 2016. godine zaposlena je na Tehničkom fakultetu u Boru kao saradnik u nastavi u zvanju asistenta, za užu naučnu oblast Rudarstvo i geologija – rudarska grupa predmeta, sa punim radnim vremenom. Imenovana je za Odgovorno lice za bezbednost i zdravlje na radu na Tehničkom fakultetu u Boru, odlukom br. I/6–682, 2017. godine. Sertifikovani je interni proverivač za standard Sistemi menadžmenta bezbednošću i zdravljem na radu ISO 45001: 2018 (sertifikat br. 006–O14–A/2019 – 4195), takođe je, kao stručno lice, učestvovala u izradi više akata o proceni rizika.

Doktorske akademske studije na Tehničkom fakultetu u Boru upisala je školske 2014/2015. godine i položila je sve ispite predviđene programom sa prosečnom ocenom 9,11.

Kandidat je u proteklom periodu, kao autor i koautor, objavila 24 rada: 5 radova u časopisima sa SCI liste, 2 rada u časopisu kategorije M24, 1 rad u domaćem časopisu iz kategorije M51, 15 radova na međunarodnim i 2 rada na nacionalnim stručnim skupovima.

Rad u tematskom zborniku vodećeg međunarodnog značaja, M13

J. Ivaz, R. Nikolić, J. Đoković, D. Petrović, 2020. Analysis of Work-Related Injuries in Mining Industry in Serbia. System Safety. Editors: R. Ulewicz and R. Nikolić. Publisher: Sciendo. Printed by De Gruyter Poland. d.o.o., Warsaw Poland, ISBN 978–83–957204–2–0, pp. 158 – 165.

Radovi objavljeni u naučnim časopisima međunarodnog značaja, M20**Rad u međunarodnom časopisu, M22**

J. Ivaz, S. Stojadinović, D. Petrović, P. Stojković: A Retrospective Comparative Study of Serbian Underground Coalmining Injuries, Safety and Health at Work, ISSN 2093–7911, 2021, [Impact factor (IF) 2,707/2020]

Rad u međunarodnom časopisu, M23

J. Ivaz, S. Stojadinović, D. Petrović, P. Stojković, 2020. Analysis of fatal injuries in Serbian underground coal mines – 50 years review. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27 (3), pp. 362–377. [ISSN 1745–7300. IF 1.342/2019].

Radovi u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom, M24

J. Ivaz, P. Stojković, D. Petrović, V. Milić, 2017. The use of database on injury at work records in Serbia. *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, 16 (1–2), pp. 53 – 62. [ISSN 2334–8836].

Saopštenja sa međunarodnog skupa štampano u celini, M33

J. Ivaz, D. Petrović, S. Kalinović, D. Tanikić, P. Stojković. Analysis of the workers age influence on the injury rates in the underground coal mining in Serbia. *Proceedings of 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia. 2018.*, pp. 87–90. ISBN 978–86–7827–050–5.

J. Ivaz, P. Stojković, N. Vušović, D. Petrović, S. Stojadinović, V. Milić, Presentation and analysis of injuries in lignite mine Lubnica on a GIS model. *49th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia. 18.10.2017 – 21.10.2017.*, pp. 518 – 521. ISBN: 978–86–6305–066–2.

Rad u vrhunskom časopisu nacionalnog značaja, M51

J. Ivaz, D. Petrović, A. Fedajev, V. Milić, S. Stojadinović, P. Stojković, 2018. Economic aspects of occupational injuries in mining, *Underground Mining Engineering – Podzemni radovi* (33). pp. 41–51.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Јелена Иваз

Број индекса 11/2014

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

МОДЕЛИРАЊЕ УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА И ПРЕДИКЦИЈА ПОЈАВЕ ПОВРЕДА НА РАДУ У РУДАРСТВУ

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 08.11.2021.год.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Јелена Иваз

Број индекса 11/2014

Студијски програм Рударско инжењерство

Наслов рада МОДЕЛИРАЊЕ УТИЦАЈ НИХ ФАКТОРА И ПРЕДИКЦИЈА ПОЈАВЕ ПОВРЕДА НА РАДУ У РУДАРСТВУ

Ментор доц. др Дејан Петровић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 08.11.2021.год.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

МОДЕЛИРАЊЕ УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА И ПРЕДИКЦИЈА ПОЈАВЕ ПОВРЕДА НА РАДУ У РУДАРСТВУ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 08.11.2021.год.

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.