



ЗРГИМ

**XV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '24

**18 ÷ 20. 10. 2024 година
Струга**

**ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА
ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**

XV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО ПОДЕКС – ПОВЕКС '24

од 18 ÷ 20. 10. 2024 година, Струга

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

Зборник на трудови:
**ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА
МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ**

Издавач:

Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија
www.zrgim.mk

Главен и одговорен уредник:

Проф. д-р Стојанче Мијалковски

За издавачот:

м-р Горан Сарафимов, дипл.руд.инж.

Техничка подготовка:

Проф. д-р Стојанче Мијалковски

Изработка на насловна страна:

Борис Ткалчев

Печатница:

“2–ри Август”, Штип

Година:

2024

Тираж:

150 примероци

Место на издавање:

Кавадарци

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

622.22/23:622.3(062)

СТРУЧНО советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'24 (15; 2024; Струга)
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини: зборник на трудови / XV
стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'24 од 18-20.10.2024 година, Струга;
[главен и одговорен уредник Стојанче Мијалковски]. - Скопје:
Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија, 2024.-281 стр.: илустр.; 30 см

Библиографија кон трудовите
ISBN 978-608-65530-8-1

а) Рударство -- Експлоатација -- Минерални сировини -- Собири
COBISS.MK-ID 64529157

Сите права и одговорности за одпечатените трудови ги задржуваат авторите. Не е дозволено ниту еден дел од оваа книга да биде репродуциран, снимен или фотографран без дозвола на авторите и издавачот.



ОРГАНИЗАТОР:

**ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ
ИНЖЕНЕРИ НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА**

www.zrgim.org.mk



КООРГАНИЗАТОР:

**УНИВЕРЗИТЕТ "ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ" - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО**

НАУЧЕН ОДБОР

Претседател:

Проф. д-р **Зоран Панов**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија.

Членови на научниот одбор:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Зоран Панов**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Дејан Мираковски**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Благој Голомеов**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Блажо Боев**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Ристо Дамбов**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Орце Спасовски**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Војо Мирчовски**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Николинка Донева**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Ѓорѓи Димов**, ФПТН, УГД, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип, Северна Македонија;

Проф. д-р **Милорад Јовановски**, Градежен факултет, УКИМ, Скопје, Северна Македонија;

Проф. д-р **Виктор Гавриловски**, Машински факултет, УКИМ, Скопје, Северна Македонија;

Проф. д-р **Ивица Ристовиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;

Проф. д-р **Раде Токалиќ**, РГФ, Белград, Р. Србија;

Проф. д-р **Војин Чокорило**, РГФ, Белград, Р. Србија;

Проф. д-р **Радоје Пантовиќ**, Технички факултет во Бор, Р. Србија;

Проф. д-р **Јоже Кортник**, Факултет за природни науки и инженерство, Љубљана, Словенија;

Проф. д-р **Верослав Молнар**, БЕРГ Факултет, Технички Универзитет во Кошице, Р. Словачка;

Проф. д-р **Иваило Копрев**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;

Проф. д-р **Димитар Анастасов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;

Проф. д-р **Павел Павлов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;

Проф. д-р **Венцислав Иванов**, Мино-геолошки Универзитет, Софија, Р. Бугарија;

Проф. д-р **Кемал Зекири**, Факултет за геонауки, Митровица, Косово;

д-р **Кремена Дедељанова**, Научно – технички сојуз за рударство, геологија и металургија, Софија, Р. Бугарија;

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР

Претседател:

Митко Крмзов, Геомин, Струмица.

Потпретседатели:

Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, ФПТН, УГД, Штип;

м-р **Драган Димитровски**, ДИТИ, Скопје;

Емил Јорданов, ГД “Гранит” АД, Скопје.

Генерален секретар:

м-р **Горан Сарафимов**, Рудник “Бучим”, Радовиш.

Членови на организациониот одбор:

м-р **Борче Гоцевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;

м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за економија, Скопје;

м-р **Лазе Атанасов**, ДИТИ, Скопје;

м-р **Горан Стојкоски**, ЗРГИМ, Прилеп;

м-р **Сашо Јовчевски**, Стентон градба, Битола;

м-р **Андреј Кепевски**, Цементарница “Усје”, Скопје;

м-р **Дејан Ивановски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;

Мице Тркалески, Мермерен комбинат, Прилеп;

Пепи Мицев, “Геомин”, Струмица;

Зоран Костоски, Мармобианко, Прилеп;

Авдуш Јонузи, ДИТИ Скопје;

Драгана Керазовска Маркова, Алфатек, Скопје;

Георге Микропоулос, SKM Drill, Кавадарци;

Ивица Карапетров, Рудник “Бучим”, Радовиш;

Тони Митевски, Рудник “САСА”, М. Каменица;

Александар Стоилков, АД ЕСМ, Скопје;

Миланчо Дамески, МИСА-МГ, Скопје;

Сашко Дамески, МИСА-МГ, Скопје;

Лазар Пончев, Машинокоп, Кавадарци;

Игор Трајанов, Рудник “Бучим”, Радовиш;

Виктор Шотаровски, Metso, Скопје;

Васко Саламовски, Metso, Скопје;

Илија Лозановски, “Теиком Тим”, Битола.

**XV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
“ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА И ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА
НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ”
- со меѓународно учество –**

18 Октомври 2024, Струга
Република Северна Македонија

ОРГАНИЗАТОР:

ЗДРУЖЕНИЕ НА РУДАРСКИТЕ И ГЕОЛОШКИТЕ ИНЖЕНЕРИ
НА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА
www.zrgim.org.mk

КООРГАНИЗАТОР:

УНИВЕРЗИТЕТ “ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ” – ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО
www.ugd.edu.mk



ЗРГИМ

XV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС '24

**Струга
18 ÷ 20. 10. 2024 год.**

ПРЕДГОВОР

Меѓународното стручно советување за подземната експлоатација на минералните сировини (ПОДЕКС), за првпат се одржа на 06.12.2007 год. во Пробиштип во организација на Сојузот на Рударските и Геолошките Инженери на Македонија (СРГИМ).

Од 2012 година советувањето е проширено со трудови од површинската експлоатација на минерални сировини и е именувано како ПОДЕКС-ПОВЕКС.

Стручното советување, на тема: технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини, традиционално се одржуваше секоја година во месец ноември. По пауза од три години, поради пандемијата од COVID-19, започнува со одржување во октомври. На ова советување земаат учество голем број на стручни лица од: рударската индустрија, универзитетите, научно - истражувачките и проектантските организации, производителите на опрема и др.

На досегашните четиринаесет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2022 и 2023 год.) учествуваа повеќе автори од 12 држави, кои презентираа 398 стручни трудови.

За ова петнаесетто советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '24) пријавени се 31 труда, на автори од 3 држави.

Големиот број на трудови од домашните автори произлезе како резултат на научно-истражувачката работа реализирана на високообразовните институции во Р. С. Македонија. Меѓутоа, посебно не радува учеството на автори од непосредното рударско производство, кои што презентираат постигнати резултати во рударската пракса.

Се надеваме дека традицијата за собирање на сите специјалисти од областа на подземната и површинската експлоатација на минералните сировини, ќе продолжи и дека во идниот период ова советување ќе прерасне во меѓународен симпозиум.

Уредници



AMGEM

XV EXPERT CONFERENCE THEMED:

“Technology of underground and surface mining of mineral raw materials”

PODEKS - POVEKS '24

Struga
18 ÷ 20. 10. 2024.

FOREWORD

The International expert conference on underground mining of mineral raw materials (PODEKS), organized by the Association of Mining and Geology Engineers of Macedonia (AMGEM), was first held on 06.12.2007 in Probishtip.

Since 2012, in this counseling, surface exploitation of mineral resources is included too, and it is called PODEKS-POVEKS.

This expert conference called: Technology of underground and surface mining of mineral raw materials, traditionally, was been organized annually during November. After a three-year hiatus, due to the COVID-19 pandemic, starts taking place in October. A number of experts from the mining industry, universities, research institutions, planning companies, and equipment manufacturing companies participate in this conference.

Many authors from 12 countries participated in the previous fourteen conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2022 and 2023) presenting 398 expert papers.

Thirty-one authors from 3 countries have registered their expert papers for the XVth conference (PODEKS - POVEKS '24).

The large number of expert papers from the domestic authors has emerged as a result of the research work carried out at the higher education institutions in the Republic of North Macedonia. We are particularly delighted by the participation of the authors involved in the immediate mining production who will be presenting the achieved results in the mining practice.

We hope that the tradition of gathering of all specialists from the field of underground and surface mining of mineral raw materials will continue and that this conference will grow up to an international conference in the future.

The Editors



ЗРГИМ

XV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација
на минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '24

Струга

18 ÷ 20. 10. 2024 год.

СОДРЖИНА

ПОЈАВИ И МОЖНОСТИ ЗА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА МИНЕРАЛНИ СУРОВИНИ ОД ДЕЛЧЕВО-ПЕХЧЕВСКИОТ ГРАБЕН * Ласте Ивановски, Ванчо Ангелов, Бојан Ивановски, Александар Стоилков, Маја Јованова....	1
УЛОГА И ЗНАЧЕЊЕ НА ГЕОЛОШКО-ЕКОНОМСКА ОЦЕНКА ВО РАЗЛИЧНИТЕ ФАЗИ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО НА МИНЕРАЛНИТЕ СУРОВИНИ * Милица Николова Паневска, Благица Донева, Орце Спасовски.....	12
ПОТЕНЦИЈАЛНОСТ НА БАСЕНОТ КАЈ С.МОЈНО ЗА ПРОНАОЃАЊЕ И ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ЈАГЛЕН * Бојан Ивановски, Александар Стоилков, Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски.....	20
ДЕТАЛНИ ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА КАЈ НАОЃАЛИШТЕТО ПОДЦУЦУЛ * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски, Бојан Ивановски.....	30
MODELING THE GEOMORPHOLOGY OF ORE BODIES IN THE TREPÇA MINE USING THE TOOL 'GM OREBODY 1.0' * Berat Sinani, Ivan Boev, Arianit Reka, Bahri Sinani, Elida Lecaj, Adelina Haskaj, Blazo Boev.....	40
ХИДРОГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА ЗА ОБЕЗБЕДУВАЊЕ НА ПОТРЕБНИТЕ КОЛИЧИНИ НА ПОДЗЕМНА ВОДА ЗА ВОДОСНАБДУВАЊЕ НА АГРОГЛОБАЛ ТРЕЈД ДОО СКОПЈЕ, ПОДРУЖНИЦА 1 КОКИ ЛУКС СВЕТИ НИКОЛЕ * Милица Николова Паневска, Благица Донева, Орце Спасовски.....	49
ПОСТАВУВАЊЕ НА ИНТЕРНА ГЕО-ПОЗИЦИОНА МРЕЖА ЗА МОНИТОРИНГ НА ВРАБОТЕНИТЕ ВО РУДНИЦИТЕ * Александар Петровски, Стојанче Мијалковски	60

ТЕХНИЧКО РЕШЕНИЕ ЗА НЕПРЕДВИДЕНИ УСЛОВИ-ПОСТОЕЊЕ НА ПОДЗЕМНИ РУДАРСКИ РАБОТИ ПРИ ИЗГРАДБА НА ЕКСПРЕСЕН ПАТ * Игор Ивановски, Зоран Десподов, Гоше Петров, Ванчо Ангелов.....	68
ПРИМЕНА НА ML ПРИ ПРОЦЕНКА НА ГЕОТЕХНИЧКА СТАБИЛНОСТ НА КОСИНИ НА ПОВРШИНСКИ КОПОВИ * Зоран Панов, Душан Биков, Радмила Каранакова Стефановска.....	79
СТАБИЛНОСТ НА КОСИНИТЕ НА Р. КАЗАНДОЛ * Горан Сарафимов...	89
ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНА СУРОВИНА - ВАРОВНИК НА ЛОКАЛИТЕТ „ИЗВОР“, ОПШТИНА КИЧЕВО * Кирил Демјански, Никола Чапов, Љупче Ефнушев, Сребро Томов.....	100
СЕИЗМИКА ПРИ МИНИРАЊА И ВИБРАЦИИ * Благица Донева.....	109
ПРОТОТИП НА СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА СЕИЗМИЧКИ НАСТАНИ ПРЕДИЗВИКАНИ ОД МИНИРАЊА НА ПОВРШИНСКИ КОПОВИ * Душан Биков, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	118
СЕИЗМИЧКИ ЕФЕКТИ ПРИ МИНИРАЊЕ НА ПОВРШИНСКИ КОП “ЗЕБРЊАК“, О. КУМАНОВО * Илија Дамбов, Ристо Дамбов, Емил Јорданов, Драгана Черних, Катерина Дрогрешка	127
ИЗБОР НА НАЧИН ЗА ОТВОРАЊЕ НА ПОДЗЕМЕН РУДНИК * Стојанче Мијалковски, Александар Лазаровски, Николинка Донева.....	137
OVERALL PIT WALL MONITORING AT THE ASAREL MINE * Ivan Andreev, Stoyana Skachkova.....	145
КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ЗА ПРОЕКТИРАНИ И ПОТРОШЕНИ МАТЕРИЈАЛИ ПРИ ИЗГРАДБА НА БАРИКАДИ ОД ПРСКАН БЕТОН * Николинка Донева, Зоран Десподов, Стојанче Мијалковски, Тони Митевски, Цеце Стојчев.....	154
ТЕХНИЧКИ ПРЕГЛЕД НА РУДАРСКА ИЗВОЗНА ПОСТРОЈКА * Игор Максимов, Зоран Десподов, Горан Сековски	164
DEVELOPMENT OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS (MCDM) IN THE MINING INDUSTRY * Ujmir Uka, Risto Dambov, Kemajl Zeqiri.....	174
ИЗБОР НА МЕСТОПОЛОЖБА НА РУДАРСКИ МАГАЦИН СО ПРИМЕНА НА ПРОМЕТНЕЕ МЕТОДАТА * Стојанче Мијалковски, Васко Стефанов, Дејан Мираковски.....	182
КОНВЕРЗИЈА НА ЈАГЛЕН ВО ГАСОВИТИ ГОРИВА СО ТЕХНОЛОГИЈА НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски	189

УНАПРЕДУВАЊЕ НА БЕЗБЕДНОСТА ВО РУДАРСКАТА ИНДУСТРИЈА ПРЕКУ ПОДОБРУВАЊЕ НА БЕЗБЕДНОСНАТА КУЛТУРА И ЛИДЕРСТВО ЗА БЕЗБЕДНОСТ * Станке Тасковски, Борче Гоцевски, Стојанче Мијаловски, Марија Хаџи – Николова.....	197
ДЕТЕКЦИЈА НА ЛИЧНА ЗАШТИТНА ОПРЕМА ПРЕКУ АВТОМАТСКИ СИСТЕМИ БАЗИРАНИ НА КОМПЈУТЕРСКА ВИЗИЈА И МАШИНСКО УЧЕЊЕ * Ванчо Аџиски.....	206
ТЕХНОЛОГИЈА НА ОДЛАГАЊЕ НА ОТКРИВКА СО ОДЛАГАЧОТ A2RSB-5500X60 ВО РУДНИЦИТЕ ЗА ЈАГЛЕН * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	216
MINING, MINE CLOSURE, POST-MINING AND TRANSITION * Kemajl Zeqiri.....	225
CREATION OF EXCEL ADD-INS FOR ANALYSIS AND VISUALIZATION OF HEAVY METAL DISTRIBUTION IN CONTAMINATED ENVIRONMENTS * Elida Lecaj, Bahri Sinani, Adelina Haskaj, Berat Sinani.....	230
ANALYSIS OF PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WASTEWATER DISCHARGES INTO THE LEPENC RIVER * Adelina Haskaj, Musaj Paçarizi, Sonia Lepitkova.....	238
REDUCING THE AMOUNT OF LANDFILLED WASTE BASED ON THE COMPOSITION AND AMOUNT OF WASTE IN THE REGION OF MITROVICA, KOSOVO * Bahri Sinani, Blažo Boev, Ivan Boev, Arianit Reka, Berat Sinani, Elida Lecaj, Adelina Haskaj.....	244
DISTRIBUTION OF BISMUTH (BI) IN ORE BODIES OF HORIZONS VIII, IX, X AND XI IN THE TREPÇA MINE * Festim Kutllovci, Berat Sinani.....	255
УНАПРЕДУВАЊЕ НА ЛЕГИСЛАТИВАТА ЗА ПОБРЗО ДОБИВАЊЕ НА ОДОБРЕНИЕ ЗА ГРАДЕЊЕ ЗА ХИДРОТЕХНИЧКИТЕ ОБЈЕКТИ * Лидија Зафировска.....	262
ВЛИЈАНИЕТО НА СЕИЗМИКАТА ОД МИНИРАЊЕТО НА КАМЕНОЛОМ “ЗЕБРЕЊАК“- ГРАНИТ ВРЗ СПОМЕНИКОТ “ЗЕБРЕЊАК“ * Ненад Јованоски, Миле Стефанов, Зоран Ужевски, Боро Томашевски.....	273



ЗРГИМ

XV^{TO} СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '24

Струга
18 – 20. 10. 2024 год.

ДЕТЕКЦИЈА НА ЛИЧНА ЗАШТИТНА ОПРЕМА ПРЕКУ АВТОМАТСКИ СИСТЕМИ БАЗИРАНИ НА КОМПЈУТЕРСКА ВИЗИЈА И МАШИНСКО УЧЕЊЕ

Ванчо Аџиски¹

¹Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија

Апстракт: Во овој научен труд е претставен развој и имплементација на систем за автоматска детекција на лична заштитна опрема во рударската индустрија, користејќи компјутерска визија и машинско учење. Моделот се базира на YOLO v8 архитектурата за детекција на објекти и е трениран на податочен сет од фотографии со различни типови на лична заштитна опрема.

Главната цел на ова истражување е да се обезбеди ефикасна и реално-временска детекција на шлемови, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици во рударски средини, каде безбедноста на работниците е од критично значење. Резултатите од моделот покажуваат висока точност и ефикасност, при што mAP изнесува 76.9%, прецизноста 78.3%, а одзивот 71.1%. Овој систем има потенцијал да се интегрира со веќе постоечките надзорни камери во рудниците и со тоа да овозможи автоматско следење на усогласеноста со правилата за безбедност.

Клучни зборови: компјутерска визија, машинско учење, YOLO, детекција на објекти, лична заштитна опрема, рударска индустрија, Roboflow

DETECTION OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT THROUGH AUTOMATED SYSTEMS BASED ON COMPUTER VISION AND MACHINE LEARNING

Vancho Adjiski¹

¹Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Abstract: This scientific paper presents the development and implementation of a system for automatic detection of personal protective equipment (PPE) in the mining industry, using computer vision and machine learning. The model is based on the YOLO v8 object detection architecture and is trained on a dataset of images featuring various types of personal protective equipment.

The primary goal of this research is to provide efficient and real-time detection of helmets, protective glasses, ear protectors, safety vests, boots, and gloves in mining environments, where worker safety is of critical importance. The model results demonstrate high accuracy and efficiency, with a mean Average Precision (mAP) of 76.9%, precision of 78.3%, and recall of 71.1%. This system has the potential to be integrated with existing surveillance cameras in mines, thereby enabling automatic monitoring of compliance with safety regulations.

Key Words: Computer Vision, Machine Learning, YOLO, Object Detection, Personal Protective Equipment, Mining, Roboflow.

1. ВОВЕД

Компјутерската визија и машинското учење претставуваат две клучни технологии кои драстично го променија начинот на кој се обработуваат и анализираат визуелните податоци. Компјутерската визија е поле на истражување кое овозможува на машините да „гледаат“ и да извлекуваат информации од фотографии и видеа, додека машинското учење им овозможува на компјутерите да учат од податоци и да донесуваат одлуки базирани на тие информации [1].

Во рударската индустрија, личната заштитна опрема (анг. Personal Protective Equipment - PPE) е од суштинско значење за заштита на работниците во средини со зголемен ризик на работење [2]. Ефективниот мониторинг за следење на носењето на личната заштитна опрема е од клучно значење за намалување на повредите на работното место. Во последниве години, напредокот во машинското учење и технологиите за детекција на објекти, особено методите базирани на длабоко учење како што е YOLO (анг. You Only Look Once), покажаа голем потенцијал за автоматизација при детекцијата на личната заштитна опрема, со што се отвори огромен потенцијал за подобрување на безбедносните стандарди во индустриските средини [3].

Техниките на длабоко учење, како што е YOLO, се особено ефикасни во анализирање на сложени визуелни податоци. Истражувањата покажуваат дека моделите на длабоко учење ги надминуваат традиционалните методи во детекцијата на различни типови на лична заштитна опрема, вклучувајќи шлемови, ракавици, безбедносни елеси и слично. Една студија предложи метод базиран на архитектурата YOLO v8, специјално прилагоден за реално-времена детекција на личната заштитна опрема во индустриски средини, кој покажал висока точност, адресирајќи ја потребата за ефикасни мониторинг системи во рударската индустрија [4].

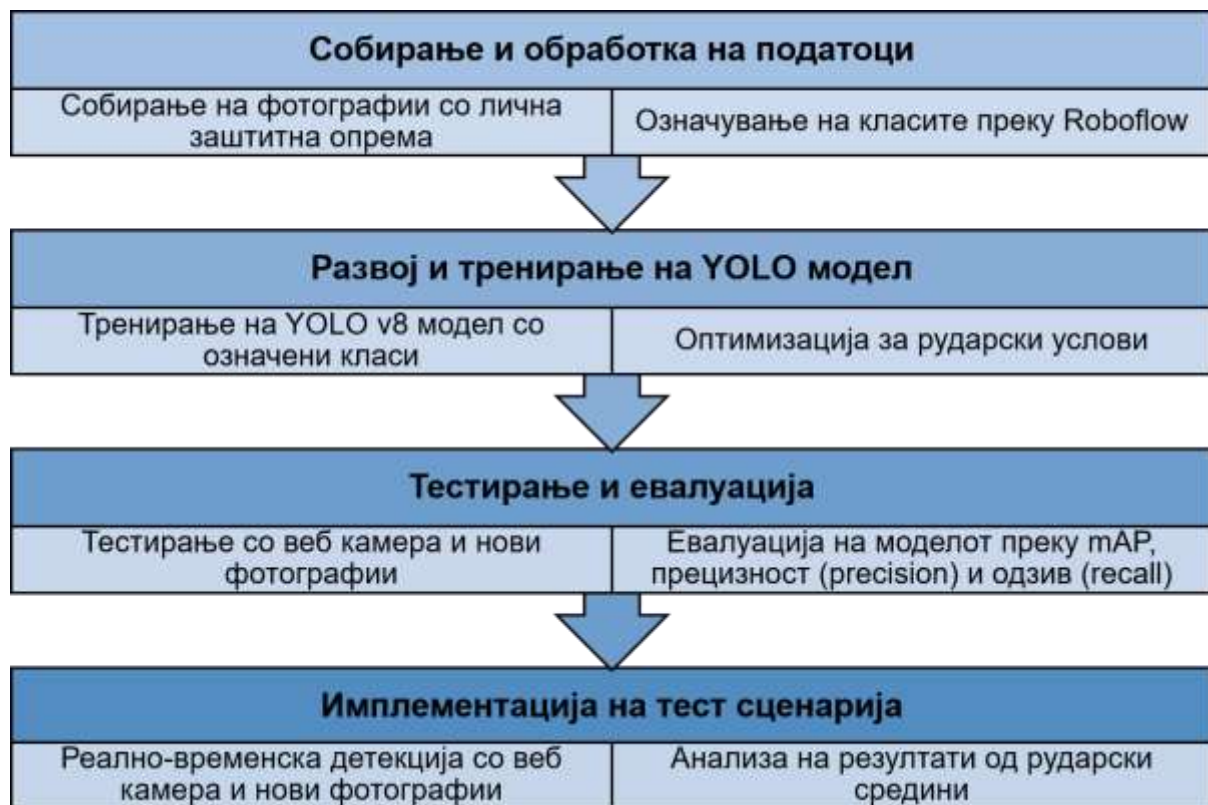
Сепак, постојат и некои предизвици и ограничувања при примена на длабокото учење за детекција на личната заштитна опрема. Потребата за висока точност, мониторирање и реално-времени процесирачки способности се од голема важност. Истражувањата покажуваат дека е неопходно создавање на прилагодени сетови на податоци кои ги рефлектираат уникатните услови на рударските средини за да може овие модели да се тренираат ефективно [5,6]. Понатаму, постигнувањето на конзистентни перформанси во различни оперативни сценарија е од критично значење за понатамошни истражувања.

Неколку студии илустрираат практична примена на машинското учење и детекцијата на објекти за мониторинг на личната заштитна опрема во рударскиот сектор [7,8]. На пример, автоматски системи за детекција на личната заштитна опрема се користени за мониторинг на усогласеноста во реално време, што значително го намалува ризикот од несреќи. Овие системи користат AI алгоритми за анализа на видео во реално време од постојните надзорни камери, обезбедувајќи моментални аларми до супервизорите кога ќе се детектира непочитување на правилата за безбедност. Овој пристап не само што ја зголемува безбедноста, туку ја и подобрува оперативната ефикасност со минимизирање на потребата за теренски инспекции кои вклучуваат повеќе луѓе. Интеграцијата на овие технологии во рударската индустрија може да доведе до значително намалување на повредите на работното место, со што се зголемуваат безбедносните мерки. Како што продолжуваат истражувањата и развојот во оваа област, очекуваме дека овие технологии ќе играат сè поголема

улога во подобрување на безбедноста и автоматизацијата во рударските операции.

2. МЕТОДОЛОГИЈА

Во ова истражување е применета методологија која се базира на употреба на компјутерска визија и машинско учење за развој на систем за автоматска детекција на лична заштитна опрема во рударската индустрија. Методологијата опфаќа неколку фази: собирање и обработка на податоци, развој и тренирање на YOLO модел, тестирање и евалуација на системот како и имплементација на тест сценарија со веб камера и со фотографии (слика 1).

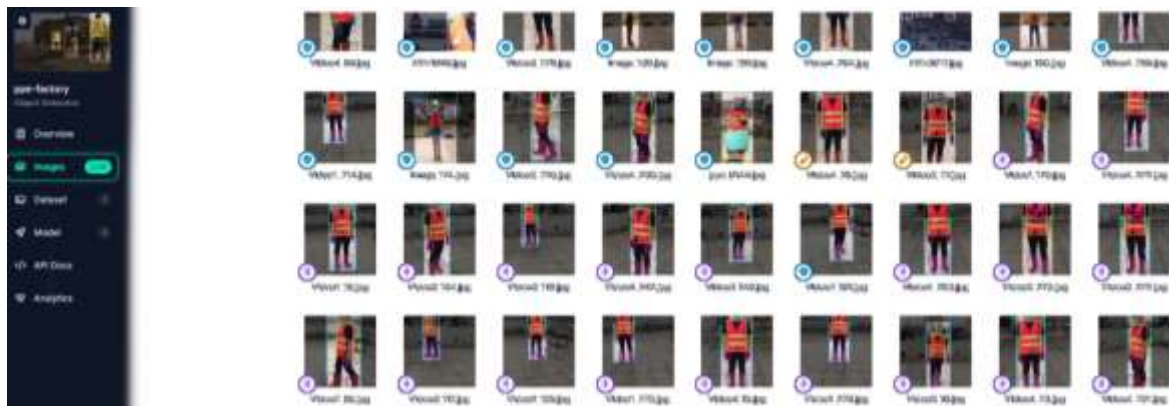


Слика 1. Преглед на методологијата користена во оваа студија

2.1. Собирање и обработка на податоци

Собирањето на податоци е клучен чекор во развојот на систем за детекција на објекти. За оваа студија, податоците се обезбедени преку снимање и собирање на фотографии од различни рударски операции каде што се користи лична заштитна опрема како што се шлемови, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици.

Дополнително, користени се и јавни бази на податоци кои содржат фотографии релевантни за рударската индустрија. Податоците се обработени и означени (анг.annotation) преку платформата Roboflow, каде што се дефинирани регионите од интерес за детекција на личната заштитна опрема (слика 2).



Слика 2. Означување на дефинираните класи во собраните фотографии во платформата Roboflow

2.2. Развој и тренирање на YOLO модел

За детекција на објекти е применет YOLO v8 моделот, кој претставува модел за реално-времена детекција на објекти. YOLO (You Only Look Once) е модел за детекција на објекти кој е познат по својата брзина и точност [3,4]. Моделот е трениран на обработените и означените (анг. annotated) податоци користејќи го Roboflow за да се оптимизира за специфичните услови на рударската индустрија. Процесот на тренирање вклучува конфигурирање на параметрите на моделот, како што се бројот на епохи, големината на batch-от, и стапката на учење, со цел да се постигне најдобра можна точност.

2.3. Тестирање и евалуација на системот

Откако моделот е трениран, следи фазата на тестирање и евалуација. Моделот е тестиран со нови фотографии кои не биле дел од тренирачкиот сет, за да се оцени неговата способност и точност во детекцијата на личната заштитна опрема. Покрај тоа, моделот е тестиран и во реални услови користејќи веб камера (видео во реално време) и фотографии за да се утврди неговата ефикасност и точност. Перформансите на моделот се измерени преку параметрите како што се прецизноста на моделот (анг. precision), одзивот (анг. recall) и F1-score.

2.4. Имплементација на тест сценарија

За да се симулира реална примена на системот, изработени се неколку тест сценарија каде што веб камерата е поставена и пред неа се движи субјект кој носи лична заштитна опрема. Веб камерата е користена за снимање на видео во реално време, кои потоа се анализирани од страна на YOLO моделот за детекција на личната заштитна опрема. За претставување на резултатите во овој труд се користени фотографии од архивата на Факултетот за природни и технички науки, собрани за време на теренската настава на студентите.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Во овој дел се презентирани резултатите од развиениот систем за автоматска детекција на лична заштитна опрема во рударската индустрија, со фокус на

анализа на перформансите на моделот и дискусија за неговата практична примена. Моделот е изграден и трениран користејќи ја платформата Roboflow, YOLO архитектурата и Google Colab како средина за кодирање и извршување.

3.1. Перформанси на моделот

Моделот е трениран на податочен сет кој вклучува фотографии со различни типови на лична заштитна опрема, вклучувајќи: шлемови, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици. Моделот беше имплементиран во Google Colab, каде што кодот која ја повикува базата на означените (анг. annotated) фотографии (класи: шлемови, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици) од платформата Roboflow беше внесен во Google Colab за да се овозможи тренирање на моделот од базата на означени класи во самите фотографии.

За тренингот на моделот беа искористени вкупно 5,028 фотографии (91%) во тренинг сетот, 371 фотографии (7%) во валидациониот сет, и 143 фотографии (3%) во тест сетот. Претходно се применети автоматски методи за обработка, како што се авто-ориентација на фотографиите и промена на големината до 640x640 пиксели. Дополнително, за да се зголеми бројот на фотографии за тренирање на моделот, беа користени повеќе техники за зголемување на базата од фотографии (анг. data augmentation), вклучувајќи зумирање до 22%, примена на ефектот grayscale на 15% од фотографиите, и заматување до 0.9 пиксели.

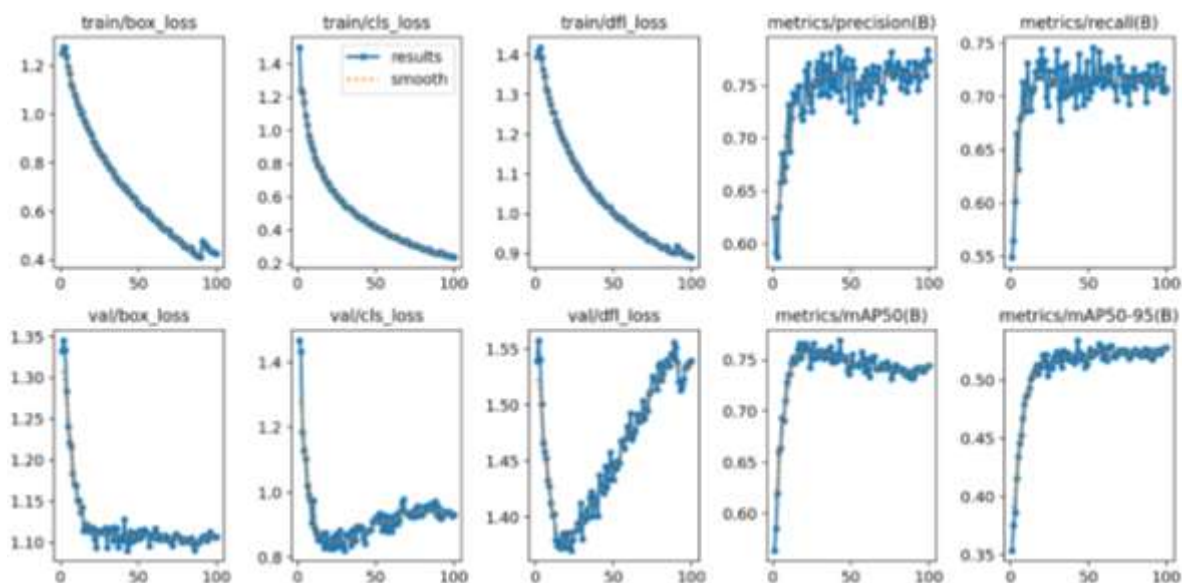
Важно е да се напомене дека за овој модел беа користени бази на фотографии кои се со бесплатна лиценца за користење. Ова значи дека сите фотографии беа преземени од извори кои дозволуваат нивна слободна употреба за истражувачки и образовни цели, со што се обезбедува почитување на авторските права.

При активирањето на веб камерата и при прикачувањето на нови фотографии, моделот успешно детектираше и класифицираше објекти од дефинираните класи во реално време. Моделот за детекција на лична заштитна опрема покажа задоволителни перформанси при тестирањето, со следните резултати:

- **mAP (mean Average Precision): 76.9%** - Овој параметар ја претставува просечната точност на моделот во детекцијата на сите дефинирани класи (шлемови, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици). mAP вредноста од 76.9% укажува на солидна способност на моделот да разликува меѓу различните класи и да ги детектира со висока прецизност.
- **Precision: 78.3%** - Прецизноста на моделот (анг. precision), која изнесува 78.3%, укажува на висока точност во детекцијата на личната заштитна опрема, со минимален број на лажни позитивни детекции. Ова значи дека моделот е многу ефикасен во правилното идентификување на предходно дефинираните класи, при што ретко детектира нешто што не е во делот од лична заштитна опрема.
- **Recall: 71.1%** - Одзивот (анг. recall) од 71.1% укажува на тоа дека моделот е успешен во детектирањето на поголемиот дел од личната заштитна опрема во фотографиите, но има и мал процент на објекти (класи) кои остануваат недетектирани. Ова може да се подобри со дополнително тренирање на моделот или со проширување на податочниот сет со повеќе фотографии од различни услови и агли.

Резултатите покажуваат дека моделот има висока точност и ефикасност во детекцијата на личната заштитна опрема, со минимални лажни позитиви и негативи.

На слика 3 е прикажан графички приказ на тренинг и валидациони загуби, како и параметри на прецизност, одзив и mAP (анг. mean Average Precision) за моделот. Графиците во горниот ред ги покажуваат тренинг загубите на детекционата рамка, класификацијата и дистрибутивната загуба, како и прецизноста и одзивот на моделот низ 100 епохи на тренинг. Во долниот ред се прикажани соодветните загуби и метрики за валидациониот сет.



Слика 3. Графички приказ на тренинг и валидациони загуби и перформанси на моделот

Моделот покажува конзистентно намалување на тренинг загубите, што укажува на стабилност и конвергенција на моделот. Прецизноста и одзивот постепено се зголемуваат, достигнувајќи релативно стабилни вредности во текот на тренингот. mAP параметрите, исто така, покажуваат подобрување со текот на епохите, со mAP50-95 метриката која достигнува над 0.50, што укажува на добри перформанси на моделот при детекцијата на објекти (класи) во повеќе големини и пропорции.

Резултатите од моделот беа тестирани на нови фотографии кои не беа користени за тренинг на моделот, при што беа искористени фотографии од архивата на Факултетот за природни и технички науки, собрани за време на теренската настава на студентите. На слика 4 се прикажани класите на лична заштитна опрема кои моделот успешно ги детектираше во овие фотографии.

3.2. Примена и предизвици

Една од најзначајните предности на развиениот систем е неговата способност за реално-временска детекција на личната заштитна опрема во рударските средини. Со активирање на камерата, системот може да детектира дали работниците носат соодветна заштитна опрема, што е од клучно значење за подобрување на безбедноста на работното место.



Слика 4. Детекција на класите на лична заштитна опрема тестирани на нови фотографии кои не беа користени за тренинг на моделот

За потребите на овој труд, моделот беше тестиран со веб камера директно поврзана со компјутер, која е доволна за демонстрација на основната функционалност. Сепак, за примена во реален систем, се препорачува употреба на камери со висока резолуција (на пример, 4K камери), кои би можеле да обезбедат поголема точност и прецизност при детекцијата на некоја од предходно дефинираните класи, како што се шлемови, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици [9,10,11].

Во реален систем, овој модел може да се интегрира како дел од надзорната мрежа во рудникот. Неколку потенцијални апликации вклучуваат [12,13,14]:

- **Интеграција со постоечки безбедносни системи:** Моделот може да се поврзе со веќе постоечки надзорни камери на рударските локации, овозможувајќи автоматски мониторинг за носењето на лична заштитна опрема од страна на сите вработени во реално време. Овој систем може да испраќа аларми или известувања до супервизорите кога ќе се детектира непочитување на правилата за безбедност.
- **Проширен систем за аналитика:** Моделот може да се користи во комбинација со софтвер за анализа на податоци за да се следи и анализира усогласеноста со безбедносните протоколи на долг рок. Овие податоци може да бидат искористени за идентификување на трендови, како и за предвидување на потенцијални ризици на работното место.
- **Преносливи уреди за мониторинг:** Моделот би можел да се имплементира на преносливи уреди или дронави, кои би можеле да се користат за инспекција на тешко достапни или опасни области. Ова би овозможило флексибилно и ефективно следење на условите на работното место и усогласеноста со безбедносните мерки.
- **Интеракција со работници:** Друга интересна можност е интеграција на системот со персонални уреди на работниците, како што се паметни шлемови или очила со дополнета реалност, кои би можеле да

предупредуваат за потенцијални опасности или да обезбедуваат инструкции за користење на соодветна заштитна опрема.

Сепак, и покрај позитивните резултати, моделот се соочи со одредени предизвици. Еден од нив е зависноста од осветлувањето во околината. На пример, при слабо осветлување, точноста на детекцијата беше малку намалена, што укажува на потребата од понатамошно подобрување на моделот за да се постигне постојана прецизност во различни услови. Дополнително, аглите на снимање на камерата исто така играат улога во точноста на детекцијата, што бара прилагодување на поставките на камерата или дополнително тренирање на моделот со податоци од различни агли.

3.3. Идни подобрувања

Резултатите од ова истражување укажуваат на неколку можни подобрувања на системот. Прво, би било корисно да се прошири податочниот сет со фотографии снимени во различни услови на осветлување и агли, со цел да се подобри точноста на моделот. Второ, имплементација на методи за автоматска адаптација на осветлувањето во реално време би можела да го подобри перформансот на системот во слабо осветлени средини. Исто така и дополнителни алгоритми за филтрирање и обработка на фотографии би можеле да помогнат во намалување на лажните детекции.

4. СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ: ИДЕЈНО РЕШЕНИЕ ЗА АВТОМАТСКА ДЕТЕКЦИЈА НА ЛИЧНА ЗАШТИТНА ОПРЕМА ВО РУДАРСКАТА ИНДУСТРИЈА

Како конкретен пример на примена на развиениот модел за автоматска детекција на лична заштитна опрема, разгледуваме рудник за површинска експлоатација. Во оваа студија на случај, целта е да се подобри безбедноста на работниците преку автоматски мониторинг на усогласеноста со правилата за лична заштитна опрема, како и да се намали ризикот од несреќи предизвикани од непочитување на безбедносните мерки.

Опис на ситуацијата: Во рудникот, каде што секојдневно се ангажираат работници во различни активности како што се експлоатација, транспорт и преработка на минерали, усогласеноста со правилата за лична заштитна опрема е од критично значење. Сепак, поради динамичната природа на работата и големината на локацијата, традиционалните методи за мониторинг често се недоволни и подложни на грешки.

Идејно решение: Развиениот систем за автоматска детекција на личната заштитна опрема може да се интегрира во постоечките надзорни камери на рудникот. Секогаш кога работникот ќе влезе во одредена област, системот ќе ја скенира неговата опрема и ќе детектира дали ја носи соодветната заштитна опрема (шлем, заштитни наочари, заштитници за уши, безбедносни елеци, чизми и ракавици). Во случај на неусогласеност, системот автоматски ќе испрати известување до раководителот или до централниот систем за безбедност, што ќе овозможи брза интервенција и превенција од потенцијални несреќи.

5. МОЖНОСТИ ЗА ИДНИ ИСТРАЖУВАЊА

Идни истражувања и развој на автоматски системи базирани на компјутерска визија и машинско учење можат да отворат нови хоризонти за зголемување на

продуктивноста и безбедноста во рударската индустрија. Неколку клучни насоки за истражување и примена вклучуваат [2,14,15]:

1. Следење на работниците во небезбедни зони: Една од значајните насоки за идни истражувања е развој на системи за детекција на работници кои влегуваат во опасни или забранети зони. Овие системи би користеле компјутерска визија за следење на безбедносните периметари и автоматски би детектирале присуство на луѓе во одредени небезбедни области. При ваква детекција, системот би можел да испрати аларм или известување до супервизорите, со што би се спречиле потенцијални несреќи и би се обезбедила дополнителна заштита на работниците.

2. Анализа на работни услови: Идни истражувања можат да се фокусираат и на развој на системи за анализа на работните услови во рудниците, вклучувајќи мониторирање на температурата, влажноста, нивото на токсични гасови и осветленоста во подземните рударски простории. Овие податоци би можеле да се користат за автоматско регулирање на вентилационите системи, како и за предупредување на работниците и менаџерите за потенцијално опасни услови, овозможувајќи им да преземат навремени мерки за заштита.

3. Оптимизација на продуктивноста: Преку интеграција на различни сензори за компјутерска визија, можат да се развијат и системи за оптимизација на продуктивноста на рударските операции. Овие системи би анализирале податоци за работните процеси, движењето на машините и работниците, и другите релевантни параметри, со цел да се предвидат и оптимизираат рударските операции. Пример за ваква примена е анализа на движењето на дамперите во рудниците за површинска експлоатација, што би овозможило оптимизација на патеките и намалување на времето за транспорт.

6. ЗАКЛУЧОК

Ова истражување успешно демонстрира дека примената на компјутерска визија и машинско учење може значително да ја подобри безбедноста во рударските средини преку автоматска детекција на лична заштитна опрема. Моделот, базиран на YOLO v8 архитектурата, покажа висока прецизност и одзив во детекцијата на различни класи на личната заштитна опрема, како што се шлемови, заштитни наочари, безбедносни елечи, чизми и ракавици. Со mAP од 76.9% и прецизност од 78.3%, моделот демонстрира добри перформанси, што го прави идеален за интеграција во рударските средини каде што безбедноста е од клучно значење.

Развиениот систем има потенцијал да се интегрира во постоечките безбедносни инфраструктури на рудниците, овозможувајќи автоматизирано следење на усогласеноста со правилата за носење на лична заштитна опрема во реално време.

Иако резултатите се ветувачки, идентификувани се и одредени предизвици, како што се зависноста од осветлувањето и аглите на камерата. Идни подобрувања на системот може да вклучат зголемување на податочниот сет со фотографии од различни услови и примена на методи за адаптивно осветлување во реално време.

Идни истражувања би можеле да се насочат кон проширување на системот за детекција на опасни зони, мониторинг на работните услови и оптимизација на продуктивноста на рударските операции, со што би се зголемила безбедноста и ефикасноста на работните процеси.

KORISTENA LITERATURA

- [1] Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep learning for computer vision: A brief review. *Computational intelligence and neuroscience*, 2018(1), 7068349.
- [2] Adjiski, V., Despodov, Z., Mirakovski, D., & Serafimovski, D. (2019). System architecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 34(1), 37-44.
- [3] Ferdous, M., & Ahsan, S. M. M. (2022). PPE detector: a YOLO-based architecture to detect personal protective equipment (PPE) for construction sites. *PeerJ Computer Science*, 8, e999.
- [4] Wang, H. (2024). Detection of Personal Protective Equipment (PPE) using an Anchor Free-Convolutional Neural Network. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 15(2).
- [5] Delhi, V. S. K., Sankarlal, R., & Thomas, A. (2020). Detection of personal protective equipment (PPE) compliance on construction site using computer vision based deep learning techniques. *Frontiers in Built Environment*, 6, 136.
- [6] Di Benedetto, M., Carrara, F., Meloni, E., Amato, G., Falchi, F., & Gennaro, C. (2021). Learning accurate personal protective equipment detection from virtual worlds. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 23241-23253.
- [7] Gallo, G., Di Rienzo, F., Garzelli, F., Ducange, P., & Vallati, C. (2022). A smart system for personal protective equipment detection in industrial environments based on deep learning at the edge. *IEEE Access*, 10, 110862-110878.
- [8] Torres, P., Davys, A., Silva, T., Silva, L. J. S., Kuramoto, A., Itagyba, B., ... & Lopes, H. (2021, April). A Robust Real-time Component for Personal Protective Equipment Detection in an Industrial Setting. In *ICEIS (1)* (pp. 693-700).
- [9] Protik, A. A., Rafi, A. H., & Siddique, S. (2021, August). Real-time Personal Protective Equipment (PPE) detection using Yolov4 and tensorflow. In *2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (pp. 1-6). IEEE.
- [10] Maior, C. S., Santana, J. M., Nascimento, L. M., Macedo, J. B., Moura, M. C., Isis, D. L., & Droguett, E. L. (2018). Personal protective equipment detection in industrial facilities using camera video streaming. In *Safety and Reliability—Safe Societies in a Changing World* (pp. 2863-2868). CRC Press.
- [11] Bhing, N. W., & Sebastian, P. (2021, September). Personal protective equipment detection with live camera. In *2021 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)* (pp. 221-226). IEEE.
- [12] Cabrejos, J. A. L., & Roman-Gonzalez, A. (2023). Artificial Intelligence System for Detecting the Use of Personal Protective Equipment. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(5).
- [13] Ludwika, A. S., & Rifai, A. P. (2024). Deep learning for detection of proper utilization and adequacy of personal protective equipment in manufacturing teaching laboratories. *Safety*, 10(1), 26.
- [14] Adjiski, V., Serafimovski, D., Despodov, Z., & Mijalkovski, S. (2018). Proposed prototype model of QR code integration in underground mining industry using smartphones. *Podzemni radovi*, (32), 33-46.
- [15] Adjiski, V., Despodov, Z., Mirakovski, D., & Mijalkovski, S. (2016). Analysis for efficiency of work in underground mine using a computer application. *Natural Resources and Technologies*, 10(10), 23-32.