



ЗРГИМ

**XIV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '23

**06 ÷ 08. 10. 2023 година
Охрид**

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

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.org.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:

Проф. д-р Ванчо Аџиски

Печатница:

“2–ри Август”, Штип

Година:

2023

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'23 (14; 2023; Охрид)
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини: зборник на трудови / XIV-
то стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'23, 06-08.10.2023 година, Охрид;
[главен и одговорен уредник Стојанче Мијалковски]. - Скопје:
Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија, 2023.-290 стр.: илустр.; 30 см

Библиографија кон трудовите
ISBN 978-608-65530-7-4

а) Рударство -- Експлоатација -- Минерални сировини -- Собири
COBISS.MK-ID 61746437

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 **Стојанче Мијалковски**, 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 **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:

Емил Јорданов, ГД “Гранит” АД, Скопје.

Потпретседатели:

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

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

Митко Крмзов, Геомин МС, Струмица.

Генерален секретар:

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

Членови на организациониот одбор:

Проф. д-р **Радмила Каранакова – Стефановска**, ФПТН, УГД, Штип;

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

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

м-р **Сашо Јовчевски**, Dekra Arbeit, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;

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

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

м-р **Лазе Атанасов**, ДИТИ, Скопје;

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

Мице Тркалески, Мермерен комбинат, Прилеп;

Зоран Костоски, Мармобланко, Прилеп;

Авдуш Јонузи, ДИТИ Скопје;

Ивица Карапетров, Рудник “Боров Дол”, Радовиш;

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

Давор Миланов, Рудник “САСА”, М. Каменица;

Гоце Стоиловски, Рудник “САСА”, М. Каменица;

Александар Стоилков, АД ЕСМ, Скопје;

George Mikropoulos, СКМ Дрил, Кавадарци;

Миланчо Дамески, МИСА-МГ, Скопје;

Сашко Дамески, МИСА-МГ, Скопје;

Лазар Пончев, Машинокоп, Кавадарци;

Игор Трајанов, Рудник “Боров Дол”, Радовиш;

Виктор Шотаровски, Metso Outotec, Скопје;

Васко Саламовски, Metso Outotec, Скопје;

Пеги Мицев, “Геомин МС”, Струмица;

Илија Лозановски, “Теиком Тим”, Битола;

Трајче Бошевски, “Рудпроект”, Скопје.

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

6 Октомври 2023, Охрид
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

XIV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС '23

**Охрид
06 ÷ 08. 10. 2023 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, од оваа година 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 дванаесет советувања (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 и 2022 год.) учествуваа повеќе автори од 12 држави, кои презентираа 366 стручни трудови.

За ова четринаесето советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '23) пријавени се 32 труд, на автори од 2 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

XIV EXPERT CONFERENCE THEMED:

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

PODEKS - POVEKS '23

**Ohrid
06 ÷ 08. 10. 2023.**

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, this year it 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 twelve conferences (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 and 2022) presenting 366 expert papers.

Thirty-two authors from 2 countries have registered their expert papers for the XIVth conference (PODEKS - POVEKS '23).

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
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Македонија

XIV СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

**Технологија на подземна и површинска експлоатација
на минерални сировини**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '23

**Охрид
06 ÷ 08. 10. 2023 год.**

СОДРЖИНА

КВАЛИТАТИВНИ И КВАНТИТАТИВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ГЛИНИТЕ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ ЛИСКА (РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА) * Орце Спасовски.....	1
МИНЕРАЛОШКИ И ГЕОХЕМИСКИ СОСТАВ НА РУДИ КОИ СЕ ОБРАБОТУВААТ ВО МЕТАЛУРШКИОТ ОБЈЕКТ ВО КАВАДАРЦИ * Иван Боев.....	9
ГЕОЛОГИЈА НА ТЕРЕНОТ КАДЕ СЕ ПОЈАВУВА ВОДОПАДОТ НА ЈАВОРСКА РЕКА, ВО НЕПОСРЕДНА БЛИЗИНА НА НАОЃЛИШТЕТО НА ТАЛИУМ АЛШАР, СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА * Иван Боев, Ивица Андов.....	19
НАОЃАЛИШТЕ НА ТЕХНИЧКИ ГРАДЕЖЕН КАМЕН ВО КОМПЛЕКСНА ГЕОЛОШКА СРЕДИНА * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски, Игор Пешевски, Емил Јорданов, Зоран Стојчев.....	28
ЕДЕН ПРИСТАП ЗА САНАЦИЈА ПРИ НЕСТАБИЛНОСТ НА КОСИНИ КАЈ УСЕК НА ЕКСПРЕСЕН ПАТ СО ПРИМЕНА НА ГЕОЛОШКИ И ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ МЕТОДИ * Игор Ивановски, Ласте Ивановски.....	39
НОВИ СОЗНАНИЈА ЗА СОСТОЈБАТА НА ПОДЗЕМНИТЕ РУДАРСКИ ПРОСТОРИИ ПОД ТРАСАТА НА ЕКСПРЕСНИОТ ПАТ А2 – КОРИДОР VIII, КАЈ С. ГИНОВЦЕ, КРИВА ПАЛАНКА * Ласте Ивановски, Игор Ивановски.....	51
ИЗБОР НА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА СПОРЕД ПОСТАПКАТА НА SHANRIAR&ВАКНТАВАР * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Ванчо Аџиски, Николинка Донева.....	63

ДОПОЛНИТЕЛЕН РУДАРСКИ ПРОЕКТ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МАНГАНОВА РУДА ОД ПОВРШИНСКИОТ КОП „УЖИНИЦА“ КОНЦЕИСИЈА "СТОГОВО" ВО ОПШТИНА ДЕБАРЦА, ОПШТИНА КИЧЕВО, ОПШТИНА ДЕБАР, И ОПШТИНА СТРУГА * Кирил Демјански, Никола Чапов.....	72
ИЗРАБОТКА НА КАНАЛ ЗА ЦЕВКОВОД ЗА МХЕЦ * Илија Дамбов, Ристо Дамбов.....	79
МЕТОДИ НА МИНИРАЊЕ ЗА ИЗРАБОТКА НА ФУНДАМЕНТ ЗА ВЕТЕРНИЦА- ВЕТЕРЕН ПАК ДРЕН 1 И 2 * Пепа Мицев, Митко Крмзов, Јордан Петрески, Ристе Трајков.....	88
ТЕХНОЛОГИЈА НА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МЕРМЕРНИ БЛОКОВИ СО ЛАНЧАНА И ДИЈАМАНТСКА ЖИЧНА ПИЛА ВО Р. БЕЛА ПОЛА * Димитар Ристески, Ристо Дамбов	96
МИНИРАЊЕ СО НЕЕКСПЛОЗИВНИ СРЕДСТВА НА КАРПИ СО ГАС - ПАТРОНИ "SPLITTER ROCK GAS" * Ристо Дамбов, Илија Дамбов, Игор Стојкоски.....	104
СИМУЛАЦИЈА НА ВЛИЈАНИЕТО НА СЕИЗМИЧКИТЕ БРАКОВИ ВРЗ СТАБИЛНОСТА НА АКТИВНИТЕ ЕТАЖИ ВО РУДНИК „СИБОВЦ“ * Ујмир Ука, Ристо Дамбов, Кемајл Зекири, Бурим Ферати.....	114
ПРОЦЕСИРАЊЕ НА СЕИЗМИЧКИ СИГНАЛИ ОД МИНИРАЊА НА ПОВРШИНСКИ КОПОВИ * Зоран Панов, Лазо Пекевски, Ристо Поповски	121
ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЈАГЛЕН ОД НАОЃАЛИШТЕТО „ЖИВОЈНО“ * Александар Стоилков, Маја Јованова, Миле Арсовски, Бојан Ивановски	131
НОВИТЕ ТЕХНИЧКО – ТЕХНОЛОШКИ ДОСТИГНУВАЊА ВО РУДНИКОТ ЗА ОЛОВО И ЦИНК САСА – М. КАМЕНИЦА * Борче Гоцевски, Дејан Ивановски, Ана Димитровска, Тони Митевски, Јовица Велиновски, Чедо Ристовски, Стојанче Мијалковски	139
МЕТОДОЛОГИЈА ЗА АНАЛИЗА НА ПОВРШИНАТА И ПРОСТОРНАТА ДИСТРИБУЦИЈА НА РУДНИЦИТЕ ЗА ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА ВО Р. С. МАКЕДОНИЈА СО ПОМОШ НА ДАЛЕЧИНСКО НАБЉУДУВАЊЕ * Ванчо Ациски, Стојанче Мијалковски..	152
ПРИМЕНА НА БЕСПИЛОТНИТЕ ЛЕТАЛА ВО РУДАРСТВОТО СО ПОМОШ НА ВЕШТАЧКАТА ИНТЕЛЕГЕНЦИЈА * Бојан Максимов, Александар Петровски.....	165
ПРЕСМЕТКА НА КОЛИЧИНИ НА РУДА И ЈАЛОВИНА СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ РЕШЕНИЈА * Зоран Панов, Горица Каранфиловска, Радмила Каранакоска Стефановска, Ристо Поповски, Дејанчо Петров.....	174

ТЕХНИЧКИ ПРЕГЛЕД И ПЕРИОДИЧНО ИСПИТУВАЊЕ НА ПОМОШНА ТЕХНИЧКА ОПРЕМАТА КОЈА СЕ КОРИСТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНА СУРОВИНА * Игор Максимов.....	183
МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ИСТРАГИ НА ИНЦИДЕНТИ НА РАБОТНИ МЕСТА * Станке Тасковски, Борче Гоцевски, Марија Хаџи – Николова, Стојанче Мијалоковски.....	190
ВОВЕДУВАЊЕ НА МОНИТОРИНГ НА РАБОТНИТЕ УСЛОВИ ОД АСПЕКТ НА БЕЗБЕДНОСТ И ЗДРАВЈЕ ПРИ РАБОТА * Анкица Илијева Стошиќ.....	199
KNAUF SAFETY GUIDANCE * Xheneta Zengo.....	211
AN OVERVIEW OF THE ACCIDENTS AT STANTERG MINE BASED ON STATISTICS AND EVIDENCE * Kemajl Zeqiri.....	216
ВЛИЈАНИЕТО НА ЕКСПЛОАТАЦИЈАТА НА АРХИТЕКТОНСКО ГРАДЕЖНИОТ КАМЕН ВРЗ ЖИВОТНАТА СРЕДИНА * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	220
ВОСПОСТАВУВАЊЕ НА ЈАГЛЕРОДЕН ОТПЕЧАТОК НА БУЧИМ ДООЕЛ РАДОВИШ СОГЛАСНО ISO 14064-1:2018 * Марко Ацевски, Мартина Блинкова Дончевска, Ники Петрески, Саре Сарафилоски.....	230
ПРИСУСТВО НА САМОРОДЕН СУЛФУР И ГИПС ВО СЕЛО ПЛЕШЕНЦИ И НИВНО ВЛИЈАНИЕ ВРЗ ЖИВОТНАТА СРЕДИНА * Марјан Георгиевски, Соња Лепиткова, Ивица Андов.....	238
ГЕОМОРФОЛОШКИ ФЕНОМЕН МАРКОВИ КУЛИ - ПРИЛЕП * Катерина Деспот, Васка Сандева, Владица Николовска, Екатерина Намичева Тодоровска.....	250
ВЛИЈАНИЕТО НА КОМПОЗИЦИЈАТА ВО ГЕОПАРКОВИТЕ * Васка Сандева, Катерина Деспот, Екатерина Намичева Тодоровска, Владица Николовска.....	258
СЕИЗМИЧНОСТ НА ЕПИЦЕНТРАЛНОТО ПОДРАЧЈЕ СТРУМИЦА ЗА ПЕРИОДОТ 1901–2022 * Јасмина Најдовска, Катерина Дрогрешка, Ивана Молеровиќ, Љубчо Јованов, Драгана Черних, Марјан Делипетрев.....	267
НЕКОИ СЕИЗМИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОХРИДСКО-ПРЕСПАНСКИОТ РЕГИОН * Катерина Дрогрешка, Љубчо Јованов, Јасмина Најдовска.....	274
ИЗБОР НА ЛОКАЦИЈА НА ФАБРИКА * Васко Стефанов, Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Иван Боев, Дејан Мираковски.....	284



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XIV TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:
Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '23

Охрид
06 – 08. 10. 2023 год.

МЕТОДОЛОГИЈА ЗА АНАЛИЗА НА ПОВРШИНАТА И ПРОСТОРНАТА ДИСТРИБУЦИЈА НА РУДНИЦИТЕ ЗА ПОВРШИНСКА ЕКСПЛОАТАЦИЈА ВО Р. С. МАКЕДОНИЈА СО ПОМОШ НА ДАЛЕЧНСКО НАБЉУДУВАЊЕ

Ванчо Аџиски¹, Стојанче Мијалковски¹

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

Апстракт: *Правењето на сеопфатна анализа поврзана за површината и просторната дистрибуција на рудниците за површинска експлоатација во предходно дефинирана територија е од клучно значење за ефективно управување со ресурсите, проценка на ефектите поврзани со животната средина и планирање за користење на земјиштето. Во оваа студија, се користени техники на далечинско набљудување и геопросторна анализа за да ја одредиме површината и просторната дистрибуција на рудниците за површинска експлоатација во Р. С. Македонија.*

Претставената методологија ја користи Google Earth Engine платформата заедно со мултиспектрални сателитски фотографии за пресметување и комбинирање на спектралните индекси, како што се Индексот на Вегетација за Нормализирана Разлика (NDVI), Индексот на Нормализирана Разлика на Водата (NDWI) и Подоброениот Вегетациски Индекс (EVI). Една од главните цели на методологијата е да обезбеди автоматизиран пристап во пресметувањето на површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација како и да обезбеди информации кои можат да помогнат во проценката на нивните влијанија врз животната средина.

Резултатите од оваа студија придонесуваат за сеопфатно разбирање на просторните карактеристики на рудниците за површинска експлоатација во Р. С. Македонија, како и да се донесат заклучоци за можните импликации поврзани со истите. Исто така оваа студија ја покажува ефективността на далечинското набљудување и геопросторната анализа и како тие можат да служат како мониторинг алатка за следење и проценка на активностите кои се поврзани со рудниците за површинска експлоатација.

Клучни зборови: *рудник за површинска експлоатација, далечинско набљудување, геопросторна анализа, животна средина.*

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE SPATIAL DISTRIBUTION AND EXTENT OF OPEN-PIT MINES IN R. N. MACEDONIA THROUGH REMOTE SENSING ANALYSIS

Vancho Adjiski¹, Stojance Mijalkovski¹

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

Abstract: *Understanding the spatial distribution and extent of open-pit mines is crucial for effective resource management, environmental assessment, and land-use planning. In this study, we employed remote sensing techniques and geospatial analysis to analyze the extent and spatial distribution of open-pit mines in R. N. Macedonia.*

The methodology involved the utilization of Google Earth Engine and multispectral satellite imagery for the calculation and combining of spectral indices, such as the Normalized Difference Vegetation Index, (NDVI) Normalized Difference Water Index (NDWI) and Enhanced Vegetation Index (EVI). One of the main goals of the methodology is to provide an automated approach for the calculation of the occupied mine extend area and to provide information that can help in the assessment of their impacts on the environment.

The findings contribute to a comprehensive understanding of the spatial characteristics and implications of open-pit mining in R. N. Macedonia. Also, this study shows the effectiveness of remote sensing and geospatial analysis and how they can serve as a monitoring tool to assess activities related to open-pit mining.

Key Words: *open-pit mining, remote sensing, geospatial analysis, environment.*

1. ВОВЕД

Рудниците за површинска експлоатација се широко распространети во секоја држава и претставуваат важна метода за експлоатација на вредни минерали и ресурси од површината на Земјата. Овој метод вклучува ископување на големи количини материјал за пристап до саканите наоѓалишта на минерални суровини. Мониторингот на површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација како и нивната просторната дистрибуција низ територијата на одредена држава се од клучно значење за ефективно управување со ресурсите, проценка на животната средина и планирање за користење на земјиштето [1].

Во оваа студија, е развиена методологија за анализа и автоматска пресметка на површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација како и нивната просторна дистрибуција низ територијата на Р. С. Македонија, користејќи техники на далечинско набљудување и геопросторна анализа.

Далечинското набљудување, заедно со геопросторната анализа, обезбедува вредни алатки за проучување и следење на активностите поврзани со рудниците за површинска експлоатација [2]. Дополнително, различни спектрални индекси, како што се Индексот на Вегетација за Нормализирана Разлика (NDVI), Индексот на Нормализирана Разлика на Водата (NDWI) и Подобрениот Вегетациски Индекс (EVI) може да се пресметаат со помош на мултиспектрални сателитски фотографии и со тоа да се процени развојот (здравјето) на вегетацијата и присуството на водни површини [3]. Овие индекси служат како соодветни показатели за активностите кои се поврзани со рудниците за површинска експлоатација а исто така, помагаат и во идентификацијата на потенцијалните влијанија врз животната средина.

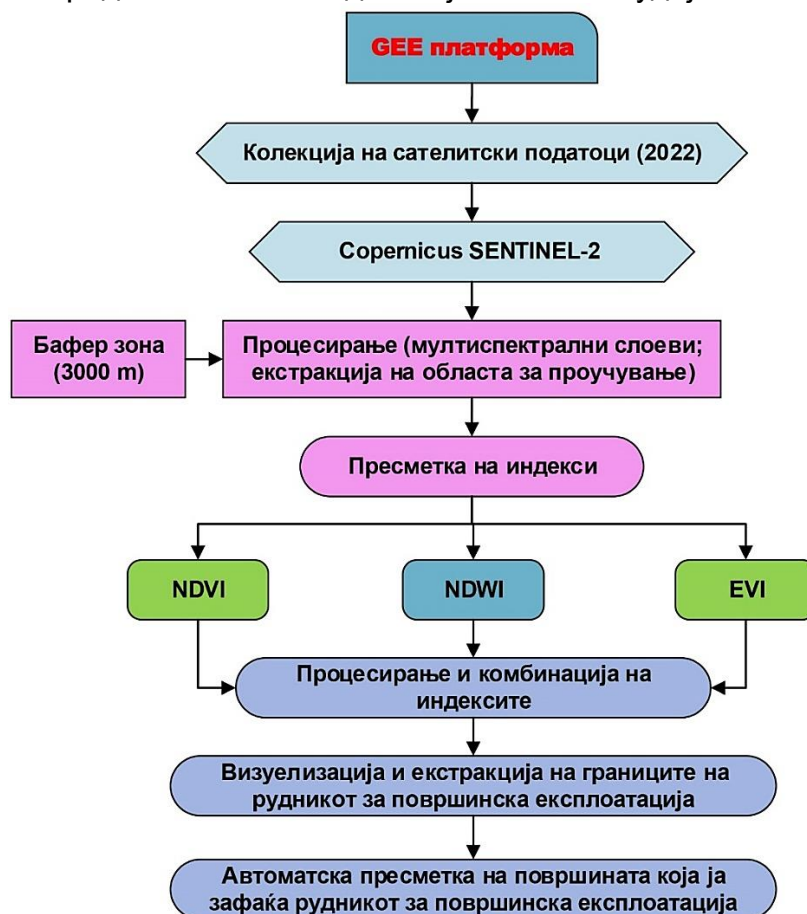
За потребите на оваа студија се користени техники за далечинско набљудување и геопросторна анализа за да се направи методологија во форма на апликација за пресметка на површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација како и да се направи нивна анализа за просторната дистрибуција низ територијата на Р. С. Македонија.

За развојот на предложената методологија се користени мултиспектрални фотографии од сателитот Sentinel-2, за да ја направиме соодветната анализа како и да ги идентификуваме и мапираме рудниците за површинска експлоатација на територијата на Р. С. Македонија. Преку пресметката на релевантните спектрални индекси, како што се NDVI, NDWI и EVI и нивна комбинација имаме за цел да ја измериме површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација како и да ги идентификуваме потенцијалните водни површини поврзани со рударските активности.

Дефинираните цели на оваа студија се:

1. Да се пресмета површината која ја зафаќаат поединечни рудници за површинска експлоатација како и да се идентификуваат сите водни површини со користење на спектрални индекси пресметани со помош на мултиспектрални сателитски фотографии.
2. Да се анализира просторната дистрибуција на детектираните рудници за површинска експлоатација со помош на сателитски фотографии и да се изработи соодветна мапа (heatmap).
3. Изработка на апликација за мониторинг на основните карактеристики кои се поврзани со рудниците за површинска експлоатација. Структурата на апликацијата е изработена во JavaScript врз платформата на Google Earth Engine, што значи дека апликацијата може во континуитет да се надоградува и да се додаваат дополнителни модули за подетални анализи поврзани за областа на проучување.

Резултатите од оваа студија ќе придонесат за подобро разбирање на просторната дистрибуција, површината и потенцијалните влијанија врз животната средина од рудниците за површинска експлоатација во Р. С. Македонија. Информациите кои можат да се добијат од ова истражување може да се искористат од владините агенции, еколошките организации и сите засегнати страни за информирање поврзано со мониторинг на искористеното земјиште, управување со животната средина и процесите на донесување одлуки поврзани со отварање на нови рудници во одредени региони на Р. С. Македонија. На Слика 1 се прикажани систематските чекори кои се потребни за да се изработи предложената методологија во оваа студија.



Слика 1. Преглед на методолошката рамка користена во оваа студија

2. МЕТОДОЛОГИЈА НА РАБОТА

2.1 Дефинирање на локацијата

Како прв чекор во предложената методологија е со помош на сателитски фотографии да се детектираат локациите на рудниците за површинска експлоатација на територијата на Р. С. Македонија. Оваа детекција во наредните истражувања ќе биде подобрена со алгоритми за машинско учење што значително ќе го подобри и автоматизира овој процес [4-5]. Локациите на рудниците за површинска експлоатација се одредени и дефинирани со географски координатен систем (географска ширина и должина).

Дополнително, околу овие локациски точки беа создадени бафер зони за да се разграничат регионите од интерес. Големината на бафер зоната беше поставена во радиус од 3000 m околу точката на локација, со цел да се долови доволна површина за потребната анализа.

2.2 Филтрирање и обработка на сателитски мултиспектрални фотографии

За потребите на оваа студија е користена колекција на мултиспектрални фотографии од Sentinel-2 сателитот. За да се добијат релевантни мултиспектрални фотографии, колекцијата беше филтрирана врз основа на дефинираните бафер региони и одреден временски опсег од 1 Јануари 2022 година до 31 Декември 2022 година. Понатаму, фотографиите кои содржат облаци под 20 % во бафер зоната беа избрани за да се обезбеди висок квалитет на податоци за анализа.

Чекорите за обработка на мултиспектралните фотографии вклучуваат пресметување на суштинските параметри на NDVI, NDWI и EVI кои се потребни за да се спроведе потребната анализа. Овие индекси ги обезбедуваат потребните податоци, овозможувајќи сеопфатна анализа за одредување на границите на површинскиот коп а со тоа и пресметка на површината која ја зафаќаат.

2.3 Пресметка на индекси со помош на мултиспектрални фотографии

2.3.1. Индексот на Вегетација за Нормализирана Разлика (NDVI)

NDVI е широко користен вегетациски индекс кој го квантифицира здравјето и густината на вегетацијата. Вредностите на NDVI параметарот се движат во граници од -1 до 1. Зголемувањето во позитивна насока на NDVI укажува на зголемување на количеството на зелена вегетација, додека областите со слаба вегетација, како што се пустите површини (карпи и почва) и водата покажуваат вредности на NDVI близу или помали од нула. NDVI може да се пресмета со користење на површинска рефлексација на блиско инфрацрвениот бенд (NIR) и црвениот бенд на мултиспектралните фотографии од Sentinel-2 сателитот. NDVI се пресметува со помош на следнава формула [6]:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

Каде:

NIR - блиско инфрацрвено подрачје (број на спектрален канал B8 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 842 nm и просторна резолуција од 10 m);

Red - црвено подрачје (број на спектрален канал B4 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 665 nm и просторна резолуција од 10 m);

2.3.2. Индексот на Нормализирана Разлика на Водата (NDWI)

NDWI е индекс што се користи за откривање на водни површини и проценка на содржината на вода во вегетацијата со помош на мултиспектрални фотографии. Овој индекс го користи контрастот во рефлексивноста помеѓу зеленото (Green) и блиското инфрацрвено подрачје (NIR) во мултиспектралните фотографии. Вредностите на NDWI се движат во граници од -1 до 1, каде што повисоките вредности укажуваат на поголемо присуство на вода. NDWI се пресметува со помош на следнава формула [7]:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (2)$$

Каде:

Green – зелено подрачје (број на спектрален канал B3 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 560 nm и просторна резолуција од 10 m);

NIR - блиско инфрацрвено подрачје (број на спектрален канал B8 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 842 nm и просторна резолуција од 10 m);

2.3.3. Подобен Вегетациски Индекс (EVI)

EVI претставува напреден вегетациски индекс кој ги опфаќа и атмосферските влијанија и обезбедува попрецизна мерка за детекција на вегетацијата. Се пресметува со користење на повеќе спектрални бендови, вклучувајќи ги црвениот, синиот и блискиот инфрацрвен бенд во мултиспектралните фотографии. Вредностите на EVI се движат во граници од -1 до 1, каде што повисоките вредности укажуваат на поголемо присуство на вегетација. EVI се пресметува со помош на следнава формула [6]:

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)} \quad (3)$$

Каде:

NIR - блиско инфрацрвено подрачје (број на спектрален канал B8 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 842 nm и просторна резолуција од 10 m);

Red - црвено подрачје (број на спектрален канал B4 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 665 nm и просторна резолуција од 10 m);

Blue – сино подрачје (број на спектрален канал B2 во Sentinel-2 сателитот со централна бранова должина од 490 nm и просторна резолуција од 10 m);

2.4 Детекција, визуелизација и пресметка на детектираните површини

Параметрите добиени преку NDVI, NDWI и EVI претставуваат клучен индикатор за проценка на промените во животната средина во деградираниот земјиште. Анализа на промените во вегетацијата може да се добие преку следење на вегетациската покривка [8]. Идејата позади комбинацијата на овие индекси е да се следи отсуството на вегетациска покривка во предходно детектираните рудици за површинска експлоатација и на тој начин со помош на изработената апликација во Google Earth Engine да се детектираат границите во кои се извршува експлоатацијата на минералните суровини.

За да се добие увид во карактеристиките на земјишната покривката во областа на проучување, сателитските снимки беа визуелизирани со користење на соодветни параметри. Композитната RGB (црвено-зелено-сина) фотографија, генерирана со помош на бендовите 4, 3 и 2, беше прикажана со минимална вредност од 0 и максимална вредност од 3000, обезбедувајќи оптимална визуелизација на карактеристиките на земјишната покривката.

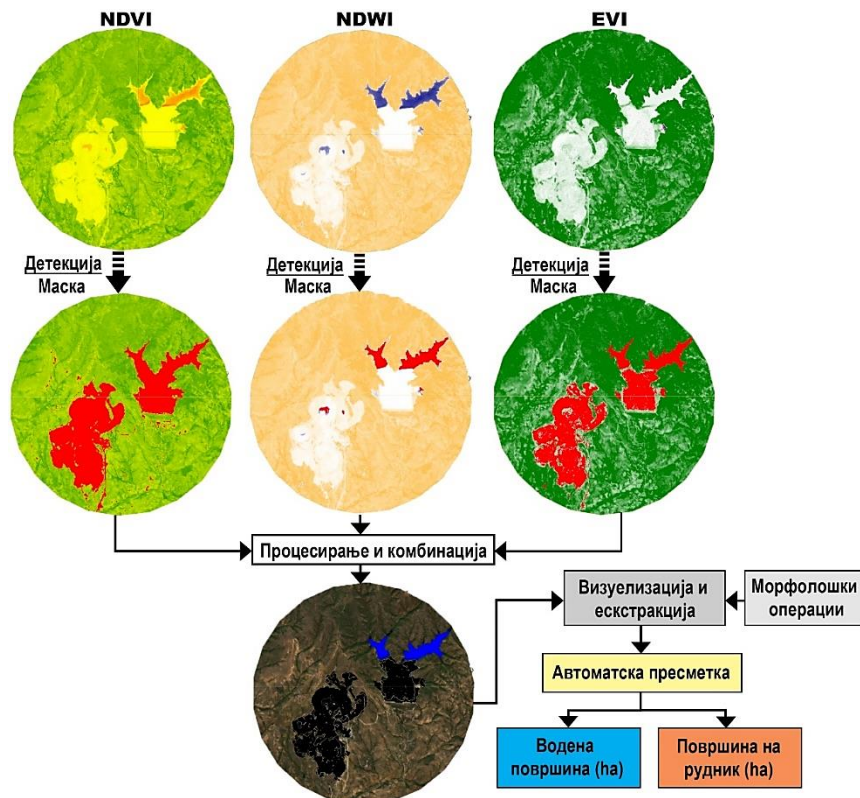
Дополнително NDVI, NDWI и EVI беа визуелизирани со користење на специфични палети за да се потенцира целокупната вегетациона покривка и водните површини. Автоматските маски за издвојување на одредени области во NDVI, NDWI и EVI беа создадени со примена на претходно дефинирани прагови на овие индекси. Пикселите со вредност на NDVI под 0.2 беа маскирани за да се идентификуваат потенцијалните области на рудникот (гола површина без вегетација), додека пикселите со вредност NDWI над 0.4 и EVI вредности под 0.2 беа маскирани за да се идентификуваат водните површини и областите со слаба вегетација.

Почетната површина на рудникот беше одредена со комбинирање на предходно генерираните автоматски маски кои содржат филтрирани параметри поврзани со NDVI, NDWI и EVI. Со сумирање на овие маски, беа идентификувани области кои покажуваат карактеристики на потенцијално рударство, водни површини и ниска вегетација. Сепак, комбинацијата на овие маски генерира една збирна маска која содржи мали артефакти (збир на пиксели) кои влијаат во финалната точност при пресметка на детектираната површина.

За да се реши ова, беа применети морфолошки операции, вклучувајќи проширување и одземање на мали групи на пиксели за чистење и генерирање на финалната маска.

Површината на рудникот беше пресметана автоматски со помош на исчистената финална генерирана маска која ги претставува границите на експлоатација во областа на проучување. Бројот на пикселите кои имаат точна просторна големина и се наоѓаат внатре во финалната маска, овозможуваат проценка на површината на рудникот (ha). За да се зголеми точноста при пресметка на површината за секоја од предходно дефинираните локации, оваа методологија е направена само во рамките на бафер зоната од 3000 m околу локацијата на рудникот за површинска експлоатација. На Слика 2 се прикажани визуелно, методолошките чекори кои произлегуваат од изработената апликација во Google Earth Engine.

Методологијата претставена во оваа студија следи системски чекори, почнувајќи со дефиниција на локации на точки и создавање бафер зона, проследено со филтрирање, селекција и претходна обработка на сателитски фотографии, визуелизација, маскирање, пресметување и анализа на површината на рудниците за површинска експлоатација. Изработената апликација во платформата Google Earth Engine, обезбедува анализа на сетови на податоци од сателитски фотографии од големи размери а воедно обезбедува и лесна надоградба.



Слика 2. Методолошките чекори и резултати кои произлегуваат од изработената апликација во Google Earth Engine.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Пресметките за површината и мапирањето на просторната дистрибуција на рудниците за површинска експлоатација во Р. С. Македонија со помош на далечинско набљудување беа анализирани со користење на предходно дефинираната методологијата (Слика 1). За да ја претставиме предложената методологија, истата беше спроведена на локации на три рудници за површинска експлоатација и резултатите од овој чекор се претставени во Табела 1. Дополнително беше креирана и мапа (heatmap) врз основа на точките за локација, визуелизирајќи ја просторната дистрибуција на рудниците за површинска експлоатација низ територијата на Р. С. Македонија (Слика 3).

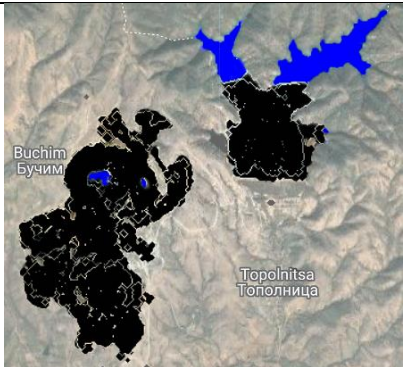


Табела 1 ги прикажува автоматските пресметки за површината на селектираните рудници за површинска експлоатација, генерирани од предложената методологија. Координатите за географската широчина и должина беа внесени во изработената апликација, овозможувајќи точно просторно геореференцирање. Во наредните чекори, апликацијата автоматски генерира бафер зона околу внесената локација за поточно да се долови доволна површина за потребната анализа. Површината која ја зафаќа секој од селектираните рудници за површинска експлоатација се пресметани врз основа на техники за далечинско набљудување, користејќи комбинација на NDVI, NDWI и EVI параметри и нивно комбинирање во финална маска која автоматски ги одредува границите на рудникот.

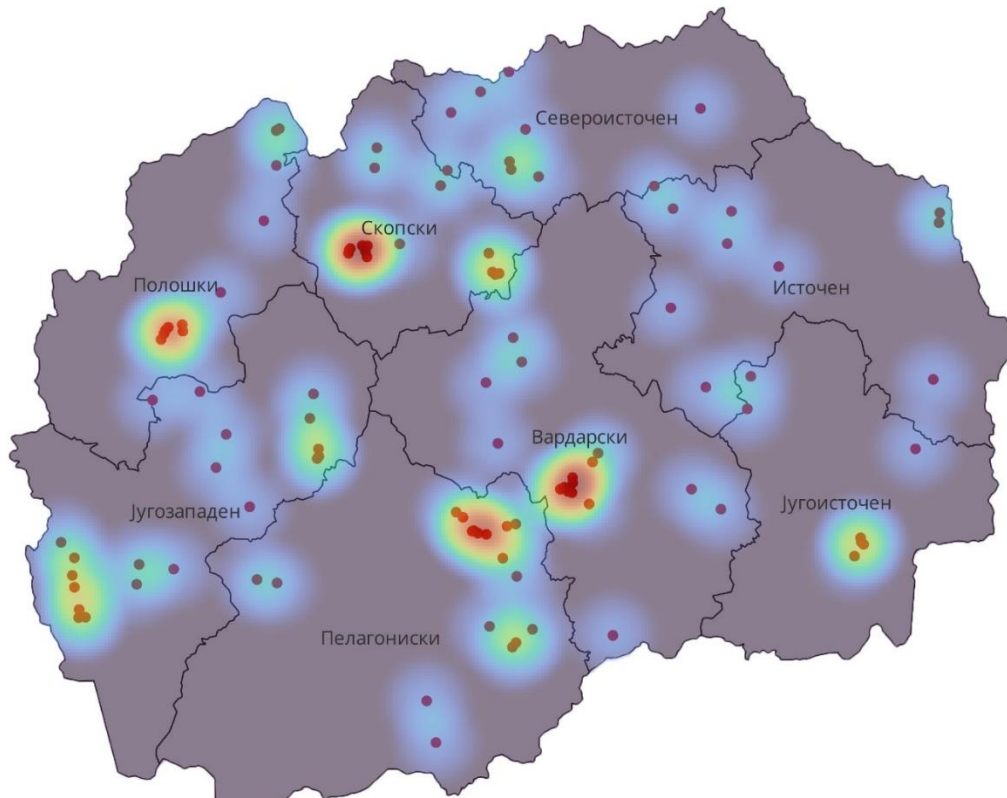
За потребите на оваа студија беше изработена и мапа (heatmap) која ја визуелизира просторната дистрибуција на предходно детектираните рудници за површинска експлоатација на територијата на Р. С. Македонија (Слика 3). Оваа

мапа во иднина ќе биде надоградена и валидирана и ќе служи за изработка на база на податоци во која ќе бидат внесени сите рудници на територијата на Р. С. Македонија заедно со површината која ја зафаќаат и додатни параметри поврзани со мониторинг на животната средина во околината на детектираните рудници.

Оваа мапа (heatmap) беше генерирана со користење на локациските точки на рудниците и истата е обработена во QGIS. Областите во кои рудниците за површинска експлоатација се погусто распоредени се прикажани со потопли бои (црвена-жолта) додека останатите области се претставени со поладни бои (сина). Изработената мапа (heatmap) обезбедува јасна визуелизација на групирањето и концентрацијата на рударските активности со површинска експлоатација, овозможувајќи подобро разбирање на нивната просторна дистрибуција на територијата на Р. С. Македонија.

Табела 1. Автоматски пресметки за површината на селектираните рудници за површинска експлоатација заедно со визуелизација на детектираната граница

	Локација		Површина (ha) (2022)		Детектирана граница
	Географска ширина	Географска должина	Рудник	Вода	
1.	41.670	22.362	445.22	71.78	
2.	41.601	22.338	117	0	
3.	41.281	21.087	25.39	0	



Слика 3. Просторната дистрибуција на детектираните рудници за површинска експлоатација на територијата на Р. С. Македонија

Резултатите добиени од оваа студија даваат автоматизирана методологија во форма на апликација која може да даде информации за површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација и нивната просторната дистрибуција на територијата на Р. С. Македонија. Со анализа на Табела 1 и изработената мапа (Слика 3) може да се направат неколку клучни набљудувања и заклучоци:

1. Пресметките поврзани за површината која ја зафаќаат детектираните рудници обезбедуваат квантитативни информации за големината и покриеноста на секој рудник со отворен коп. Со споредување на површината, можно е да се идентификуваат рудници со различни размери на работа и влијание врз животната средина.
2. Изработената апликација има можност да ја детектира и водната површина (доколку има) во самите рудници за површинска експлоатација или пак во нивната непосредна близина. Овие информации се клучни за проценка на потенцијалните влијанија врз животната средина и стратегиите за управување со водните ресурси.
3. Изработената мапа (heatmap) ја открива просторната дистрибуција на рудниците за површинска експлоатација, што укажува на области со поголема концентрација на рудници. Од мапата може да се забележат кластери на рудници, што укажува на присуство на специфични геолошки или економски фактори кои влијаат на нивната локација.

Добиените резултати од оваа студија даваат основа за понатамошна анализа и толкување. Во делот “НАСОКИ ЗА ИДНИ ИСТРАЖУВАЊА”, ќе ги потенцираме овие наоди, земајќи ги во предвид еколошките, социјалните и економските аспекти поврзани со активностите на рудниците за површинска експлоатација.

Дополнително, овие наоди за понатамошни истражувања ќе се споредат со постоечката литература и соодветни студии за да се добие пошироко разбирање за регионалниот контекст и потенцијалните идни случувања поврзани со оваа тема.

4. НАСОКИ ЗА ИДНИ ИСТРАЖУВАЊА

Во овој дел ќе бидат евалуирани и претставени некои модули кои значително ќе ја подобрат предложената методологија и ќе постават јасни насоки во кои истата би можела да се надоградува, како и можните резултати од овие надградби.

Со подетална анализа на просторната дистрибуција на рудниците за површинска експлоатација низ одредена територија може да се детектираат кластери или просторни трендови поврзани со локациите на истите [9]. Со користење на техники за просторно кластерирање како што е K-means алгоритмот, можат да се идентификуваат просторно кохезивните групи или жариштата на активности поврзани со рудниците за површинска експлоатација. Со правење на ваква анализа може да се направи врска помеѓу локациите на рудниците, факторите на животната средина или пак геолошките фактори.

Резултатите добиени од оваа студија можат да се споредат со историски фотографии (со помош на Landsat 5, 7 и 8 сателитот можат да се добијат фотографии кои датираат од 1984 година) и да се направи анализа на промените на земјината покривка во рамките на рудникот за површинска експлоатација со текот на времето [10]. Ова може да помогне во идентификација на областите каде рудниците се прошириле или намалиле и да се процени целокупното влијание врз пејзажот [11-12]. Исто така со ваквата временска и просторна анализа можат да се истражат транзициите и конверзиите на земјишната покривка поврзани за активностите на рудниците за површинска експлоатација, како што е конверзија на природната вегетација во рударски области или рекултивација на експлоатирани области [3].

Проширувања на оваа студија можат да се направат и со воведување на анализа поврзана со површината на рударските области во сооднос со еколошки чувствителните подрачја [13]. Со правење на проценка поврзана со преклопувањето на рудниците за површинска експлоатација со области во кои имаме голема биолошката разновидност или клучни водни ресурси, можеме да ги идентификуваме и мапираме сите области на територијата на цела држава каде рударските активности би можеле да имаат значителни еколошки импликации [14,15,13,16].

Резултатите од ова истражување исто така можат да обезбедат и насоки за други видови на компарации или споредба со други индустриски случувања за да може да се разбере обемот и значењето на анализираните рудници во регионот на истражување. Со ваквите компарации и анализи може да се направи анализа за разликите во земјишните или пак водните површини поврзани со рудниците и да се идентификуваат варијации во рударските практики, методите на експлоатација или пак еколошките фактори.

Понатамошни екстензии и врски со предложената методологија можат да се направат во делот на социо-економските импликации на рудниците за површинска експлоатација со близината на истите до населби, инфраструктура или пак поголеми економски центри. Со ваквата анализа може да се направи дополнителна корелација помеѓу големината на рудникот, економските показатели или пак социјалните фактори како што се густината на населението,

стапките на вработеност или нивоата на приход. Дополнително може да се истражи и влијанието на овие рудници врз локалните заедници, вклучувајќи фактори како раселување, социјални конфликти или пак промени во шемите за користење на земјиштето.

5. ЗАКЛУЧОК

Во оваа студија е направена проценка на површината на предходно селектирани рудници за површинска експлоатација и исто така е направена просторна дистрибуција во форма на мапа (heatmap) во која се мапирани локациите на предходно детектираните рудници на територијата на Р. С. Македонија со помош на сателитски фотографии. Со помош на претставената методологија, преку користење на сателитски фотографии и пресметување на релевантни спектрални индекси, како што се NDVI, NDWI и EVI, успешно се идентификувани и анализирани детектираните рудници за површинска експлоатација во селектираната област на проучување.

Резултатите добиени од оваа студија даваат вредни сознанија за површината која ја зафаќаат како и просторната дистрибуцијата на рудниците за површинска експлоатација на територијата на Р. С. Македонија. Резултатите претставени во Табела 1, за локации на рудници за површинска експлоатација, заедно со пресметките за површината на истите (како и водна површина), служи како сеопфатна референца за разбирање на големината и покриеноста на поединечните рудници. Изработената мапа (heatmap) (Слика 3) генерирана од локациските точки на детектираните рудниците дополнително ја визуелизира концентрацијата на рударските активности во одредени региони, помагајќи во идентификацијата на просторните кластери каде е најмногу застапено рударството со површинска експлоатација на територијата на Р. С. Македонија. Преку детална анализа на резултатите добиени од оваа студија произлегоа неколку клучни наоди. Просторната дистрибуција на рудниците со површинска експлоатација покажа области на значителни кластери, што укажува на влијание на одредени геолошки карактеристики во тие региони.

Пресметките за површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација обезбедуваат значителни квантитативни информации за големината и опфатот на поединечните рудници, овозможувајќи проценка на нивното влијание врз животната средина. Понатаму, идентификацијата на водните површини поврзани со рударските активности придонесуваат за разбирање на потенцијалните влијанија како и потребата од соодветни стратегии за управување со овие водни површини.

Наодите од оваа студија имаат важни импликации за одржливо управување со ресурсите и планирање за користење на земјиштето во Р. С. Македонија. Информациите добиени од ова истражување може да им помогнат на владините агенции, еколошките организации и засегнатите страни во донесувањето информирани одлуки во врска со регулативите за рударство, еколошките проценки и мерките за ублажување поврзани со животната средина.

За да се обезбеди одржливо управување со ресурсите и да се минимизираат негативните еколошки и социјални влијанија поврзани со рудниците за површинска експлоатација, потребни се дополнителни истражувања. Идните истражувања би можеле да ги анализираат долгорочните промени во активностите на овие рудници, да ги проценат еколошките и социо-економските

влијанија врз локалните заедници и да развијат стратегии за одржливи рударски практики и рекултивација на деградираното земјиште.

Со подетална анализа на просторната дистрибуција и површината која ја зафаќаат рудниците за површинска експлоатација низ целата територија на Р. С. Македонија, можно е да се разработи поинформирано донесување на одлуки и ефективно управување со минералните ресурси, истовремено зачувувајќи ја животната средина и минимизирајќи ги потенцијалните влијанија врз околните екосистеми и заедници.

6. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chen, W., Li, X., He, H., & Wang, L. (2017). A Review of Fine-Scale Land Use and Land Cover Classification in Open-Pit Mining Areas by Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing*, 10(2), 15. <https://doi.org/10.3390/rs10010015>
- [2] Bürck, S. (2020). Remote sensing analyses for open pit mine area computation. A comparative study on the implementation of multi-spectral classifications and crowdsourcing to compute the spatial extent of four open-pit mines in Indonesia, Australia, Canada and Brazil [Master's thesis]. <https://doi.org/10.11588/heidok.00028100>
- [3] Adjiski, V., & Zubíček, V. (2023). Continuous Monitoring of the Mining Activities, Restoration Vegetation Status and Solar Farm Growth in Coal Mine Region Using Remote Sensing Data. *Mining Revue*, 29(1), 26–41. <https://doi.org/10.2478/minrv-2023-0003>
- [4] Xie, H., Pan, Y., Luan, J., Yang, X., & Xi, Y. (2021a). Semantic Segmentation of Open Pit Mining Area Based on Remote Sensing Shallow Features and Deep Learning. In M. Atiquzzaman, N. Yen, & Z. Xu (Eds.), *Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City* (pp. 52–59). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4572-0_8
- [5] Xie, H., Pan, Y., Luan, J., Yang, X., & Xi, Y. (2021b). Open-pit Mining Area Segmentation of Remote Sensing Images Based on DUsegNet. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(6), 1257–1270. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01312-x>
- [6] Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors*, 7(11), 2636–2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>
- [7] Deoli, V., Kumar, D., & Kuriqi, A. (2022). Detection of Water Spread Area Changes in Eutrophic Lake Using Landsat Data. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(18), 6827. <https://doi.org/10.3390/s22186827>
- [8] Guo, J., Li, Q., Xie, H., Li, J., Qiao, L., Zhang, C., Yang, G., & Wang, F. (2022). Monitoring of Vegetation Disturbance and Restoration at the Dumping Sites of the Baorixile Open-Pit Mine Based on the LandTrendr Algorithm. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9066. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159066>
- [9] Liang, T., Werner, T. T., Heping, X., Jingsong, Y., & Zeming, S. (2021). A global-scale spatial assessment and geodatabase of mine areas. *Global and Planetary Change*, 204, 103578. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103578>
- [10] Petropoulos, G. P., Partsinevelos, P., & Mitraka, Z. (2013). Change detection of surface mining activity and reclamation based on a machine learning approach of

- multi-temporal Landsat TM imagery. *Geocarto International*, 28(4), 323–342. <https://doi.org/10.1080/10106049.2012.706648>
- [11] Cepeda-Velastegui, M. V., Lopez Estevez, M. C., Padilla-Almeida, O., & Toulkeridis, T. (2019). Determination of Open Pit Mining Zones Through Digital Processing of Multi-Spectral Images and PPI Method—A Case Study of Southern Ecuador. 2019 Sixth International Conference on E-Democracy & E-Government (ICEDEG), 188–193. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2019.8734455>
- [12] Adjiski, V., & Mijalkovski, S. (2022). Monitoring of tailing dam reclamation using multispectral remote sensing. 235–246. <https://eprints.ugd.edu.mk/30366/>
- [13] Zhu, D., Chen, T., Zhen, N., & Niu, R. (2020). Monitoring the effects of open-pit mining on the eco-environment using a moving window-based remote sensing ecological index. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 15716–15728. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08054-2>
- [14] Si Son, T., Le, Q. T., Tong, T.-H.-A., Nguyen, V. G., Vu, P. L., & Ha, L. T. T. (2020). Coupling Satellite Images and Unmanned Aerial Vehicle Data to Monitor the Exploitation of Open-Pit Mine. *Inżynieria Mineralna*, 1(2). <https://doi.org/10.29227/IM-2020-02-35>
- [15] Kotaridis, I., & Lazaridou, M. (2021). Delineation of Open-Pit Mining Boundaries on Multispectral Imagery. In A. Hammond & P. Keleher (Eds.), *Remote Sensing*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94120>
- [16] Koruyan, K., Deliormanli, A. H., Karaca, Z., Momayez, M., Lu, H., & Yalçın, E. (2012). Remote sensing in management of mining land and proximate habitat. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 112(7), 667–672.