



ЗРГИМ

**XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ СО
МЕЃУНАРОДНО УЧЕСТВО**

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

**14 ÷ 16. 10. 2022 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:

Доц. д-р Ванчо Аџиски

Печатница:

“2-ри Август”, Штип

Година:

2022

Тираж:

200 примероци

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'22 (13; 2022; Струмица)
Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини: зборник на трудови / XIII-то стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС-ПОВЕКС'22, 14-16.10.2022 година, Охрид; [главен и одговорен уредник Стојанче Мијалковски]. - Скопје:
Здружение на рударски и геолошки инженери на Република Македонија, 2022.-274 стр.: илустр.; 30 см

Библиографија кон трудовите
ISBN 978-608-65530-6-7

а) Рударство -- Експлоатација -- Минерални сировини -- Собири
COBISS.MK-ID 58325253

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:

Проф. д-р **Зоран Десподов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Зоран Панов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Дејан Миравовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Благој Голомеов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Блажо Боев**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Ристо Дамбов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Орце Спасовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Војо Мирчовски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Николинка Донева**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Доц. д-р **Ванчо Аџиски**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија;
Проф. д-р **Милорад Јовановски**, УКИМ, Градежен факултет, Скопје, Р. 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:

Проф. д-р **Ѓорги Димов**, УГД, ФПТН, Штип, Р. Северна Македонија.

Потпретседатели:

Проф. д-р **Стојанче Мијалковски**, УГД, ФПТН, Штип;
м-р **Драган Димитровски**, ДИТИ, Скопје;
Митко Крмзов, Геомин, Струмица.

Генерален секретар:

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

ЧЛЕНОВИ НА ОРГАНИЗАЦИОНИОТ ОДБОР:

Проф. д-р **Радмила Каранакова – Стефановска**, УГД, ФПТН, Штип;
м-р **Борче Гоцевски**, Рудник “САСА”, М. Каменица;
м-р **Љупче Ефнушев**, Министерство за економија, Скопје;
м-р **Кирчо Минов**, Рудник “Бучим”, Радовиш;
м-р **Драги Пелтечки**, “Рудплан” ДООЕЛ, Струмица;
м-р **Благоја Георгиевски**, АД ЕЛЕМ, РЕК Битола, ПЕ Рудници, Битола;
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 **Дејан Петров**, Геотехника, Штип;
м-р **Горан Стојкоски**, ЗРГИМ, Прилеп;
Триантафилос Триантафилиу, Мермерен комбинат, Прилеп;
Мице Тркалески, Мермерен комбинат, Прилеп;
Зоран Костоски, Мармобланко, Прилеп;
Шериф Алиу, ЗРГИМ, Кавадарци;
Антонио Антовски, “Булмак” - Рудник “Тораница”, К. Паланка;
Ангелчо Заковски, “Булмак” - Рудник “Злетово”, Пробиштип;
Тони Митевски, Рудник “САСА”, М. Каменица;
Емил Јорданов, ГД “Гранит” АД, Скопје;
Александар Стоилков, АД ЕЛЕМ,
Миланчо Дамески, МИСА-МГ, Скопје;
Сашко Дамески, МИСА-МГ, Скопје;
Лазар Пончев, Машинокоп, Кавадарци;
Игор Трајанов, Рудник “Боров Дол”, Радовиш;
Виктор Шотаровски, Метсо минералс, Скопје;
Никола Механџиски, “Кнауф”, Дебар;
Пепи Мицев, “Геомин”, Струмица;
Мартин Здравкин, “ТЕТА - КОП”, Велес;
Илија Лозановски, “Теиком Тим”, Битола.

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

14 Октомври 2022, 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

XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

“Технологија на подземна и површинска експлоатација на минерални сировини”

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид

14 ÷ 16. 10. 2022 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 и 2019 год.) учествуваа повеќе автори од 12 држави, кои презентираа 337 стручни трудови.

За ова тринаесетто советување (ПОДЕКС - ПОВЕКС '22) пријавени се 29 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

XIII EXPERT CONFERENCE THEMED:

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

PODEKS - POVEKS '22

**Ohrid
14 ÷ 16. 10. 2022.**

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 and 2019) presenting 337 expert papers.

Twenty-nine authors from 3 countries have registered their expert papers for the XIIIth conference (PODEKS - POVEKS '22).

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

XIII СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

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

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

**Охрид
14 ÷ 16. 10. 2022 год.**

СОДРЖИНА

HOVERMAP & SIROVISION – USE OF NOVEL TECHNOLOGIES FOR REMOTE AND AUTONOMY MAPPING AND ANALYSIS * Lyudmila Moskovska.....	1
МОРФОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА АЛУВИЈАЛНО ЗЛАТО КАКО КРИТЕРИУМ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА НЕГОВОТО ПРИМАРНО ПОТЕКЛОТО * Виолета Стефанова, Виолета Стојанова, Гоше Петров.....	11
ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ ПРИ ГЕОЛОШКИ ИСТРАЖУВАЊА НА ТЕХНИЧКИ ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Петковски, Ванчо Ангелов, Ласте Ивановски.....	17
КВАЛИТАТИВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕРМЕРИТЕ ОД ЛОКАЛИТЕТОТ ЦРКОВНИ РИД (ВАРДАРСКА ЗОНА РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА) КАКО ОСНОВА ЗА НИВНА УПОТРЕБА КАКО ГРАДЕЖЕН КАМЕН * Орце Спасовски, Благица Донева.....	27
МОЖНОСТИ ЗА ДОИСТРАЖУВАЊЕ НА ЈАГЛЕНОВО НАОЃАЛИШТЕ ЖИВОЈНО * Бојан Ивановски, Александар Стоилков, Благојче Митревски, Симона Ивановски, Ласте Ивановски.....	35
НАОЃАЛИШТА НА БЕНТОНИТСКИ ГЛИНИ, ЕКСПЛОАТАЦИЈА И НИВНА ПРИМЕНА ВО ИСТРАЖНОТО ДУПЧЕЊЕ * Ласте Ивановски, Ванчо Ангелов, Орце Петковски, Бојан Ивановски.....	42
ХИДРОГЕОХЕМИСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОГНОЗЕН МОДЕЛ НА ГЕОТЕРМАЛНИОТ СИСТЕМ ЗДРАВЕВЦИ, КРАТОВСКО * Орце Спасовски, Благица Донева.....	51
ГЕОЛОГИЈАТА НА МАРС * Иван Боев, Елида Лецај	60

ПРИМЕНА НА ГЕОФИЗИЧКИТЕ МЕТОДИ ВО РУДАРСТВОТО * Благица Донева, Марјан Делипетрев, Ѓорги Димов, Ристо Поповски.....	75
ПРИМЕНА НА МЕТОДИ ЗА ПОВЕЌЕКРИТЕРИУМСКО ОДЛУЧУВАЊЕ ПРИ ИЗБОР НА РУДАРСКА ОТКОПНА МЕТОДА ЗА ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА * Стојанче Мијалковски, Зоран Десподов, Дејан Мираковски, Ванчо Аџиски, Николинка Донева, Ванчо Гоцевски.....	82
ЗАПОЧНУВАЊЕ СО ИЗРАБОТКА НА ГЛАВЕН ТРАНСПОРТЕН И СЕРВИСЕН НИСКОП ОД ПОВРШИНАТА ДО ХОРИЗОНТ 750 ВО РУДНИКОТ ЗА ОЛОВО И ЦИНК “САСА” * Дејан Ивановски, Борче Гоцевски, Стојанче Мијалковски, Чедо Ристовски, Тони Митевски, Цеце Стојчев, Сашко Цветковски.....	89
МОДИФИЦИРАНА ПОДГРАДНА МЕТОДА СО ЗАШТИТЕН ЧАДОР, СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ: ГЛАВЕН НИСКОП, РУДНИК „САСА“ * Николинка Донева, Зоран Десподов, Стојанче Мијалковски, Дејан Ивановски, Афродита Зенделска, Марија Хаџи-Николова.....	98
ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКОПУВАЊЕ СО ЗАПОЛНУВАЊЕ НА ОТКОПАНИТЕ ПРОСТОРИ ВО ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ ЗА МЕТАЛИ ВО МАКЕДОНИЈА * Зоран Десподов, Сојанче Мијалковски.....	106
ПРЕДВИДУВАЊЕ НА ЕФЕКТИТЕ ОД МИНИРАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ ПРОГРАМИ * Илија Дамбов.....	118
ФРАГМЕНТАЦИЈА НА КАРПИ – МОДЕЛИРАЊЕ НА ПРОЦЕНКА ПРЕД И ПО МИНИРАЊЕ * Зоран Панов, Лазо Пекевски, Радмила Каранакова Стефанова, Ристо Поповски.....	129
АНАЛИЗА НА ЕФЕКТИТЕ ОД МИНИРАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА СОФТВЕРСКИ ПРОГРАМИ * Ристо Дамбов, Илија Дамбов, Јован Лотески.....	138
ТЕХНОЛОГИЈА НА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ТРАВЕРТИНСКИ БЛОКОВИ ВО РУДНИКОТ ГОЛУБОВА ПЕШТЕРА С. БЕШИШТЕ – ПРИЛЕП * Ристо Дамбов, Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Костоски, Илија Дамбов, Магдалена Костоска.....	150
СЕИЗМИЧКИ ЕФЕКТИ ПРИ МИНИРАЊЕ НА ПК „ТРОЈАЦИ“, ПЛЕТВАР, ПРИЛЕП * Јован Лотески, Ристо Дамбов, Илија Дамбов.....	161
ИЗРАБОТКА НА КОНТУРНИ МИНСКИ ДУПНАТИНИ НА ЕКСПРЕСНИОТ ПАТ ГРАДСКО - ПРИЛЕП, ПОДДЕЛНИЦА ДРЕНОВО - ФАРИШ * Миле Стефанов, Зоран Ужевски, Пепи Мицев.....	173
A STOCHASTIC APPROACH FOR DETERMINING A SUSTAINABLE CUTTING PATTERN FOR IRREGULARLY SHAPED STONE BLOCKS * Dimitar Kaykov, Ljupcho Dimitrov.....	183

AN INTRODUCTION ON ASSESSMENT OF THE LIGNITE PRICE- CASE STUDY KOSOVO'S LIGNITE * Kemajl Zeqiri, Naser Peci.....	194
НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ МЕТОДИ ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА ЈАГЛЕНИ * Александар Стоилков, Пеце Муртановски, Маја Јованова, Сашо Цветковски, Миле Арсовски.....	200
РАБОТНИ УСЛОВИ ПРИ ПРОЦЕСОТ НА ПОДЗЕМНА ГАСИФИКАЦИЈА НА ЈАГЛЕН * Радмила Каранакова Стефановска, Зоран Панов, Ристо Поповски.....	207
ТЕХНИЧКИ ПРЕГЛЕД НА ОПРЕМАТА КОЈА СЕ КОРИСТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЈА НА МИНЕРАЛНА СУРОВИНА * Игор Максимов.....	219
ИДЕЈНО РЕШЕНИЕ ЗА ХИДРОТРАНСПОРТ И ОДЛАГАЊЕ НА ЈАЛОВИНАТА НА ЈАЛОВИШТЕ 2 – ТОРАНИЦА * Благој Голомеов, Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска, Стојанче Мијалковски.....	226
МОНИТОРИНГ НА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА МУЛТИСПЕКТРАЛНО ДАЛЕЧИНСКО НАБЉУДУВАЊЕ * Ванчо Аџиски, Стојанче Мијалковски.....	235
ОТСТРАНУВАЊЕ НА ТЕШКИ МЕТАЛИ ОД КИСЕЛА РУНИЧКА ДРЕНАЖА СО НЕУТРАЛИЗАЦИЈА * Афродита Зенделска, Адријана Трајанова, Мирјана Голомеова, Благој Голомеов, Дејан Мираковски, Николинка Донева, Марија Хаџи-Николова.....	247
ВКЛУЧУВАЊЕТО И УЧЕСТВОТО НА ВРАБОТЕНИТЕ КАКО ЗНАЧАЕН ФАКТОР ЗА КОНТИНУИРАНО ПОДОБРУВАЊЕ НА БЕЗБЕДНОСТА И ЗДРАВЈЕТО ПРИ РАБОТА * Анкица Илијева Стошиќ.....	256
СЕИЗМИЧНОСТ НА РЕГИОНОТ ШТИП-РАДОВИШ ВО ПЕРИОДОТ ОД 2000 ГОДИНА ДО 2021 ГОДИНА * Јасмина Најдовска, Катерина Дрогрешка, Ивана Молеровиќ, Моника Андреевска, Марјан Делипетрев, Драгана Черних Анастасовска, Љубчо Јованов.....	267



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

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

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид
14 – 16. 10. 2022 год.

МОНИТОРИНГ НА РЕКУЛТИВАЦИЈА НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА МУЛТИСПЕКТРАЛНО ДАЛЕЧИНСКО НАБЉУДУВАЊЕ

Ванчо Аџиски¹, Стојанче Мијалковски¹

¹Универзитет “Гоце Делчев”, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Р. Северна Македонија

Апстракт: Оваа студија ја користи процесирачката моќ на Google Earth Engine (GEE) платформата заедно со архивските мултиспектрални фотографии на Landsat сателитската програма за анализа на вегетацијата на рекултивираниот област на хидројаловиштето Тополница. На оваа локација во 1997 е засадена разновидна вегетација и со тоа е започната етапата за рекултивација на хидројаловиштето.

Основата на анализата се темели на Индексот на Вегетација за Нормализирана Разлика (NDVI) добиен од Landsat мултиспектрални фотографии во форма на временски серии, што овозможува опис на промените во вегетацијата анализирани со текот на времето.

Предложената методологија се состои од неколку чекори во кои се анализирани просторно-временска варијабилност на NDVI класите, површинска дистрибуција на NDVI класите и просторно-временска NDVI траекторија во рекултивираниот област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година заедно со сателитски фотографии за валидација.

Резултатите од оваа студија имаат потенцијал да се користат како алатка за следење и подобрување на процесот на рекултивација во рударските региони.

Клучни зборови: Мониторинг, далечинско набљудување, рекултивација, мултиспектрални фотографии, Landsat, NDVI

MONITORING OF TAILING DAM RECLAMATION USING MULTISPECTRAL REMOTE SENSING

Vancho Adjiski¹, Stojance Mijalkovski¹

¹University “Goce Delcev”, Faculty of natural and technical sciences, Shtip,
R. of North Macedonia

Abstract: For this study, the Google Earth Engine (GEE) platform is used in conjunction with Landsat multispectral images to analyze the vegetation of the Topolnica tailing dam reclaimed area.

In 1997, a variety of vegetation was planted on this location, and the reclamation stage of the tailing dam began.

This analysis is based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from Landsat multispectral images, which can be analyzed over time to describe vegetation changes.

The proposed methodology consists of several steps in which spatio-temporal variability of NDVI classes, surface distribution of NDVI classes and spatio-temporal NDVI trajectory in the reclaimed area of the Topolnica tailing dam for the period from 1997 to 2021 are analyzed together with satellite images for validation.

The results of this study have the potential to be used as a tool to monitor and improve the reclamation process in mining regions.

Keywords: *Monitoring, remote sensing, reclamation, multispectral images, Landsat, NDVI*

1. ВОВЕД

Рударството има потенцијал да влијае на животната средина и населените места во текот на животниот циклус на проектот [1]. Тие влијанија, без разлика дали се директни, индиректни или кумулативни, ги прават многу развојни рударски проекти потенцијално чувствителни за регулаторите, локалните заедници, инвеститорите, невладините организации и вработените [2]. Оттука, добивањето пристап до земјиште (концесија) за потребите на екстракција на минерални сировини станува сè потешка процедура и овој проблем се разви во клучен ризик за индустријата. За да се обезбеди континуиран пристап до концесии, рударските компании мора да ја покажат својата посветеност за одржлив развој пред регулаторите и останатите засегнати страни [3].

Процесот на рекултивација го опфаќа дизајнирањето и изведбата на релјефни форми, како и воспоставување на одржливи екосистеми со соодветна вегетација, во зависност од посакуваната постоперативна употреба на земјиштето [4]. Процесот на рекултивација претставува составен дел на рударските активности. Програмите за мониторинг на рекултивацијата се спроведуваат годишно за да се процени напредокот кон постигнување на целите за крајната употреба на земјиштето и да се утврди кога поединечните локации постигнуваат самоодржлива состојба. Иако рекултивацијата е законска обврска за сите рударски проекти, тоа е исто така активност во која индустријата може јасно да ја демонстрира својата посветеност за одржлив развој на сите засегнати страни [5].

Голем број на научноистражувачки програми развиваат иновативни методи поврзани со процесот на рекултивација кои се состојат од самоодржлива вегетациска покриеност, постигнување на продуктивно обновено земјиште, исполнување на законските барањата за рекултивација како и насоките поврзани со квалитетот на водата [6-8]. Како што се зголемуваат рударските капацитети се шири и областа потребна за рекултивирање, па програмата за мониторинг на истата станува се посложена и поскапа. Во последно време со лансирањето на голем број на сателити со мултиспектрални сензори за следење на Земјата го направија процесот за далечинско набљудување ефикасна алатка за мониторинг на рекултивацијата [9]. Голем број на истражувачи ги користат мултиспектралните податоците од слободен пристап на сателитите од програмата Landsat и Sentinel (Landsat 5,7, 8 и Sentinel 2) за мониторинг на животната средина и промената на вегетацијата поврзана со процесот на рекултивација [10-14].

Индексот на вегетација е клучен индикатор за проценка на промените во животната средина во деградираните земјишта. Анализа на промените на вегетацијата може да се добие преку следење на вегетациската покривка. Голем број на истражувачи имаат развиено различни индекси за мониторинг на вегетацијата, но како најефикасен и најкористен во светската литература е Индексот на Вегетација за Нормализирана Разлика (анг. Normalized Difference Vegetation Index – во понатамошниот текст - NDVI) [15-17].

Оваа студија има за цел да прикаже методологија за мониторинг на квалитетот на вегетацијата со текот на времето преку анализа на NDVI параметарот.

Методот користи анализа на временските NDVI серии и ја класифицира основата на развојот (здравјето) на вегетацијата според индексот на вегетација. Како студија на случај е земено хидројаловиштето Тополница во склоп на Рудникот Бучим каде во 1997 година е засадена разновидна вегетација и со тоа е започната етапата на рекултивација.

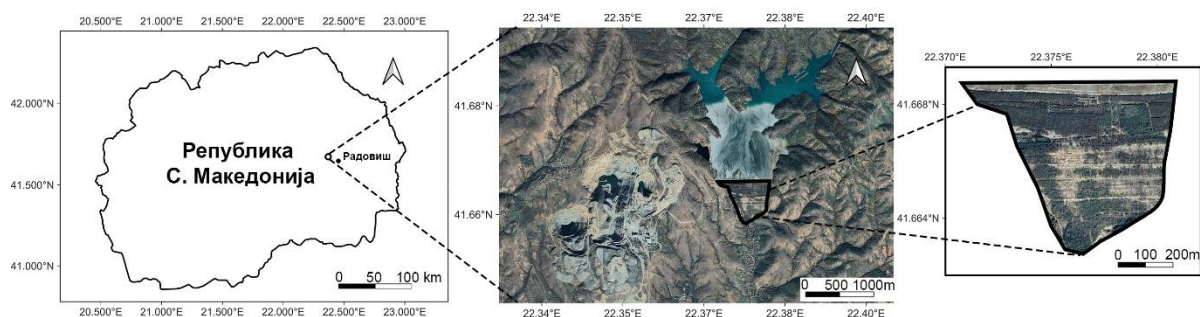
2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДОЛОГИЈА

2.1. Локација на областа за проучување

Хидројаловиштето Тополница, се наоѓа на околу 1.5 km од погонот флотација и на околу 10 km од градот Радовиш (Слика 1). Хидројаловиштето е сместено по течението на реката Тополница, при што браната се состои од иницијална брана, која потоа, со самиот процес на класирање на флотациската јаловина, е надградувана со песочна фракција со истовремено одложување на преливот во таложно езеро.

Хидројаловиштето Тополница на рудникот Бучим е проектирано и се гради како објект за складирање (одлагање) на флотациска јаловина и како објект за снабдување на флотацијата за технолошка вода, односно истото има двојна намена. Хидројаловиштето целосно е изградено со флотациска јаловина, така што со хидроциклонирање се добива производ-песок (75-80% цврста фаза), со кој се гради круната од браната и производ-прелив од циклоните-ситна фракција (20-25% цврста фаза), кој оди во таложното езеро [18].

Експлоатацијата во рудникот Бучим е завршена но како резултат на откопувањето на рудата и понатамошната преработка преку процесите на дробење, мелење, просејување во рудникот Боров Дол и потоа транспорт кон рудникот Бучим и дополнително преработување со флотациска концентрација како краен продукт се добиваат Cu, Au и Ag концентрат и флотациска јаловина која продолжува да се одлага во хидројаловиштето Тополница во рамките на рудникот Бучим. Согласно планот за експлоатација на рудата од Боров Дол, во погонот флотација во рудникот Бучим се планира да се преработи 39 435 000 t сува руда, со што ќе се обезбеди работа на овој погон до 2028 година. Од овој процес на флотација, пресметано е дека ќе се генерираат околу 39 043 000 t (25 200 000 m³) флотациска јаловина која ќе се одложува на хидројаловиштето Тополница во рамките на рудник Бучим. Затоа мониторингот на процесот на рекултивација на постојното хидројаловиште претставува клучен сегмент за воспоставување на одржливи екосистеми со соодветна вегетација за подобрување на животната средина на околината како и самата стабилност на хидројаловиштето.



Слика 1. Локација на областа за проучување

2.2. Преглед на методологијата

Технологијата за далечинско набљудување базирана на сателитски мултиспектрални фотографии е една од најефикасните алтернативи за добивање на информации за промените на копнената вегетација во области кои што се тешко достапни, кои се простираат на поголеми површини или за кои треба огромни финансиски средства и време за континуиран теренски мониторинг.

Базата на податоци генерирани од сателитската програма на Landsat (сателити Landsat 5 (1984-2013), Landsat 7 (1999-2022), Landsat 8 (2013-сеуште активен)) можат да се добијат бесплатно и истите да се искористат за анализата на промените на земјината покривка на регионално или пак на глобално ниво [19]. Оваа Landsat сателитска програма овозможува сателитски фотографии со просторна резолуција од 30 m и 11 мултиспектрални канали (бендови) со кои можеме да направиме временска анализа на земјината покривка од 1984 па се до денес [19].

Во оваа студија за секоја од селектираните години (1997-2021) е направено мапирање и следење на развојот на вегетацијата во рекултивираната област со помош на NDVI параметарот. Овој често користен NDVI параметар е односот на измерените интензитети во црвените (665 nm) и блиско-инфрацрвените (776 nm) спектрални бендови [19].

Растителниот хлорофил предизвикува значителна апсорпција на сончевата светлина со бранова должина од 665 nm која се наоѓа во црвениот регион на електромагнетниот спектар, додека сунѓерестата мезофилна структура на листот на растението создава значителна рефлексija во областа со бранова должина од 776 nm која се наоѓа во блиско инфрацрвениот регион [19]. Соодветно на ова, здравата вегетација има ниска рефлексija во црвениот регион на електромагнетниот спектар и висока рефлексija во областа на блиско инфрацрвениот регион на електромагнетниот спектар, а со тоа и високи вредности на NDVI параметарот. 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 рефлексija на блиско инфрацрвениот бенд (NIR) и црвениот бенд на мултиспектралните фотографии од Landsat сателитите. Изразот на NDVI се пресметува со помош на следнава формулација [20]:

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

Каде што:

NIR - Вредност на рефлексивност во блиско инфрацрвениот бенд;

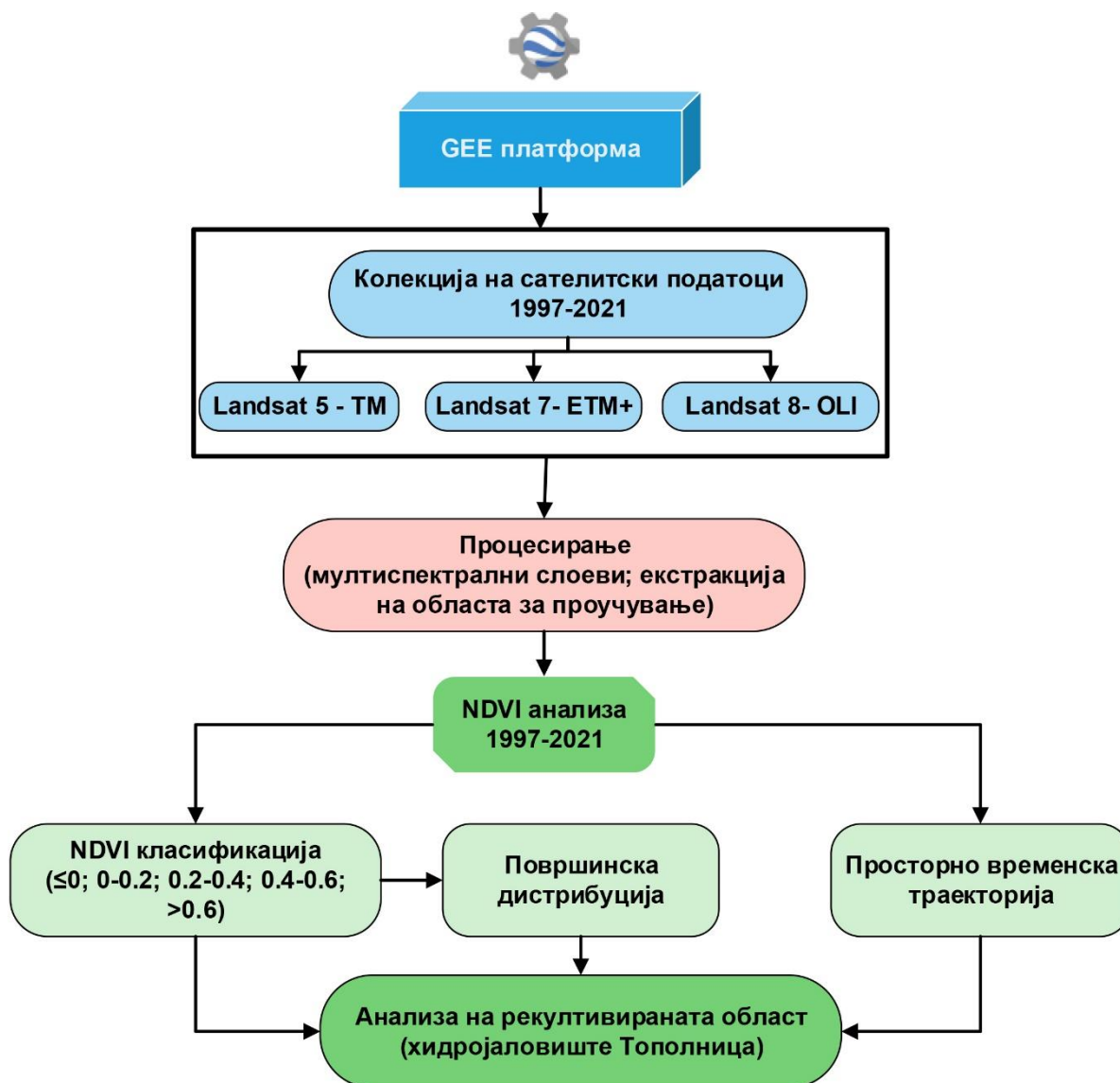
Red - Вредност на рефлексивност во црвениот бенд.

Во оваа студија, спроведената анализа за промените во рекултивираната област со користење на NDVI параметарот е направена со користење на платформата Google Earth Engine (GEE). GEE е компјутерска клауд платформа за складирање и обработка на големи количини на сателитски податоци [21]. Со GEE, обработката на сателитски фотографии повеќе не се прави конвенционално,

туку со компајлирање на програмски алгоритми (со JavaScript програмскиот јазик) со кои му се даваат команди на суперкомпјутерот со огромна процесирачка моќ да ги обработи податоците на посакуваниот начин. Од корисниците не се бара да имаат компјутери со голема процесирачка моќ или посебни софтвери, што значи дека истражувачите во помалку развиените земји можат да добијат пристапат до истиот софтвер и истата клауд платформа како и оние во развиените земји.

Употребата на GEE значително го намалува времето за обработка и процесирање а со тоа им овозможува на корисниците да обработуваат големи количини на податоци кои претходно можеле да се обработат само со компјутери со голема процесирачка моќ. Вообичаено, кога се анализираат податоци од различни временски периоди, се споредуваат фотографиите направени во различно време а со тоа може да се направи попрецизна временска серија на посакуваната анализа. На пример, оваа студија ги опишува промените во вегетацијата на рекултивираната област на хидројаловиштето Тополница од 1997 до 2021 година.

Предложената методологија се состои од неколку етапи (Слика 2). Во првиот чекор се симнува колекцијата од сателитски податоци за анализираниот период (1997-2021 година) од Landsat програмата (Landsat 5, 7 и 8) на GEE платформата. Добиените податоци се во форма на мултиспектрални слоеви и истите во наредниот чекор се процесираат и се прави екстракција на областа за проучување (локација на хидројаловиште Тополница (Слика 1)). Во наредниот чекор се прави пресметка на NDVI параметарот од мултиспектралните слоеви со помош на равенка 1, за секоја од селектираните години (1997-2021). Од NDVI анализата се прави класификација на податоците и со тоа се добиени 5 NDVI класи на покривка и тоа: Површина со карпи или вода (≤ 0); Пуста површина (без вегетација) (0-0.2); Грмушки и слаба вегетација (0.2-0.4); Здрава вегетација со добар развој (0.4-0.6); Густа и здрава вегетација (> 0.6). Понатаму од NDVI анализата се прави површинска дистрибуција на NDVI класите и просторно-временска NDVI траекторија во рекултивираната област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година. Добиените резултати се во форма на мапи и графикони од кои понатаму може да се направи темелна анализа на рекултивираната област.



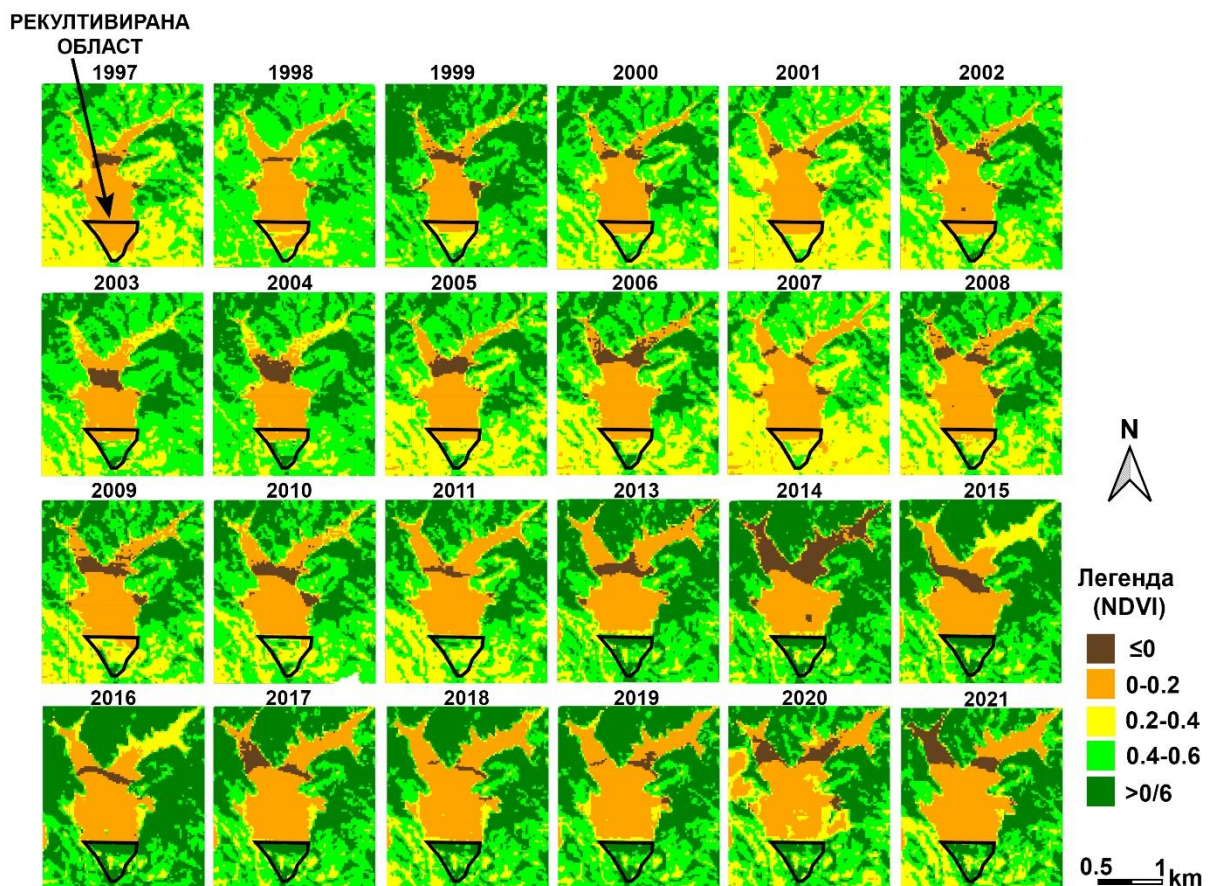
Слика 2. Преглед на методолошката рамка користена во оваа студија

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Со цел да се влијае на подобрувањето на условите во животната средина во текот на 1997 и 1998 е извршена рекултивација на низводната косина на круната на хидројаловиште Тополница на површина од 17 хектари од кота 518 - 610 м.н.в, а потоа во периодот од 2006 до 2010 година е извршена рекултивација на уште 15 хектари од кота 610-642 м.н.в. Рекултивацијата е извршена со багрем и чемпрес, со претходно нанесување на плодна земја врз песочната површина со дебелина од околу 20 см и плодна почва околу корените на дрвцата. Целта на оваа студија е да направиме мониторинг на рекултивираниот област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997-2021 година и со предложената методологија да направиме анализа на развојот односно успешноста на овој проект за рекултивација.

Слика 3 ја прикажува хронолошката варијабилност на NDVI класите кои ги претставуваат активностите поврзани со рекултивацијата на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година. Од резултатите добиени со обработка на податоците на платформата GEE од сателитски фотографии на

Landsat програмата за периодот од 1997 до 2021 година, добиени се 5 NDVI класи на покривка и тоа: Површина со карпи или вода (≤ 0); Пуста површина (без вегетација) (0-0.2); Грмушки и слаба вегетација (0.2-0.4); Здрава вегетација со добар развој (0.4-0.6); Густа и здрава вегетација (>0.6). Областа за која е направена анализата се протега на површина од 36 хектари и истата е означена на Слика 3. Во 2012 година се случил дефект на сензорот за набљудување на сателитот Landsat 7, па поради ова не се направени анализи на податоците за таа година.



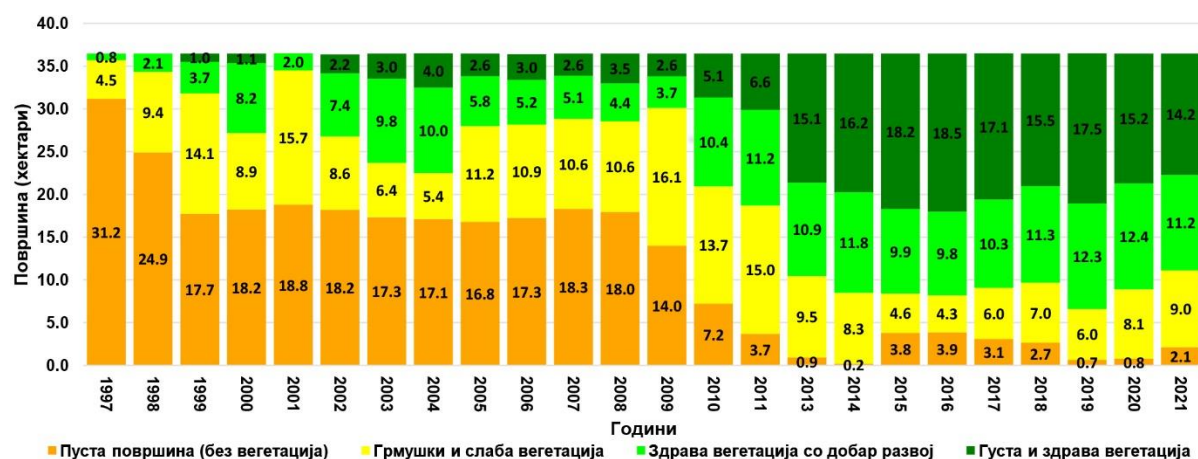
Слика 3. Просторно-временска варијабилност на NDVI класите во рекултивираниот област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година

Слика 4 ја прикажува површинската распределба (во хектари) на NDVI класите во рекултивираниот област на хидројаловиштето Тополница и за истата е направена анализа за периодот од 1997 до 2021 година.

Од Слика 4 може да се забележи дека во првата година (1997) на рекултивација е претежно доминантна пустата површина (без вегетација) заедно со класата на грмушки и слаба вегетација со покриеност од 35.7 хектари (99%). Во наредните години овој сооднос почнува да опаѓа за во 2010 година да имаме 20.9 хектари (58 %) од класата на пустата површина, грмушки и слаба вегетација наспроти 15.5 хектари (42 %) од класата на здрава вегетација со добар развој и класата на густа и здрава вегетација. Детектираната површина од 15.5 хектари на здрава вегетација во 2010 година е добар индикатор за развојот на рекултивацијата бидејќи според документацијата во 1997 се засадени 17 хектари на вегетација

што значи дека истата за период 13 години успешно се развила на приближно иста површина.

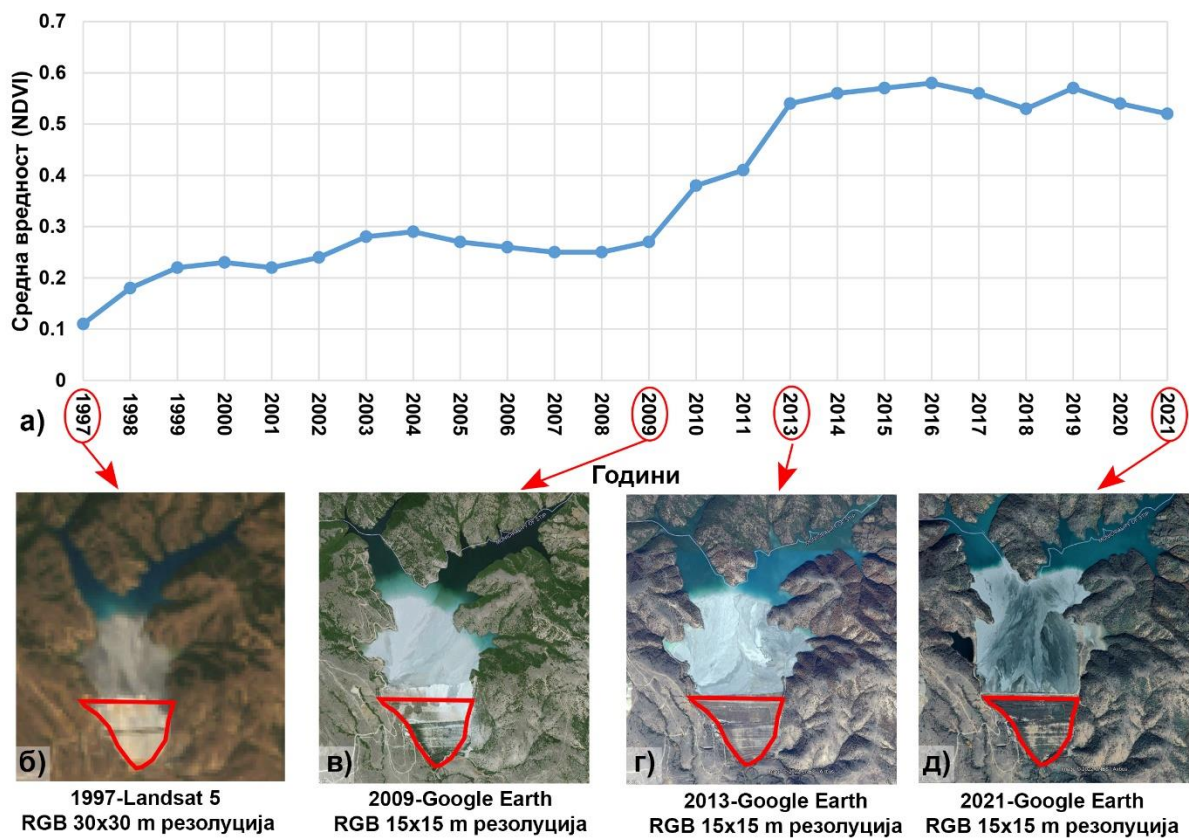
Трендот на зголемување на површините со здрава вегетација е доминантен во наредните години на направената анализа за во 2021 година да имаме 11.1 хектари (30 %) од класата на пустата површина, грмушки и слаба вегетација наспроти 25.4 хектари (70 %) од класата на здрава вегетација со добар развој и класата на густа и здрава вегетација. Ако го земеме во предвид фактот дека од 2006 до 2010 година според достапната документација е рекултивирана дополнителна површина со 15 хектари, развојот на истата до 2021 година оди со послабо темпо. Оваа констатација ја потврдува фактот што до 2010 година вкупната рекултивација се протега на површина од 32 хектари а анализата направена за 2021 година покажува вкупна површина од 25.4 хектари (70 %) од класата на здрава вегетација со добар развој и класата на густа и здрава вегетација. Исто така оваа констатација може да се потврди со сателитската фотографија преземена од Google Earth во 2021 со просторна резолуција од 15 x 15 m, каде што во централниот дел на рекултивираната област може да се забележи проретчена вегетација (Слика 5д).



Слика 4. Површинска дистрибуција на NDVI класите во рекултивираната област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година

Слика 5а), ја прикажува просторно-временска NDVI траекторија во рекултивираната област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година заедно со сателитски фотографии од анализираната област кои ќе ни послужат за визуелна валидација на добиените податоци (Слика 5 б,в,г,д). Она што може да се види од Слика 5а) е дека средната вредност на NDVI параметарот во првите години на рекултивацијата (1997-1998) е релативно низок (0.1-0.2) што и реално одговара на штотуку посадена вегетација. Веќе во наредните години (1999-2009) се забележува благ пораст на NDVI параметарот (0.2-0.3) што одговара на вегетација која постепено се развива. Од 2010 до 2013 се забележува драстична промена на NDVI параметарот (0.38-0.53) што укажува на развој на густа и здрава вегетација. Од 2014 до 2021 година се забележува приближно константна средна вредност на NDVI параметарот (0.52-0.58) што укажува на добра рекултивација на поголем дел од рекултивираната површина. Она што може да се забележи од селектираните сателитски фотографии е дека истите одговараат на направената NDVI анализа и дека методологијата може да се смета за релевантна. Проретчената вегетација во средишниот дел на рекултивираната област која може да се забележи од сателитските Google Earth

фотографии од 2009, 2013 и 2021 година (Слика 5 в,г,д), реално влијае за максималната детектирана вредност од 0.58 на NDVI параметарот како и на вкупната детектирана рекултивирана површина.



Слика 5. а) Просторно-временска NDVI траекторија во рекултивираната област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година.

Повисоките вредности на NDVI претставуваат густа и здрава вегетација додека ниските вредности пуста површина (без вегетација).

б,в,г,д) Сателитски фотографии за валидација.

Предложената методологија може да биде изработена во форма на веб апликација преку платформата GEE и истата да се користи како алатка за следење на промените во вегетацијата на рекултивираните рударски области со текот на времето (Слика 6).

// JavaScript код

```
Var Topolnica: Polygon, 9 vertices  
var I5_Collection = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_SR")  
.filterDate("1997-06-01", "1997-06-30").filterBounds(Topolnica).sort("CLOUD_COVER").first().clip(Topolnica);
```

// ee.ImageCollection("LANDSAT/LE07/C01/T1_SR") – повикување на податоци од Landsat 7

//ee.Image(ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR") – повикување на податоци од Landsat 8

// Селектирање на мултиспектрални слоеви (генерирање на RGB и NDVI композиции)

```
Map.addLayer(I5_Collection, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'],min:0, max: 3000}, 'True colour image');
```

```
var I5_NDVI = I5_Collection.normalizedDifference(['B4', 'B3']).rename('NDVI');
```

```
var ndviParams = {  
  min: -1.0,  
  max: 1.0,  
  palette: [  
    'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B71B', '74A901',  
    '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201', '004C00', '023B01',  
    '012E01', '011D01', '011301'  
  ],  
};
```

```
Map.addLayer(I5_NDVI, ndviParams, 'I5_NDVI');
```

// Пресметка на средната вредност и стандардната девијација на NDVI за селектираната област

```
var mean_ndvi = I5_NDVI.reduceRegion({  
  reducer: ee.Reducer.mean(),  
  geometry: Topolnica,  
  scale: 30  
});
```

```
var sd_ndvi = I5_NDVI.reduceRegion({  
  reducer: ee.Reducer.stdDev(),  
  geometry: Topolnica,  
  scale: 30  
});
```

```
print(mean_ndvi);  
print(sd_ndvi);
```

// Класификација на NDVI во 5 класи

```
var ndvi2 = ee.Image(1)  
.where(I5_NDVI.gt(0.0).and(I5_NDVI.lte(0.2)), 2)  
.where(I5_NDVI.gt(0.2).and(I5_NDVI.lte(0.4)), 3)  
.where(I5_NDVI.gt(0.4).and(I5_NDVI.lte(0.6)), 4)  
.where(I5_NDVI.gt(0.6), 5)  
var ndvi2 = ndvi2.clip(Topolnica);
```

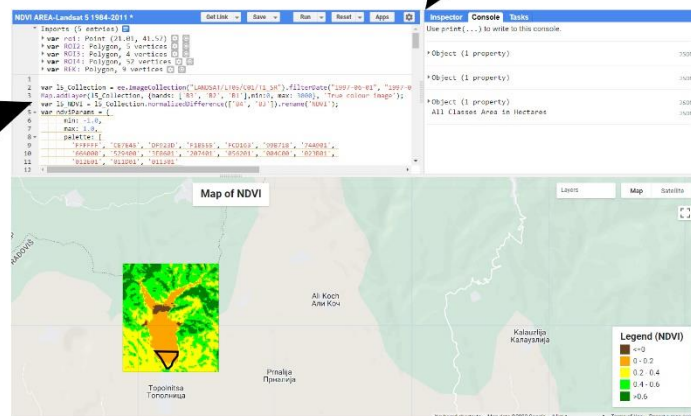
// Изработка на легенда на NDVI класите

```
Map.addLayer(ndvi2,  
{min: 1, max: 5, palette:  
['#654321', '#FFA500', '#FFFF00', '#00FF00', '#008000']},  
'Classified NDVI', true);
```

// Пресметка на површината (во хектари) за секоја од класите

```
var area=ee.Image.pixelArea().addBands(ndvi2).divide(1e6).multiply(100)  
.reduceRegion({  
  reducer:ee.Reducer.sum().group(1),  
  geometry:Topolnica,  
  scale:30,  
  bestEffort:true  
})  
print(area, 'All Classes Area in Hectares')
```

GEE



Слика 6. JavaScript код во GEE за изработка на предложената методологија

4. ЗАКЛУЧОК

Во оваа студија, беа користени сателитски мултиспектрални фотографии на Landsat програмата (Landsat 5, 7 и 8) како извор на податоци за да се испита вредноста на NDVI параметарот со помош на GEE платформата. Предложената методологија е аплицирана на рекултивираната област на хидројаловиштето Тополница и за истото е направена анализа за успешноста на рекултивацијата за периодот од 1997-2021 година. Методологијата се состои од анализа на просторно-временска варијабилност на NDVI класите, површинска дистрибуција на NDVI класите и просторно-временска NDVI траекторија во рекултивираната

област на хидројаловиштето Тополница за периодот од 1997 до 2021 година заедно со сателитски фотографии за валидација.

Оваа студија ја поддржува идејата и фактот дека класификацијата на вегетацијата преку пресметките и анализата на NDVI параметарот има ефективност во опишувањето на растот и развојот на вегетацијата.

Покрај ова, студија дава голем придонес во развојот на методологија која дава новитет во процесот на мониторинг на останатите рекултивирани области на територијата на Република С. Македонија.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bell L.C. (1996): *Rehabilitation of disturbed land*, in DR Mulligan (ed.), *Environmental management in the Australian minerals and energy industries: principles and practices*, pp.227–264, UNSW Press, Sydney;
- [2] Doley D., Audet P. (2013): *Adopting novel ecosystems as suitable rehabilitation alternatives for former mine sites*, *Ecological Processes*, 2(22);
- [3] Erskine P., Fletcher A., Seaborn B. (2013): *Opportunities and constraints of functional assessment of mined land rehabilitation*, in M Tibbett, A Fourie, C Digby (eds), *Mine closure 2013*, Perth, Australian Centre for Geomechanics;
- [4] Hancock G.R., Loch R.J., Willgoose G.R. (2003): *The design of post-mining landscapes using geomorphic principles*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, pp.1097–1110;
- [5] Jarvie-Eggart M.E. (2015): *Responsible mining: case studies in managing social and environmental risks in the developed world*, Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Englewood, Colorado;
- [6] Koch J.M., Hobbs R.J. (2007): *Synthesis: is Alcoa successfully restoring a jarrah forest ecosystem after bauxite mining in Western Australia?*, *Restoration Ecology*, 15(4), pp.137-144;
- [7] Loch R.J. (2010): *Sustainable landscape design for coal mine rehabilitation*, ACARP project C18024 report;
- [8] Neldner V.J., Ngugi M.R. (2014): *Application of the BioCondition assessment framework to mine vegetation rehabilitation*, *Ecological Management & Restoration*, 15(2), pp.158-161;
- [9] Chen X.N., Yuan X., Yang Z.Y. (2017): *Monitoring of vegetation coverage by multi-temporal remote sensing images: A case study of Yulin coal mine Land Reclamation in Ecological Fragile Areas*, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration 1st* (CRC Press), pp.163-166;
- [10] Ashraf M.A., Maah M.J., Yusoff I. (2011): *Introduction to remote sensing of biomass*, *Biomass and Remote Sensing of Biomass*, IntechOpen, London;
- [11] Chen W., Li X., He H., Wang L. (2018): *A review of fine-scale land use and land cover classification in open-pit mining areas by remote sensing techniques*, *Remote Sens.*10(15);
- [12] Schmidt H., Glaesser C. (1998): *Multitemporal analysis of satellite data and their use in the monitoring of the environmental impacts of open cast lignite mining areas in eastern Germany*. *Int. J. Remote Sens.*, 19, pp.2245-2260;
- [13] Maxwell A.E., Warner T.A., Strager M.P., Pal M. (2014): *Combining RapidEye Satellite Imagery and Lidar for Mapping of Mining and Mine Reclamation*. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2014, 80, pp.179–189;

- [14] Bao N., Li W., Gu X., Liu Y. (2019): *Biomass estimation for semiarid vegetation and mine rehabilitation using worldview-3 and sentinel-1 SAR imagery*, Remote Sens. 2019, 11;
- [15] Huang S., Tang L., Hupy J.P., Wang Y., Shao G. A (2020): *Commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing*. J. For. Res. 2020, pp.1–6;
- [16] Li J., Xia Q., Zipper C.E., Li S., Donovan P.F., Wynne R.H., Oliphant A.J. (2015): *Character analysis of mining disturbance and reclamation trajectory in surface coal-mine area by time-series NDVI*. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 2015, 31, pp.251–257;
- [17] Wei S., Zhong-Ping S., Dao-Liang L., Raaj R., Xiang Z. et al. (2009): *Vegetation recovery monitoring over the waste dump in Haizhou opencast coalmine area, China, during 1975-2000 using NDVI and VF index*. J. Indian Soc. Remote Sens. 2009, 37, pp.631-645;
- [18] Николов Н., Конзулов Г., Гоцев Ж. (2012): *Биомелиорациска ревитализација на хидројаловиштето тополница во рудникот Бучим – Радовиш*, Конференција на тема: Хидројаловиштата во Република Македонија, Штип, 30-31 октомври, 2012;
- [19] Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J. (2014) *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Hoboken NJ US;
- [20] Tucker C.J. (1979): *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sens. Environ. 1979, 8, pp.127-150;
- [21] Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. (2017): *Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*, Remote Sens. Environ. 2017, 202, pp.18-27;