



ГИС ЖУРНАЛ

број 1/2018

ЗБОРНИК РАДОВА СА

ГИС Форума 2018

<<Место сусрета ГИС стручњака>>



ГИС ТЕХНОЛОГИЈЕ У ПРАЋЕЊУ ПРОМЕНА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА РУДНИКА БАКРА БОР

Никола Станчић¹, Јован Ковачевић²

Апстракт: У раду је предочена могућност примене ГИС технологија над подацима даљинске детекције, са циљем да се сагледају трендови ширења копова и омогућило увођење ових процеса под контролу. Предлог решења јесте креирање веб-картографског сервиса који заинтересованом кориснику омогућује да добије увид у стање површинских копова у различитим епохама, као и преглед промена које су настале у периоду између одређених двеју епоха. Коначни веб-сервис има форму геопортала и поседује сет функционалности које задовољавају потребе корисника различитих профила. За пример су узети површински копови рудника бакра Рударско-топионичарског басена Бор.

Кључне речи: веб-ГИС, даљинска детекција, ширење рудника, праћење промена

GIS TECHNOLOGIES IN MONITORING CHANGES OF BOR OPEN-PIT COPPER MINE

Abstract: This paper presents the possibility of applications of GIS technologies on remote sensing data in order to understand the trends of the mine expansion and thereby enable putting these processes under control. The proposed solution includes creating a web mapping service that provides the opportunity for an interested user to gain insight into the status of the mine excavation in different epochs, as well as an overview of the changes that occurred during the period between certain two epochs. The final web service is in the form of a geoportal and has a set of functionalities that meet the needs of the different profiles of users. The example shows open-pit copper mines of copper mining and smelting complex located in Bor, Serbia.

Key words: web GIS, remote sensing, mines expansion, change monitoring

УВОД

Основан 1903. године, борски рудник тридесетих година XX века постаје један од највећих рудника бакра у свету. Свој врхунац достиже осамдесетих година прошлог века као велики центар европске обојене металургије. Поред свих економских бенефита које доноси један овакав рудник, дугогодишња експлоатација ипак оставља озбиљан траг, првенствено на животну средину. По ископавању руде, на овом подручју остају пространи површински копови великих дубина који утичу и на сâм град.

Површински коп „Велики Кривељ“ који се налази на свега десет минута од урбаног градског језгра представља једно од највећих вештачки створених удубљења у Европи, с дубином од преко 300 метара [2]. Тренутно, овај коп носи највећи терет производње бакра у Рударско-топионичарском басену Бор - више од 75% [9]. До данас је откопано око 150 милиона тона руде [2], а на основу геолошких истраживања је утврђено да у рудним резервама има потенцијала за експлоатацију у наредних бар 45 година [10]. Ова предвиђања стварају јасну потребу за системом за мониторинг будућих ширења површинских копова, јер свако ширење које није контролисано може да угрози читаву околину.

Лансирање вештачких сателита који су опремљени сензорима за добијање различитих информација о површи Земље је отворило врата многобројним новим могућностима. Већи број сателитских мисија и убрзан развој технологија довео је до ситуације да постоји значајан број веб-сервиса преко којих се нуде снимци и разни производи добијени из њих. Тржиште производа даљинске детекције је захваљујући развоју интернета последњих деценија вишеструко увећано и

¹ Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Бул. краља Александра 73, nstancic@grf.bg.ac.rs

² Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Бул. краља Александра 73, jkovacevic@grf.bg.ac.rs

данас су ови подаци практично свима доступни. Такође, нови снимци пристижу у све краћим временским размацама.

Добар пример домета сателитских мисија јесу сателитске мисије у оквиру *Landsat* [6] програма, најстаријег постојећег система за снимање Земље из свемира [4], који је симбол развоја даљинске детекције. Сателити ове мисије континуирано снимају Земљу већ готово 45 година и данас су сви снимци, укључујући и архивирани, јавно доступни. Представљају јединствен извор праћења промена у многим областима. Отворен приступ снимцима и продукцима, као и темпорална резолуција од 16 дана [5] су разлог што се у позадинском делу геопортала користе снимци добијени из овог програма.

АРХИТЕКТУРА ВЕБ-БАЗИРАНОГ СЕРВИСА

Идеја решења подразумева успостављање интернет базираног сервиса с интерактивним и интуитивним интерфејсом. Његова намена је да на једноставан и брз начин задовољи захтеве различитих група корисника у погледу праћења промена које су временом настале на комплексу рудника бакра у околини Бора. Систем се састоји из три јасно одвојене, али комплементарне компоненте (слика 1):

1. систем базе података с просторним проширењем (на најнижем нивоу, примарно служи за чување података);
2. веб-картографски сервер (средњи слој који послужује податке из базе података преко *OGC*-ових стандардних *WMS*, *WFS* и *WCS* сервиса);
3. кориснички интерфејс (веб-страница у веб-прегледачу написана у језицима *HTML*, *CSS* и *JavaScript*, уз коришћење *JavaScript* библиотеке *OpenLayers 3*).

Поред бесплатних снимака даљинске детекције, акценат је стављен и на искоришћавање алата отвореног кода (енгл. *open-source*) за њихову обраду, похрањивање у просторну базу података, послуживање и публикување на интернет.



Слика 6. Приказ архитектуре веб-базираног сервиса

УЛАЗНИ ПОДАЦИ И МЕТОДОЛОГИЈА ЊИХОВЕ ОБРАДЕ

За решавање постављеног задатка неопходно је прибавити одговарајуће податке, обработити их и сместити у просторну базу података, потом базу података повезати с веб-картографским сервером, послужити податке веб-сервисима и, на крају, направити интерактивни интерфејс у виду геопортала преко којег ће корисник моћи да погледа податке.

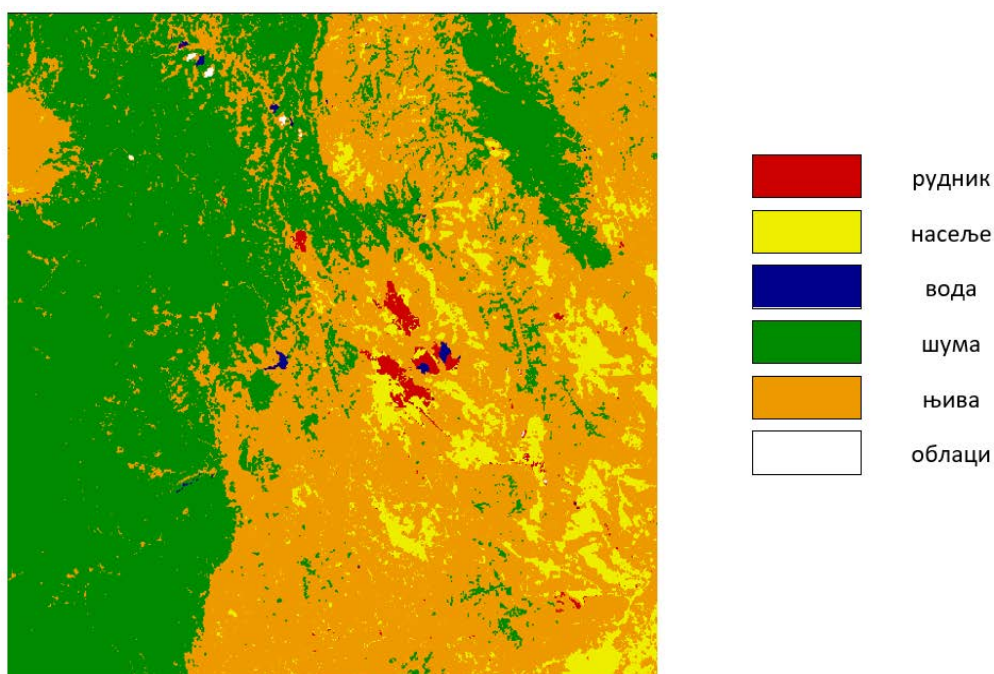
Подаци

Мултиспектрални снимци даљинске детекције добијени у мисијама *Landsat 5* и *Landsat 8* преузети су с *EarthExplorer*-а [1], специјализованог интернет сервиса под окриљем Геолошког топографског института САД (енгл. *United States Geological Survey – USGS*). Као пример, узете су три епохе: 9. септембар 1986, 22. јул 2003. и 10. август 2016. Снимци се налазе у *GeoTIFF* формату. Величина пиксела главних канала јесте 30 m × 30 m, док је просторна резолуција термалних канала код пете генерације 120 m, а код осме 100 m. Осми канал мисије *Landsat 8* је панхроматски и величина пиксела износи 15 m × 15 m. *Landsat 5* има радиометријску резолуцију од 8 битова (с 256 различитих вредности), а *Landsat 8* 16 битова (са 65536 различитих вредности) за првих девет канала и 12 битова (с 4096 различитих вредности) за термалне канале (*B10* и *B11*).

Обрада улазних података у ГИС софтверима

Сваки сателитски снимак покрива подручје од приближно 190 km × 190 km, што је знатно већа површина од оне која је потребна. Због тога је у оквиру софтвера *QGIS* [8] помоћу команде *Clipper*, од оригиналних 7731 × 7861 пиксела, у сваком снимку одсечено подручје око Бора димензија 1500 × 1500 пиксела и укупне површине 2025 km². Над добијеним сетом снимака је извршена надзирана класификација у зависности од начина коришћења земљишта, коришћењем тренинг подручја. За класификациони алгоритам је примењена метода потпорних вектора (енгл. *Support vector machine*) над вредностима пиксела свих расположивих спектралних канала. Дефинисано је шест тренинг подручја, односно шест класа:

- рудник;
- насеље;
- вода;
- шума;
- њива;
- остало (облаци).



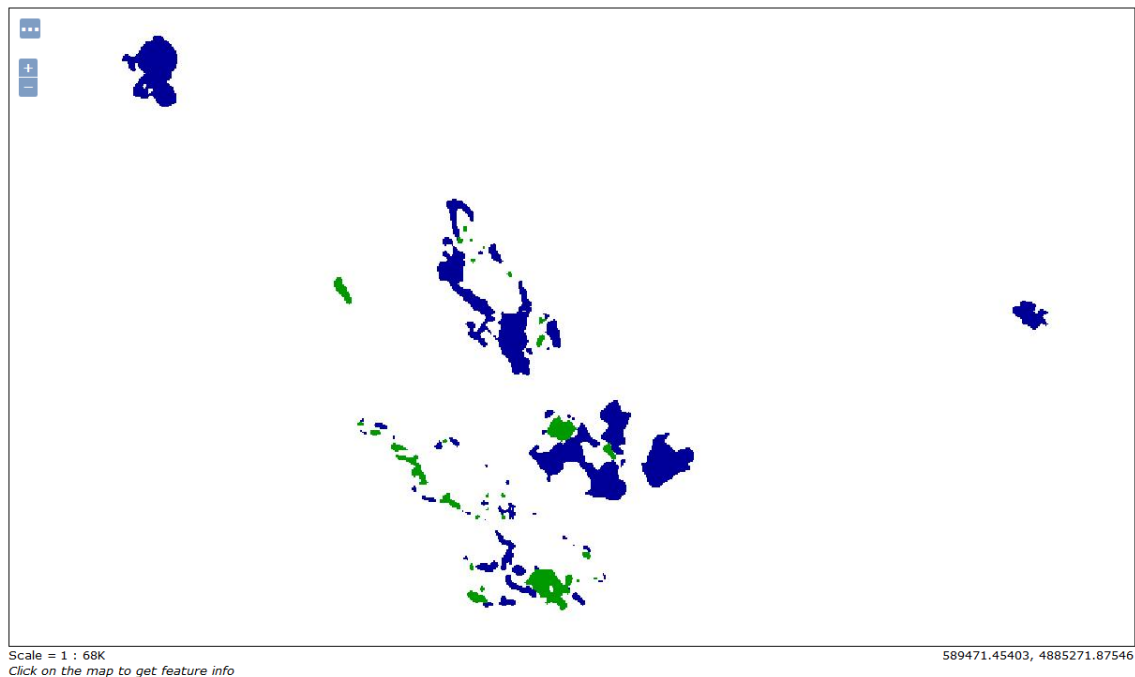
Слика 7. Пример класификованог сателитског снимка подручја око Бора, дана 10. августа 2016.

Како су за рад интересантни само пиксели који се односе на руднике (класа 1), њих је потребно изоловати. Екстракција ових пиксела је извршена рекласификацијом на основу вредности пиксела, и то тако што је пикселима преосталих пет класа (класа 2 – класа 6) додељена једнака вредност. Другим речима, ове класе су стопљене у једну. У резултујућем растеру постоје две класе: рудник и остало. Над паровима овако класификованих растера је извршена детекција промена између епоха.

Смештање података у просторну базу података и њихово публикавање

За складиштење растерских података је одабран систем базе података отвореног кода *PostgreSQL 9.6* [7] с проширењем за манипулисање просторним подацима *PostGIS*. Комуникација с базом података је вршена преко графичког корисничког интерфејс *pgAdmin4*. Поред идентификатора растера и његове геометрије, у бази података се за сваки растер чувају и метаподаци у *.XML* формату.

Публиковање просторних података из *PostgreSQL* базе података је обезбеђено преко веб-картографског сервера *GeoServer 2.10.1* [3]. *GeoServer* користи отворене стандарде, написан је у Јави и прилагођен за публикување, дељење, процесирање и уређивање геопросторних података. На *GeoServer*-у је потребно креирати радни простор (енгл. *Workspace*) и додати нови извор података (енгл. *Store*), што ће овде бити *ImageMosaicJDBC* који се позива на табеле *PostgreSQL* базе података. Подаци се суштински смештају у слојеве (енгл. *Layer*), по један за сваки растер. Последња обрада коју треба извршити на серверској страни јесте стилизација слојева. *GeoServer* нуди писање стилова у *Styled Layer Descriptor (SLD)* формату, *XML*-овој шеми за стилизацију и једном од стандарда *OGC*-а. Готови слојеви могу се погледати помоћу *Layer Preview*-а, нпр. помоћу *JavaScript* библиотеке *OpenLayers* (слика 3).



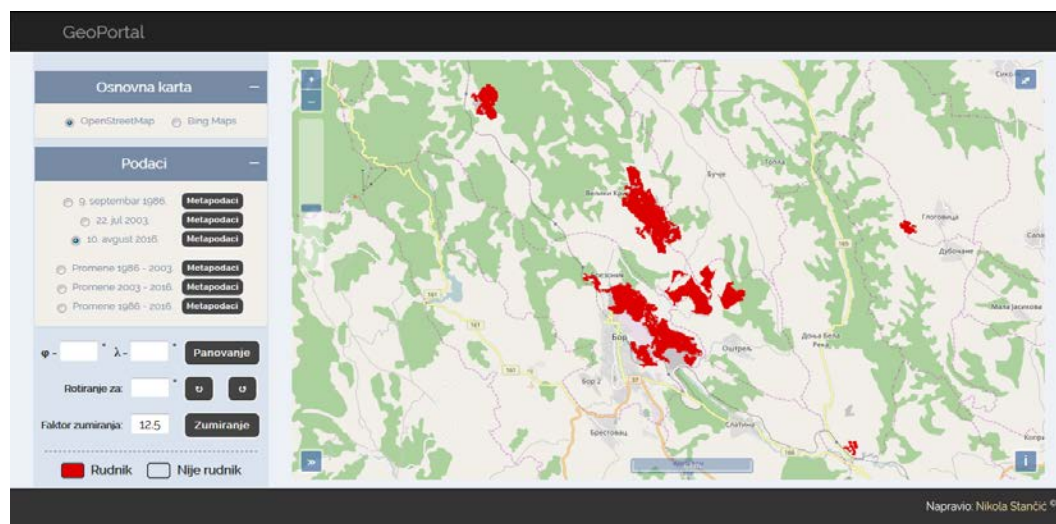
Слика 8. Приказ стилизованог слоја (промена рудника у периоду 1986 – 2016)

Табела 9. Статистика детекције промена у периоду између 1986. и 2016.

Боја	Почетна класа	Крајња класа	Површина [km ²]	Процент [%]
	без промене		2017,0242	99,6061
■	остало	рудник	6,2613	0,3092
■	рудник	остало	1,7145	0,0847
УКУПНО			2025	100

КРЕИРАЊЕ ГЕОПОРТАЛА НА КОРИСНИЧКОЈ СТРАНИ

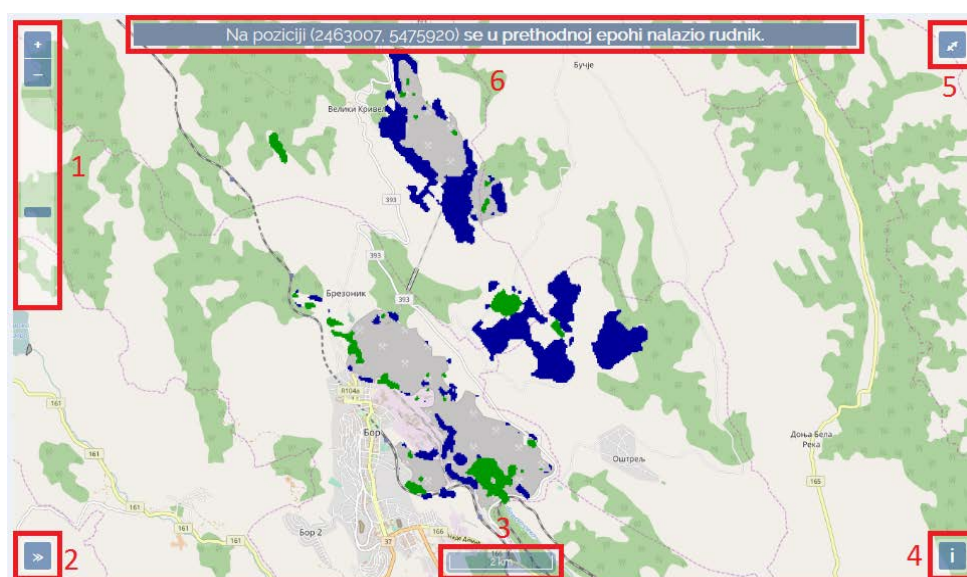
Интерактиван кориснички интерфејс за преглед података у виду геопортала је креиран коришћењем *HTML*-а (статичка структура веб-странице), *CSS*-а (форматирање), језика *JavaScript* (дефинисање динамике, тј. функционалности), *JS* библиотека *OpenLayers v3.20.1* (приказивање карата и просторних података у оквиру веб-прегледача) и *jQuery v3.1.1* (поједностављење скриптовања *HTML*-а на корисничкој страни) и веб-оквира за стилизацију *Bootstrap v3.3.7*.



Слика 9. Изглед почетне стране геопортала

Информације и функционалности које геопортал нуди јесу (слика 4 – леви део):

- одабир основне карте ради лакше оријентације (*OpenStreetMap* или *Bing Maps*);
- преглед и одабир публикованих слојева с *GeoServer*-а (стање површинских копова у одређеним епохама и промене настале између епоха);
- преузимање метаподатака о слојевима;
- манипулација основном картом и слојевима с подацима у смислу пановања на жељене координате, ротирања и промене фактора зумирања;
- информација о произвољној локацији кликом на њу (интеракција с картом).



Слика 10. Веб-карта и њене функционалности (1 – увеличавање/умањивање приказа; 2 – умањена карта ширег подручја; 3 – размерник; 4 – подаци о основној карти; 5 – приказ преко целог екрана; 6 – информација о стању пиксела на који се кликнуло мишем)

ЗАКЉУЧАК

Рад је покrio комплетан ток генерисања једног веб-картографског сервиса који се бави појединачном ситуацијом из неке области. Показано је како се етаблиране геоинформатичке методе могу применити над све лакше доступним снимцима даљинске детекције, решавајући проблематику праћења ширења површинских копова. Масовни и бесплатни подаци у виду снимака даљинске детекције сателитских мисија из програма *Landsat* су се показали као добра основа за пројекат ове врсте. Посебно богатство које носе сателитски снимци ових мисија јесте што је, захваљујући дуготрајности програма, на располагању велика архива снимака који сежу готово 45 година у прошлост. Посматрањем снимака истог подручја у различитим временским тренуцима је омогућено праћење кретања одређене појаве на том подручју.

Широко употребљавана *open source* решења *PostgreSQL* и *GeoServer* могу успешно да одраде посао смештања и публикавања растерских података на интернет. Коначни продукт, веб-картографски сервис базиран на стандардним геопорталима, задовољава потребе различитог профила корисника, истовремено и оних професионално везаних за ГИС, рударство и њима сродне струке, али и просечних и повремених корисника који систем користе из различитих разлога. Устаљене технологије *HTML*, *CSS* и *JavaScript* доприносе да се добије интерактивни интерфејс који је лак за коришћење и сналажење.

Аспект који би се могао даље разрадити и побољшати јесте креирање веће базе података у коју би се нпр. похранили по један податак за сваку годину. Такође, одређени начини барем делимичне аутоматизације екстракције рудника (потенцијално имплементацијом метода машинског учења) би значајно уштедели време, а уједно и унапредили и усавршили систем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *EarthExplorer, USGS* – <https://earthexplorer.usgs.gov/> (преузето 13. априла 2018)
- [2] Gardić, V. R., Petrović, J. V., Đurđevac-Ignjatović, L. V., Kolaković, S. R., & Vujović, S. R. (2015). Impact assessment of mine drainage water and municipal wastewater on the surface water near the city of Bor. *Hemijska Industrija*, (2), 165.
- [3] *GeoServer* – <http://geoserver.org/> (преузето 16. априла 2018)
- [4] Irons, J. R., & Dwyer, J. L. (2010). An Overview of the Landsat Data Continuity Mission. *SPIE Defense, Security And Sensing 2010*
- [5] *Landsat, NASA* – <https://landsat.gsfc.nasa.gov/the-multispectral-scanner-system/> (преузето 13. априла 2018)
- [6] *Landsat, USGS* – <https://landsat.usgs.gov/> (преузето 13. априла 2018)
- [7] *PostgreSQL* – <https://www.postgresql.org/> (преузето 16. априла 2018)
- [8] *QGIS* – <https://qgis.org/> (преузето 16. априла 2018)
- [9] Stojadinović, S., Žikić, M., & Pantović, R. (2011). RTB Bor: The Comeback of Serbian Copper. *Engineering & Mining Journal* (00958948), 212(8), 102.
- [10] Рударско-топионичарски басен Бор – <http://rtb.rs/rtb-bor-doo/rudnik-bakra-bor/rudnik-bakra-veliki-krivelj/> (преузето 26. априла 2018)