

Јелена Матић Вареница, дипл. геод. инж., Александра Симић, дипл. геод. инж., Љубица Голушин, инжењер геодезије, Дејан Васић, мастер инжењер геодезије, Марко Бугарски, мастер инжењер геодезије¹

ДЕТЕКЦИЈА ВОДЕ, ЗЕМЉИШТА ЗАСИЋЕНОГ ВОДОМ И КЛИЗИШТА КОРИШЋЕЊЕМ МЕТОДА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ

Сведоци смо све веће учесталости и обима елементарних непогода које су несумњиво последица глобалног загревања и непланске експанзије урбаних подручја. Због тога је неопходно поседовати начине за брзо и ефикасно реаговање на ове изазове. Поред реаговања је потребно и добро осмислити стратегију превенције која се пре свега односи на просторно планирање и уређење земљишне територије. Кључни елемент у овим процесима су просторни подаци. Након природних непогода је неопходно брзо и ефикасно утврдити њихов обим. Методе даљинске детекције које се са развојем технологије непрестано усавршавају, убедљиво су најсофистицираније и најефикасније методе за картирање последица непогода на великим и неприступачним подручјима.

У мају 2014. године, Република Србија и неке суседне земље су доживеле поплаве огромних размера. Након поплава су уследила клизишта која су учинила додатну штету многим домаћинствима и инфраструктури. Овај рад описује примену полуаутоматских метода картирања воде, земљишта засићеног водом и клизишта за подручја погођена поплавама. Методологија се заснива на објектно-оријентисаним методама класификације уз коришћење биофизичких параметара добијених имплементацијом PROSAIL биофизичког модела. Анализа је извршена коришћењем SPOT 6 и Pleiades сателитских снимака. Резултати картирања су коришћени за процену штете, координацију активности на терену и доношење одлука приликом санације објеката који су претрпели оштећења.

We are witnessing the increasing frequency and extent of natural disasters which are undoubtedly the result of global warming and the expansion of urban areas. It is therefore necessary to have a quick and effective ways of reacting to these challenges. In addition to reaction, it is necessary to well develop a strategy of prevention, which is primarily related to spatial planning and land management. A key element in these processes are spatial data. After natural disasters it is necessary to quickly and efficiently determine their extent. Methods of remote sensing, which are constantly improving with the development of technology, are so far the most sophisticated and effective methods for mapping a result of natural disasters on large and inaccessible areas. In May 2014, the Republic of Serbia and some neighboring countries have experienced flooding of huge extent. The floods were followed by landslides that made additional damage to many homes and infrastructure. This paper describes the use of semi-automatic method for mapping water, soil saturated with water and landslides in flood-affected areas. The methodology is based on object-oriented classification methods using biophysical parameters obtained by implementing of PROSAIL biophysical model. The analysis was performed using SPOT 6 and Pleiades satellite images. The mapping results were used for damage assesment, the coordination of activities in the field and decision-making in revitalization of damaged objects.

¹ Јелена Матић Вареница, дипломирани инжењер геодезије, Начелник Одељења за топографију, Сектор за топографију и картографију, Републички геодетски завод, jmatic-varenica@rgz.gov.rs
Александра Симић, дипломирани инжењер геодезије, Сектор за топографију и картографију, Републички геодетски завод, aleksandra.golusin@rgz.gov.rs
Љубица Голушин, инжењер геодезије, Сектор за топографију и картографију, Републички геодетски завод, ljubica.golusin@gmail.com
Дејан Васић, мастер инжењер геодезије, Сектор за топографију и картографију, Републички геодетски завод, dejan.vasic@rgz.gov.rs
Марко Бугарски, мастер инжењер геодезије, Сектор за топографију и картографију, Републички геодетски завод, marko.bugarski@rgz.gov.rs

1. УВОД

Док се за узрок претходних епохалних климатских промена може рећи да је у потпуности природног карактера (промене у Земљиној орбити утичу на промену у количини соларне енергије која загрева планету), садашње брзе климатске промене значајано су потпомогнуте људским деловањем. Последице тренутних климатских промена се огледају кроз топлеење глечера, подизање нивоа мора, јаке и честе олујне ветрове и мењање режима падавина што изазива појаву поплава, суша, пожара у природи и клизишта изазваних обилним падавинама а самим тим доводи и до негативних економских и социјалних последица по људско друштво. Природне катастрофе изазване климатским променама су све учесталије и обухватају све већа подручја. Специфичност катастрофа, брзина којом се дешавају, интензитет и просторни обухват њихових деструктивних активности захтевају брзу и адекватану реакцију, која је од круцијалне важности у случају кризе. Производи настали применом метода даљинске детекције, као напредне и свеобухватне технологије, комбиновани са технологијама за анализу просторних података (ГИС окружење) представљају веома важну везу у процесу доношења оптималних одлука. Идентификација и регистровање последица природних катастрофа на одређеној територији, нарочито код поплава, коришћењем теренских мерних метода је временски веома захтевно и може довести до пропуста у случају повлачења воде. Поред тога, теренска мерења захтевају значајне људске ресурсе и самим тим и већа финансијска улагања. Посебну потешкоћу представља детектовање клизишта на неприступачним брдско-планинским подручјима покривеним густом шумом. Анализа сателитских снимака коришћењем метода даљинске детекције представља врло ефикасан, ефективан и економичан метод који обезбеђује значајне просторне (тематске) информације у реалном времену који су неопходни за доношење ургентних одлука у кризним ситуацијама, као и у реализацији активности на санирању последица и планирању будућег система заштите и изградње инфраструктуре.

У мају 2014. године, Републику Србију и друге земље балканског региона су погодиле поплаве незапамћених размера. Центар циклона се налазио изнад Србије и Босне и Херцеговине, када су се између 13. и 15. маја забележиле највеће количине падавина од када се подаци метеоролошких опажања чувају. На већини подручја, количина падавина је износила између 50 l/m² до 100 l/m², на подручју Западне Србије од 170 l/m² до 220 l/m², док је у неким подручјима близу Ваљева износила преко 300 l/m² [1]. Поред огромне материјалне штете (укупна штета процењена је на више од 1,7 милијарди евра [2]), природна катастрофа однела је и неколико људских живота.

Одсек за фотограметрију и даљинску детекцију Републичког геодетског завода анализирао је орторектификоване сателитске снимке *SPOT 6* и *Pleiades* оптичких сателитских система, просторне резолуције 1.5m и 0.5m, који су обезбеђени у оквиру реализације пројекта "Успостављање националне инфраструктуре геопросторних података и Центра за даљинску детекцију у Републици Србији – засновано на ИГИС решењу (*Integrated Geo-Information Solution*)". За потребе анализа, полуаутоматска класификација површина покривених водом и области где је тло засићено водом изведена је техником даљинске детекције. Такође, на основу дигиталног ортофотоа резолуције 40 cm и *Pleiades* сателитских снимака, извршена је и детекција потенцијалних клизишта. На овај начин су обезбеђене информације о обиму погођених подручја и интензитету природних непогода, које су од великог значаја за планирање система заштите и доношење оптималних одлука у процесу санирања настале штете.

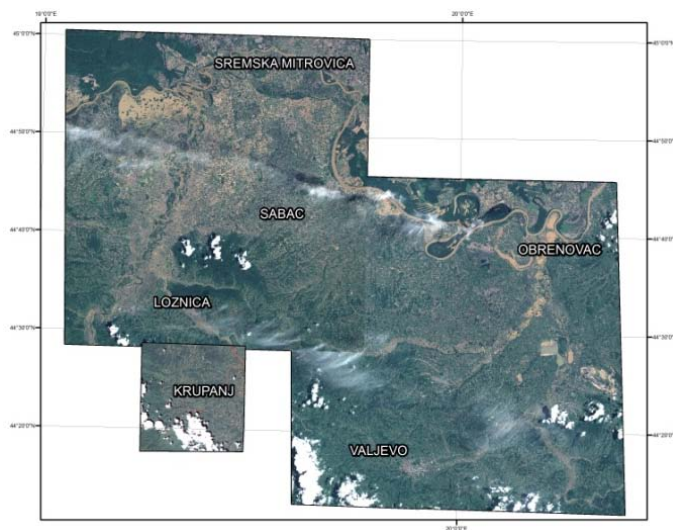
Онолико колико је важно да учинимо све што је у нашој моћи да смањимо главне узроке несреће, толико је важно и да имамо добар систем реаговања и управљања у ванредним ситуацијама. Развој некомерцијалних сателитских система као што су *Sentinel-2* задовољавајуће спектралне, просторне и временске резолуције, омогућава неразвијеним земљама да их са адекватним знањем успешно и независно користе при управљању у ванредним ситуацијама.

2. ПОДРУЧЈЕ ОБУХВАЋЕНО АНАЛИЗОМ

Током маја 2014. године Републички хидрометеоролошки завод Србије предвидео је значајну количину падавина у Републици Србији. У сарадњи са Службом РХМЗ извршен је избор области за коју ће се вршити анализа. Изабран је део подручја Западне Србије за коју

су предвиђене највеће падавине. Подручје обухваћено анализом се простире од 19° 03.6' Е до 20° 24' Е географске дужине и од 44° 12' N до 45° 00,6' N географске ширине и покрива око 7 000 km². Северни део изабраног подручја има раван до брдовит терен док западни и јужни део имају брдско-планинске карактеристике терена. Обилна киша изазвала је стварање бујичних токова у брдско-планинским пределима и допринела је стварању клизишта и раста нивоа речних вода чије је изливање највише угрозило равничарске пределе.

Подручја која су највише погођена падавинама и изливањем речних корита су насеља дуж реке Саве, Дрине, Колубаре и њихових притока. Политичке општине чија је територија обухваћена анализом су: Шид, Сремска Митровица, Богатић, Шабац, Рума, Пећинци, Лозница, Коцељева, Уб, Лазаревац, Ваљево, Осечина, Лајковац, Лазаревац, Љиг, Мионица, Владимирци, Обреновац и Крупањ.



Слика 1. Подручје обухваћено анализом
©SPOT Image Copyright 2014



Слика 2. Подручје Обреновца (Obrenovac_www.lifeconnect.info)

3. ИЗВОР ПОДАТАКА

За потребе анализе подручја која су погођена поплавама коришћени су следећи извори података:

- Снимци SPOT 6 оптичког сателитског система резолуције рап 1,5 m / ms 6 m, за део подручја Западне Србије површине 6 786 km², прикупљени 19. маја 2014. године;
- Снимци SPOT 6 оптичког сателитског система резолуције рап 1,5 m / ms 6 m, за део подручја Западне Србије површине 3 459 km², прикупљени 21. маја 2014. године;

- Снимци Pleides оптичког сателитског система резолуције $rap\ 0,5\ m / ms\ 2\ m$, за подручје општине Крупањ површине $396\ km^2$, који су прикупљени 21. маја 2014. године;
- Дигитални ортофото резолуције 40 cm израђен у оквиру реализације CARDS програма – Пројекат „Израда дигиталног ортофотоа у Републици Србији“, епохе јул 2009. и август 2010.године.

Снимци оба наведена сателитска система имају 4 мултиспектрална канала (*red, green, blue u nir*).

4. МЕТОДОЛОГИЈА

Класичан приступ обезбеђења информација применом методе даљинске детекције се заснива на мануелној класификацији. Ова врста класификације је временски захтевна. Због тога се и тежи ка томе да се овај процес аутоматизује у што већој мери. Аутоматска интерпретација снимка је сложен процес и ако из перспективе човека овај задатак делује тривијално. Да би аутоматизовали интерпретацију снимка, неопходно ју је разложити по процесима који припадају различитим нивоима. Овакав модуларни приступ је много лакши за имплементацију. Први корак обухвата манипулацију снимком. Циљ је да се обезбеде додатни подаци који се могу користити у каснијим фазама обраде. Други корак обухвата реконструкцију облика објеката/ентитета који су регистровани на снимку. Најчешће се у пракси примењује сегментација снимка. И на крају се примењује класификација реконструисаног објекта/ентитета на основу неког предзнања о њему. У пракси, није неопходно да се наведени процеси реализују у наведеном редоследу. Различите класификације и сегментације се могу извршити и више пута како би се постигао жељени резултат.

У класификацији снимка се два основна приступа могу разликовати. Први приступ се назива надгледана класификација. Овај приступ се заснива на коришћењу и анализи статистичких података преузетих из познатих узорака на слици – репрезентативна подручја. Други приступ је ненадгледана класификација. Ова врста класификације је независна од људског оператера. Резултат ненадгледане класификације се анализира у следећем нивоу обраде.

Идеална методологија за интерпретацију снимака подразумева да се сви процеси реализују аутоматски. У већини случајева, висок степен аутоматизације је тешко постићи. Бољи резултати могу се постићи додавањем неке количине мануелног рада у процесу класификације или касније корекцијом самих резултата.

Поплаве које су погодиле Србију, као и сви слични катастрофални догађаји, захтевају хитну реакцију. Неопходно је било обезбедити поуздане просторне податке који се касније могу користити у процесу процене и санације штете. Најбржи начин да се то постигне се остварује применом даљинске детекције и одговарајуће методологије.

Приликом класификације поплавлених подручја и клизишта, коришћене су две различите методологије. Методологије су развијене узимајући у обзир карактеристике сателитских снимака који су коришћени, подручја које је предмет анализе и разлике између класа података које треба детектовати са снимка.

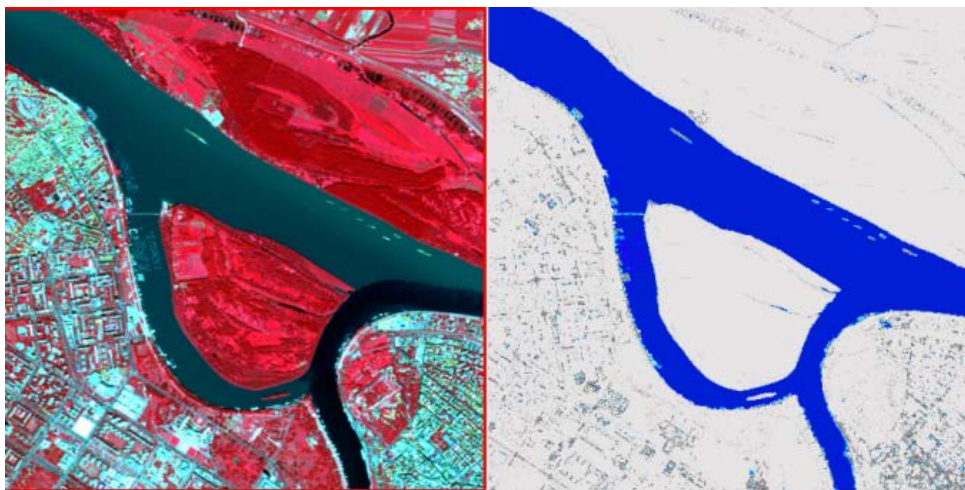
4.1. Методологија за детекцију воде и земљишта засићеног водом

Имајући у виду карактеристике подручја погођеног поплавама, потребну тачност и доступност података за та подручја, одлучено је да користе снимци новог SPOT 6 сателитског система. Поред снимака високог квалитета, овај систем покрива задовољавајућу ширину подручја при прикупљању података од 60 km у надиру. Будући да је површина области за коју је требало прикупити податке била знатна, примена одређеног степена аутоматске класификације је значајно смањило време неопходно за анализу. Две основне класе податка су детектоване: вода и земљиште засићено водом. Под водом су обухваћена сва водна тела и области које су биле покривене водом у време прикупљања снимака. Земљиште засићено водом обухвата сва подручја која су поплавлена али се вода повукла и области које су изузетно влажне (натопљене водом, површинске воде и сл.).

Сам процес настанка снимка подразумева примену основних закона физике. Ти закони физике се могу моделирати и тако генерисани модели се могу користити за производњу значајних података који се могу класификацији. Коришћен је инверзни физички модел за

производњу биофизичких параметара на основу спектралних података снимка. Најзаступљенији физички модел за производњу биофизичких параметара је *SAIL/PROSPECT (PROSAIL)*. У оквиру *Overland* софтвера, развијеног од стране компаније *Airbus Defence and Space* успешно је имплементиран *PROSAIL* модел. Важно је напоменути да је *Overland* једини софтвер на свету који успешно генерише биофизичке параметре. Поред производње биофизичких параметара, овај софтвер омогућава једноставне алате за класификацију на бази пиксела.

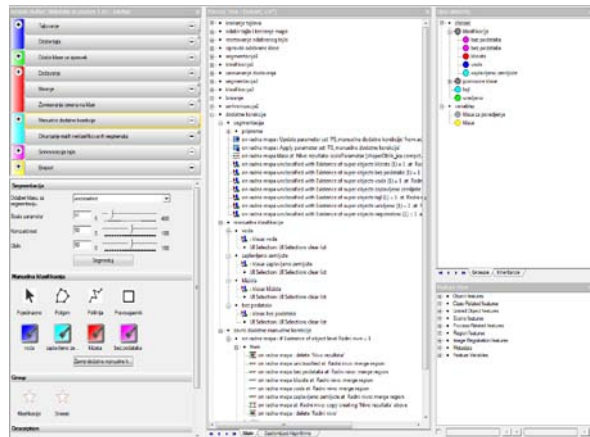
Методологија за класификацију воде и земљишта засићеног водом, је заснована на коришћењу пуног потенцијала *Overland* софтвера и биофизичких параметара. Главни део класификације ових класа је урађено применом овог софтверског решења. Класификација вода је извршена применом граничних вредности на биофизички параметар *WaterCoverFraction (WCV)*, који даје информације о проценту воде у сваком пикселу снимка.



Слика 3. *WaterCoverFraction*
©SPOT Image Copyright 2007

Узимајући у обзир комплексност класе које се односи на земљиште засићеног водом, и утицај педологије у тим областима, није било могуће створити алгоритам за аутоматску класификацију без дуготрајнијег истраживања. У ситуацији која захтева брзу реакцију, то није представљало опцију која би се применила, што не значи да се одређени степен аутоматизације не може постићи.

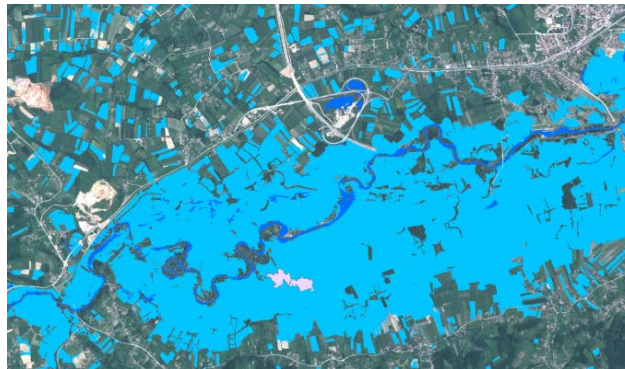
Један од најнапреднијих софтвера који се користи у области даљинске детекције је *eCognition*. Он пружа свеобухватно окружење за развој сложених објектно-орјентисаних класификационих алата. Применом ових алата може да се обезбеди аутоматска или оптимизована полуаутоматска класификација. Стручњаци из Одсека за фотограметрију и даљинску детекцију су развили алат у оквиру *eCognition* софтвера који се може користити за полуаутоматску класификацију земљишта засићеног водом (слика 4.). Овај алат може се користити и за побољшање класе вода која је претходно класификована коришћењем *Overland* софтвера.



Слика 4. Библиотека „активности и правила“

Улазни подаци коришћени у оквиру *eCognition* алата су претходно паншарпеновани SPOT 6 сателитски снимци и резултати класификације воде у оквиру *Overland* софтвера. Алат омогућава оператеру да обави сегментацију снимка и да лако класификује сегментиран објект/ентитет визуелном интерпретацијом.

Паншарпеновани снимци пружају довољно детаља оператерима који су у могућности да идентификују објекте са великом сигурношћу. Резултати су показали да су од 6 786 km² подручја, 392 km² била покривена водом а 727 km² подручја је било земљиште засићено водом. Крајњи производ класификације је за даљу анализу доступан и у векторском и у растерском формату.



Слика 5. Резултати класификације – Западна Србија
©SPOT Image Copyright 2014

4.2. Методологија за детекцију клизишта

Општина Крупањ је била највише уложена клизиштима током пролећних поплава у Србији 2014. године. Огромна маса блата, камена и воде је практично уништила неколико насеља. Како би се избегли нови ризици и угрожавање становништва и инфраструктуре, као и да би се у процесу санације штете извршило адекватни планирање и заштита, идентификација клизишта у тим подручјима је била од изузетног значаја.

Методолошки приступ у идентификацији клизишта је заснован на упоређивању *Pleiades* сателитских снимака резолуције 50 cm од 21. маја 2014. године са дигиталним ортофотоом резолуције 40 cm из периода јул 2009. и август 2010. године. Ово поређење је извршено на основу визуелне интерпретације, али као и код класификације воде и земљишта засићеног водом, направљен је алат за мануелну класификацију. Алат је обезбедио сегментацију снимка и класификацију клизишта, воде и земљишта засићеног водом. Овај метод класификације се показао као много бржи у поређењу са дигитализацијом полигона коришћењем неких *GIS* или *CAD* софтвера.

Резултати анализе су показали да су од 396 km² подручја, 0.84 km² подручја била прекривена водом, 11.02 km² подручја су земљиште засићено водом и 0.94 km² подручја је било обухваћено клизиштима. Укупан број откривених клизишта је 759.



Слика 6. Резултати класификације – Крупањ
©Pleiades Image Copyright 2014

5. ЗАКЉУЧАК

Развој сателитске технологије нуди могућност све веће примене метода даљинске детекције. У зависности од просторне, временске, спектралне и радиометријске резолуције сателитских снимака може се обезбедити мноштво просторних информација које имају широк спектар примене у многим областима: метеорологији, геологији, пољопривреди, картографији (цивилној и војној), уређењу земљишне територије и планирању (земљишни покривач), заштити животне средине (праћење климатских промена), поморски надзор, управљању у случају природних и вештачких катастрофа и другим. Постоје бројне предности коришћења сателитских снимака у односу на теренска мерења, и то:

- Обезбеђење ажурних просторних информација на великом географском подручју;
- Обезбеђење информација о објекту или појави у неприступачним или опасним пределима;
- Економичан и ефикасан метод за израду прегледних карата у одсуству детаљних теренских података;
- Периодични прелет сателитског система над одређеним подручјем омогућава спровођење праћења и израде одговарајућих предикција;
- Обезбеђење информација о катастрофама у тренутку њиховог дешавања.

Садашње методологије у области даљинске детекције и подаци сателитских система се већ користе у многим наведеним областима, али имајући у виду колика су у свету тренутна улагања у развој нових методологија и сателитских система одговарајућих карактеристика за очекивати је да ће примена методе даљинске бити све присутнија.

Републички геодетски завод је дистрибуирао геореференциране сателитске орторектификоване снимке (RGB) који су прикупљени за подручја западне Србије погођена поплавама, као и све податке који су се добили анализом тих сателитских снимака, свим заинтересованим државним и међународним институцијама и органима локалне самоуправе и на тај начин им помогао у процесу процене штете и доношењу одлука приликом њихове санације.

Реализоване активности описане у овом раду показују да метода даљинске детекције за обезбеђење просторних информација може да буде кључна компонента у успостављању одрживог националног система у управљању ванредним ситуацијама.

ЛИТЕРАТУРА И ИЗВОРИ:

1. [1] Нишавић, А., Зарић, М., Гулан, М., Декић, Љ., “Метеоролошки услови у мају 2014. године и могућност прогнозирања обилних падавина”, Београд, Србија, јун 2014., доступно на: http://www.hidmet.gov.rs/podaci/dokumenti_ciril/RHMZ_Sava_Centar_referat.pdf, преузето 28. фебруара 2015.
2. [2] Влада Републике Србије, Канцеларија за управљање јавним улагањима, доступно на: <http://www.obnova.gov.rs/uploads/useruploads/Documents/Kancelarija-za-pomoc-poplavljenih-podrucja-infograf-26-12-2014-srb.pdf>, преузето 28. фебруара 2015.
3. Richards, J. A., “Remote Sensing Digital Image Analysis”, The Australian National University, Canberra
4. Trimble Documentation: eCognition Developer 8.64.1, Trimble Germany GmbH, Trappentreustr. 1, D-80339 München, Germany