

МАПИРАЊЕ ПОПЛАВЉЕНИХ ПОДРУЧЈА ПРИМЈЕНОМ ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ НА ПРИМЈЕРУ РИЈЕКЕ САНЕ

Лука Сабљић^{1,2*} и Даворин Бајић²

¹Гистел, Бања Лука, Република Српска

²Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска

Сажетак: У овом раду приказан је модел мапирања поплављених подручја на примјеру ријеке Сане. Улазне податке, који се користе за модел обраде података, представљају сателитски снимци добијени са радарске платформе под називом Сентинел 1, Европске свемирске агенције. Модел се састоји из неколико корака обраде, гдје кључне кораке представљају предобрада и постобрада просторних података, те визуелизација коначног резултата. Предобрада и постобрада просторних података састоје се из више мањих корака, чији преглед аутори дају у склопу алгоритма који представља модел обраде података. Валидација примјењеног модела извршена је компарацијом подручја за које је вршено мапирање поплава и подручја на коме се налази већа водена површина, а која је била у датом временском периоду без поплава. Развијени модел може се практично примјенити у мапирању поплављених подручја, као што је то у случају овог рада ток ријеке Сане у Босни и Херцеговини.

Кључне ријечи: географски информациони системи, даљинска детекција, просторни подаци, мапирање, поплаве, сателитски снимци.

Original scientific paper

MAPPING OF FLOODED AREAS USING REMOTE SENSING ON THE EXAMPLE OF THE SANA RIVER

Luka Sabljic^{1,2*} and Davorin Bajić²

¹Gistel, Banja Luka, Republic of Srpska

²University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska

Abstract: This paper presents a model for mapping flooded areas on the example of the Sana River. The input data, which is used for the data processing model, is represented by satellite images obtained from a radar platform called Sentinel 1, by the European Space Agency. The model consists of several processing steps, where the key steps are preprocessing and postprocessing of spatial data, and the visualization of the final result. Preprocessing and postprocessing of spatial data consist of several smaller steps, the review of which is given by the authors as part of an algorithm that represents a data processing model. Validation of the applied model was performed by comparing the areas for which flood mapping was performed and the areas where there is a larger water surface, which was floodless in a given period of time. The developed model can be practically applied in the mapping of flooded areas, as in the case of this paper the flow of the Sana Rivers in Bosnia and Herzegovina.

Key words: geographic information systems, remote sensing, spatial data, mapping, floods, satellite images.

* Аутор за кореспонденцију: Лука Сабљић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, Е-mail: lukasabljić97@gmail.com

* Corresponding author: Luka Sabljic, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, Email: lukasabljić97@gmail.com

УВОД

Поплаве представљају једну од најчешћих и најдеструктивнијих природних катастрофа у свијету. У тренутку када се догоди природна катастрофа попут поплаве, веома ју је тешко зауставити. Оно што је могуће урадити у датом тренутку односи се на смањивање штета које настају као последица овакве природне катастрофе. У том контексту веома битан елемент управљања поплавама јесте доступност правовремених информација о подручјима која су захваћена поплавама.

Како би просторне информације биле правовремено доступне и обрађене неопходна је употреба савремених информационих технологија као што су географски информациони системи и даљинска детекција.

Информационе технологије попут географских информационих система представљају изузетно захвалне системе у борби против природних катастрофа, какве су и саме поплаве. Ови системи омогућавају предвиђање потенцијалних катастрофа, али и сагледавање економских, привредних и других последица након настанка истих.

Употреба даљинске детекције као методе прикупљања података о Земљиној површини у географским информационим системима изузетно је битна. Савремена технологија коју посједују међународне и европске организације, те бесплатан приступ и коришћење производа који настају као резултат употребе технологија ових организација, представља велики значај за домен научног истраживања.

Свака од информационих технологија сама по себи веома је значајна и важна. Међутим, њихов потпуни значај и потенцијал огледа се у њиховој заједничкој употреби у циљу рјешавања одређеног конкретнег проблема, као што су то природне катастрофе, у конкретном случају поплаве.

Истраживање природних катастрофа као што су поплаве путем информационих технологија представља веома актуелну тему данашњице. Сходно томе, могуће је издвојити одређена научна истраживања која су се бавила овом тематиком.

Научно истраживање везано за мониторинг поплава са употребом географских информационих система и даљинске детекције вршио

INTRODUCTION

Floods are one of the most common and destructive natural disasters in the world. The moment a natural disaster like a flood occurs, it is very difficult to stop it. What can be done at a given moment refers to reducing the damage that occurs as a result of such a natural disaster. In this context, a very important element of floods management is the availability of timely information on the flood affected areas.

In order for spatial information to be available and processed in a timely manner, it is necessary to use modern information technologies such as: geographic information systems and remote sensing.

Information technologies such as geographic information systems are extremely grateful systems in the fight against natural disasters, such as floods themselves. These systems enable the prediction of potential catastrophes, but also the perception of economic and other consequences after their occurrence.

The use of remote sensing as a method of collecting data on the Earth's surface in geographic information systems is extremely important. Modern technology owned by international and European organizations, as well free access and use of products that result from the use of technologies of these organizations, is of big importance for the domain of scientific research.

Each of the information technologies in itself is very significant and their own potential is reflected in their common use in order to solve a certain specific problem, such as natural disasters, in the specific case floods.

Researching of natural disasters, such as floods, through information technology, is very often topic today. Accordingly, it is possible to single out certain scientific researches that have dealt with this topic.

Scientific research related to flood monitoring using geographic information systems and remote sensing was conducted by Maxim Arseni and his associates. For the purposes of this re-

је Максим Арсени са сарадницима. За потребе овог истраживања као улазни подаци коришћени су сателитски снимци Landsat 5 мисије, а истраживање се заснивало на надгледаној класификацији земљишта, те у коначници компарацији временских периода када нису биле и када су се догодиле поплаве (Arseni et al., 2017).

Истраживање које је имало за циљ мапирање поплавлених подручја у блиско реалном времену извршио је Ксиао Хуанг са својим сарадницима. Методологија истраживања заснивала се на употреби података добијених даљинском детекцијом и „добровољним“ информационим системом. Овај систем под називом „добровољни“ информациони систем заснивао се на волонтерском прикупљању података са терена путем GPS уређаја. Кључ истраживања односи се на употребу филтера који за циљ има изградњу индекса дистрибуције вјероватноће на основу дигиталног модела терена. За сваки слој индекса, развијено је језгро под називом Gaussian да би се вриједност влаге издвојила из индекса NDWI. У коначници употребом програмског језика Python производи се резултат у виду мапе поплавлених подручја (Huang et al., 2017).

Матееул Хак са сарадницима вршио је научно истраживање употребом географских информационих система и даљинске детекције, а у сврху мапирања поплавлених подручја и процјене штета које настају као резултат поплава. За потребе овог истраживања коришћени су MODIS Aqua и сателитски снимци канадске компаније под називом Terra. Над сателитским снимцима извршена је стандардна надгледана класификација са процјеном типа *maximum likelihood*. Даље истраживање ишло је у правцу визуелне интерпретације и компарације добијених резултата (Haq et al., 2012).

Аутори модела за мапирање поплавлених подручја (Serco Italia SPA, 2018; UN-SPIDER, n.d.), који се користи у овом раду, првобитно су примјенили модел за потребе мапирања поплављеног подручја Малави у источној Африци. Улазне податке у процесу обраде чине сателитски снимци Сентинел 1 мисије, Европске свемирске агенције. Над улазним подацима извршена је прво предобрада, а потом и постобрада података. Кључни сегмент у обради сателитских снимака представља

search, satellite images of the Landsat 5 mission were used as input data, and the research was based on a supervised land classification, and ultimately a comparison of time periods when there were no and when floods occurred (Arseni et al., 2017).

The research, which aimed to map flooded areas in close real time, was conducted by Xiao Huang with his associates. The research methodology was based on the use of data obtained by remote sensing and a „voluntary“ information system. This system, called the „voluntary“ information system, was based on the voluntary collection of data from the field via GPS devices. The key to the research relates to the use of a filter that aims to build a probability distribution index based on a digital terrain model. For each layer of the index, a core called Gaussian was developed to extract the moisture value from the NDWI index. Ultimately, using the Python programming language produces the result in the form of a map of flooded areas (Huang et al., 2017).

Mateeul Haq and his associates conducted scientific research using geographic information systems and remote sensing, for the purpose of mapping flooded areas and assessing the damage caused by floods. For the purposes of this research, MODIS Aqua and satellite images of a Canadian company called Terra were used. Satellite imagery was subject to a standard supervised classification with a maximum likelihood assessment. Further research went in the direction of visual interpretation and comparison of the obtained results (Haq et al., 2012).

The authors of the model for mapping flooded areas (Serco Italia SPA, 2018; UN-SPIDER, n.d.) used in this paper, originally applied the model for the purpose of mapping the flooded area of Malawi in East Africa. The input data in the processing process consists of satellite images of the Sentinel 1 mission, the European Space Agency. The input data was first preprocessed and then postprocessed. A key segment in the processing of satellite images is the creation of a binary mask, which is an integral part

израда бинарне маске, која чини саставни дио постобраде података. Њена израда врши на основу граничне вриједност прага, а на основу које се издвајају водене површине у односу на остале површине. У коначници методом компарације врши се визуелно поређење резултата, који се односе на периоде прије, током и послије поплава.

ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА

Подручје истраживања овог рада представља дио тока ријеке Сане у Босни и Херцеговини (Сл. 1), који је био захваћен поплавама 2019. године.

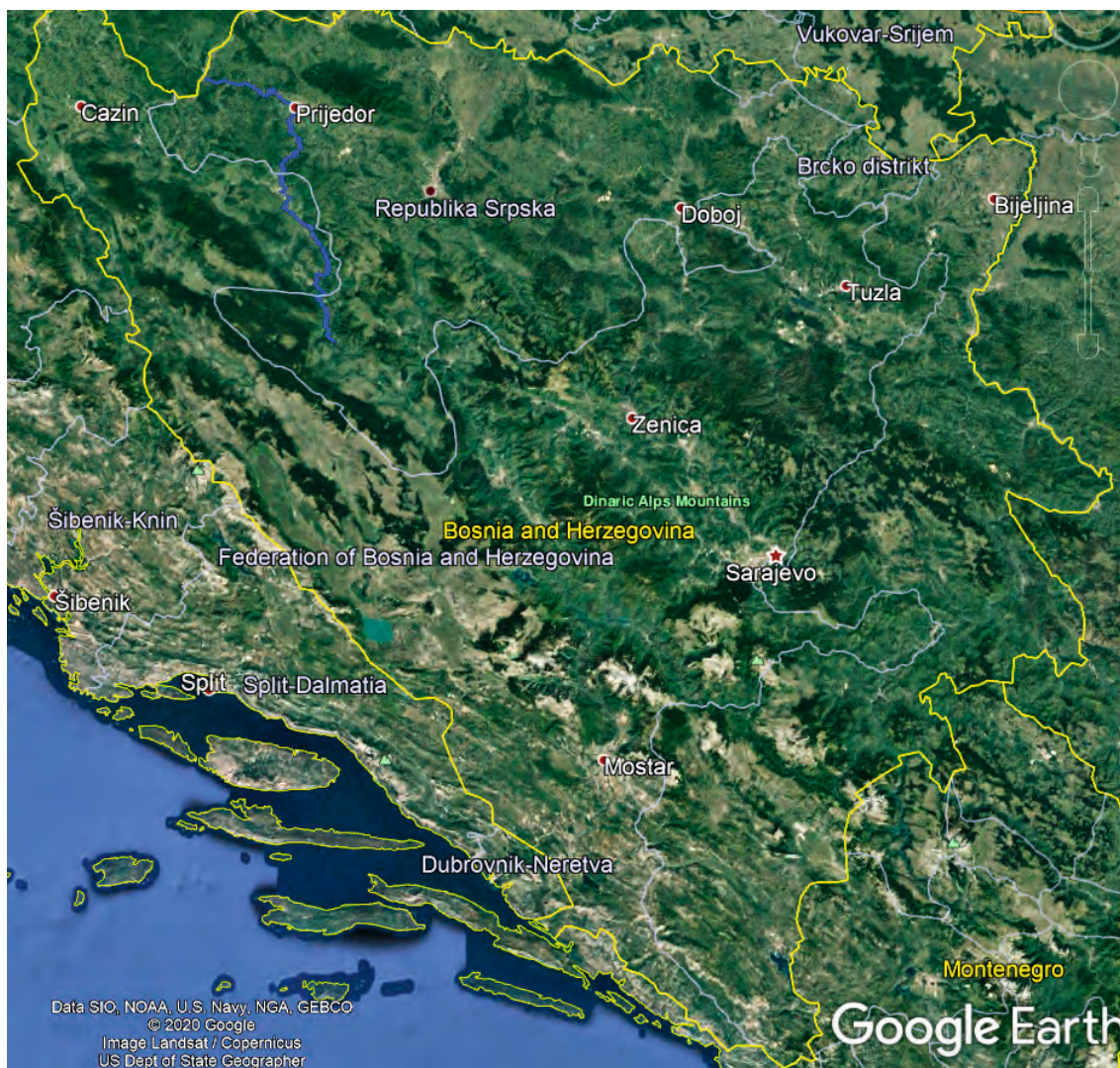
Сана је десна притока ријеке Уне и припада сливном подручју ријеке Саве. Ријека Сана

of postprocessing data. Its construction is based on the threshold value of the threshold, and on the basis of which water surfaces are separated in relation to other surfaces. Finally, the method of comparison is used to visually compare the results, which refer to the periods before, during and after the flood.

STUDY AREA

The study area of this paper is a part of the flow of the Sana River in Bosnia and Herzegovina (Fig. 1), which was affected by the 2019 floods.

The Sana is a right tributary of the Una River and belongs to the Sava River Basin. The Sana River originates from three strong karst springs



Сл. 1. Подручје тока ријеке Сане у Босни и Херцеговини

Fig. 1. The area of the Sana River in Bosnia and Herzegovina

настаје из три јака крашка извора која се налазе на граници општина Рибник и Мркоњић Град, односно између села Врбљани и Пецка. Дужина њеног тока је око 145 km, а у Новом Граду се улијева у ријеку Уну. Извориште је смјештено на 414 m надморске висине, а ушће на 122 m надморске висине. Подручје слива Сане обухвата сјеверо-западне крајеве Босне и Херцеговине са површином око 3470 km² (Temimović, 2007).

Према службеним подацима посљедње поплаве на подручју тока ријеке Сане у Босни и Херцеговини догодиле су се у мају 2019. године. Управо овај период узима се као тзв. „репер“ за провјеру валидности модела за обраду података, те у коначници сагледавања обима поплава из овог периода на датом подручју.

КОРИШЋЕНИ ПОДАЦИ

Основу сваког истраживања, анализе, процеса, примјене или развоја модела чине улазне информације односно улазни подаци. У сврху овог истраживања, односно примјене модела за обраду података, који у коначници има за циљ резултате у форми мапираних поплавлених подручја, као улазне информације, то јест улазни просторни подаци, користе се сателитски снимци.

Сателитски снимци преузети су са званичног сајта Коперникус програма, чији ослонац представља Европска свемирска агенција (доступно на <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Ријеч је о сателитским снимцима који су забиљежени од стране сателита који чине саставни дио Сентинел 1 мисије. Ова мисија састоји се од два сателита, ријеч је о радарским платформама које могу да биљеже снимке Земље, без обзира на временске услове и доба дана (Filipponi, 2019; Malenovský et al., 2011).

Захваљујући претходно наведеним карактеристикама, сателитски снимци добијени од стране ове мисије, представљају адекватне улазне просторне податке за сврху овог истраживања. За потребе истраживања преузети су сателитски снимци Сентинел 1 мисије, који су забиљежени током 3, 15. и 27. маја 2019. године.

Преузети сателитски снимак карактерише GRD (Ground Range Detected) тип просторног

located on the border of the municipalities of Ribnik and Mrkonjić Grad, i.e. between the villages of Vrbjani and Pecka. The length of its course is about 145 km, and in Novi Grad it flows into the river Una. The spring is located at 414 m above sea level, and the estuary at 122 m above sea level. The area of the Sana basin covers the north-western parts of Bosnia and Herzegovina with an area of about 3470 km² (Temimović, 2007).

According to official data, the last floods in the area of the Sana River in Bosnia and Herzegovina occurred in May 2019. It is this period that is taken as the so-called „benchmark“ for checking the validity of the data processing model, and ultimately considering the extent of floods from this period in the area.

DATA USED

The basis of any research, analysis, process, application or development of the model is the input information or input data. For the purpose of this research, i.e. the application of the data processing model, which ultimately aims at results in the form of mapped flooded areas, satellite images are used as input information, i.e. input spatial data.

The satellite images were taken from the official website of the Copernicus program, supported by the European Space Agency (available at <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). These are satellite images recorded by satellites that form an integral part of the Sentinel 1 mission. This mission consists of two satellites, radar platforms that can record images of the Earth, regardless of weather conditions and time of day (Filipponi, 2019; Malenovský et al., 2011).

Thanks to the aforementioned characteristics, the satellite images obtained by this mission represent adequate spatial input data for the purpose of this research. For the purposes of the research, satellite images of the Sentinel 1 mission were taken, which were recorded during 3, 15 and 27 May 2019.

The downloaded satellite image is characterized by the GRD (Ground Range Detected)

податка. GRD се састоји од SAR података који су детектовани и пројектовани на Земљу употребом Земљиног елипсоида. Поред GRD типа податка, преузети сателитски снимци забиљежени су са IW (Interferometric Wide swath) модом рада. Овај мод рада користи се за копнена подручја. Његова просторна резолуција износи 5×20 m, а ширина захвата износи 250 km.

type of spatial data. GRD consists of SAR data detected and projected onto the earth using the Earth's ellipsoid. In addition to the GRD data type, downloaded satellite images were recorded with IW (Interferometric Wide swath) mode. This mode is used for land areas. Its spatial resolution is 5×20 m, and the width of the project is 250 km.

МЕТОДЕ

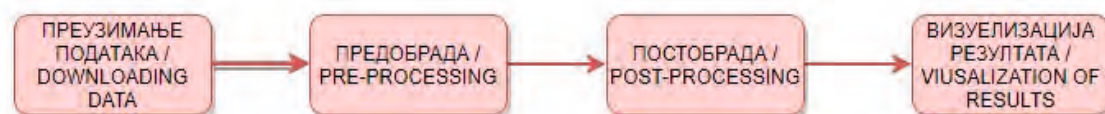
Модел за мапирање поплавних подручја развијен је и имплементиран у ESA SNAP софтверској апликацији. Софтвер је бесплатан и подржан је од стране Европске свемирске агенције. Циљ развоја овог софтвера је обезбјеђивање бесплатног алата за обраду просторних података (сателитских снимака) добијених од стране сателита (Foumelis et al., 2018).

Модел који је коришћен за мапирање поплавлених подручја у овом раду развијен је од стране Института за свемирска истраживања из Украјине и Serco Italia SPA у склопу RUS Copernicus пројекта (Serco Italia SPA, 2018; UN-SPIDER, n.d.). Развијени модел састоји се из више корака обраде, од којих су кључни: преузимање података у виду сателитских снимака, предобрада и постобрада података и визуелизација резултата. Према ауторима модела, кораци предобраде и постобраде састоје се из више мањих корака, а њихов преглед и опис ће бити дат у склопу овог наслова (Сл. 2).

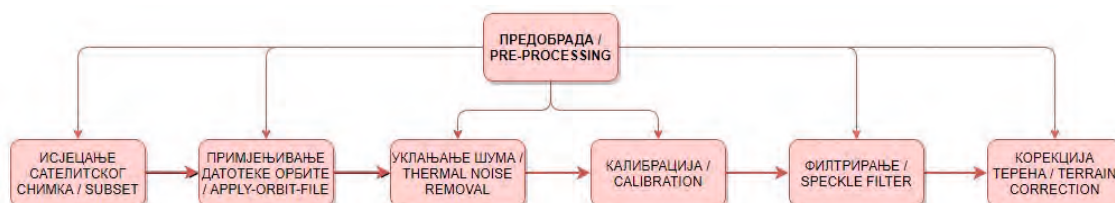
METHODS

The flood area mapping model was developed and implemented in the ESA SNAP software application. The software is free and is supported by the European Space Agency. The goal of developing this software is to provide a free tool for processing spatial data (satellite images) obtained by satellites (Foumelis et al., 2018).

The model used to map flooded areas in this paper was developed by the Space Research Institute of Ukraine and Serco Italia SPA as part of the RUS Copernicus project (Serco Italia SPA, 2018; UN-SPIDER, n.d.). The developed model consists of several processing steps, of which the key ones are: downloading data in the form of satellite images, preprocessing and postprocessing of data and visualization of results. According to the authors of the model, the preprocessing and postprocessing steps consist of several smaller steps, and their overview and description will be given under this title (Fig. 2).



Сл. 2. Алгоритам обраде сателитских снимака
Fig. 2. Satellite image processing algorithm



Сл. 3. Алгоритам предобраде сателитских снимака
Fig. 3. Satellite image preprocessing algorithm

Након преузимања снимака приступило се њиховој предобради. Предобрада даљински детектованих снимака у виду просторних података, односи се на оне поступке обраде који претходе главној анализи. У овом моделу за обраду података, предобрада обухвата неколико корака обраде. Сваки од корака извршава се по унапријед дефинисаном редослиједу за све сателитске снимке који представљају предмет анализе.

Предобрада у моделу за мапирање поплавлених подручја подразумева извршавање сљедећих корака у склопу обраде сателитских снимака (Сл. 3):

- исјецање сателитског снимка,
- примјењивање датотеке орбите,
- уклањање шума,
- калибрација,
- филтрирање и
- корекција терена.

Преузети сателитски снимци захтијевају велике количине рачунарских ресурса, те се из тог разлога у склопу предобrade врши њихово исијецање на подручје од интереса, које у овом случају представља ток ријеке Сане у Босни и Херцеговини.

Датотека орбите садржи релевантне географске информације које ће се примјенити на информације о пикселима. GNSS сателити прате положај и надморску висину сателита Сентинел 1 мисије, а ове информације се могу користити за постизање бољих резултата у погледу релативне јачине и положаја повратног сигнала који сателит прими. Услуга Коперникусовог прецизног одређивања орбите (POD) пружа прецизне датотеке орбите. Корак „Примјена датотеке орбите“ у ESA SNAP програму ће преузети ову датотеку и примјенити је на податке. Стандардна пракса је да се датотека орбите примјени као први корак у било којим методама предобrade података добијених са радарских платформи (Weiß, 2018).

Сателитски снимци који су преузети са радарске платформе садрже шум, који на овим снимцима представља енергију позадине, а која је генерисана сама од себе. Управо из овог разлога и потребе за добијањем квалитетних резултата обраде врши се уклањање поменутог шума.

After downloading data, their preprocessing was started. Preprocessing of remotely detected images in the form of spatial data refers to those processing procedures that precede the main analysis. In this data processing model, preprocessing involves several processing steps. Each of the steps is performed in a predefined order for all satellite images that are the subject of analysis.

Preprocessing in the model for mapping flooded areas involves performing the following steps as part of satellite image processing (Fig. 3):

- subset of a satellite image,
- applying orbit file,
- thermal noise removal,
- calibration,
- speckle-filtering and
- terrain correction.

The downloaded satellite images require large amounts of computer resources, and for this reason, as part of the preprocessing, they are cut into the area of interest, which in this case represents the flow of the Sana River in Bosnia and Herzegovina.

The orbit file contains the relevant geographic information that will be applied to the pixel information. GNSS satellites track the position and altitude of the Sentinel 1 mission satellite, and this information can be used to achieve better results in terms of the relative strength and position of the feedback signal that the satellite receives. The Copernicus Precise Orbit Determination (POD) service provides precise orbit files. The „Apply orbit file“ step in the ESA SNAP program will download this file and apply it to the data. It is standard practice to apply the orbit file as the first step in any data processing methods obtained from radar platforms (Weiß, 2018).

Satellite images taken from the radar platform contain noise, which in these images represents the energy of the background, and which is generated by itself. Precisely for this reason and the need to obtain quality processing results, the mentioned noise is being removed.

Радиометријска калибрација претвара радарску рефлективност, представљену „сировим“ бројевима сателитских података, у физичке јединице мјерене у децибелима (dB). Функција калибрације то ради помоћу логаритамске функције која стандардизује податке и нормализује дистрибуцију вриједности података, чинећи их лако читљивим рачунарима и ГИС софтверу. Ова функција не мијења податке, али повећава контраст у фреквенцијама хистограма, омогућавајући боље руковање подацима (Miranda & Meadows, 2015).

Филтрирање тачака (мрља) је корак који помаже уклањању наслијеђеног шума (алеторијских пиксела) из података радара. Постоји низ различитих алгоритама које овај алат може користити за то. У овом случају користи се Lee филтер, који представља ажурирану верзију добро познатог Lee процеса (Yommy et al., 2015).

Подаци у виду сателитских снимака налазе се у радарској геометрији, поред тога због варијације сцена и нагиба сензора сателита удаљености могу бити закривљене и у снимцима. Због ових чињеница, неопходно је да последњи корак у предобradi сателитског снимка буде корекција терена.

Постобрада даљински детектованих снимака односи се на оне поступке обраде који чине завршну фазу анализе. Опсег ових активности обухвата неколико корака који се извршавају након предобrade података.

Постобрада у моделу за мапирање поплавлених подручја подразумева извршавање следећих корака у склопу обраде сателитског снимка (Сл. 4):

- бинаризација,
- израда бинарне маске и
- филтрирање бинарне маске.

Radiometric calibration converts radar reflectivity, represented by „raw“ satellite data numbers, into physical units measured in decibels (dB). The calibration function does this by using a logarithmic function that standardizes the data and normalizes the distribution of data values, making them easy to read by computers and GIS software. This function does not change the data, but increases the contrast in the histogram frequencies, allowing better data handling (Miranda & Meadows, 2015).

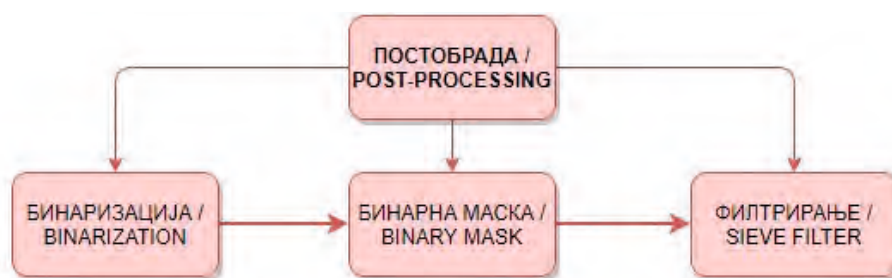
Speckle filtering is a step that helps remove inherited noise (allelic pixels) from radar data. There are a number of different algorithms that this tool can use for this. In this case, the Lee filter is used, which is an updated version of the well-known Lee process (Yommy et al., 2015).

Data in the form of satellite images are found in radar geometry, in addition, due to the variation of scenes and the tilt of the satellite sensors, distances can also be curved in the images. Due to these facts, it is necessary that the last step in the preprocessing of the satellite image is the correction of the terrain.

Postprocessing of remotely detected images refers to those processing procedures that make up the final phase of the analysis. The scope of these activities includes several steps that are performed after data processing.

Postprocessing in the model for mapping flooded areas involves performing the following steps as part of satellite image processing (Fig. 4):

- binarization,
- creating binary mask and
- sieve filtering of binary mask.



Сл. 4. Алгоритам постобrade сателитских снимака
Fig. 4. Satellite image postprocessing algorithm

Како би на сателитском снимку водене површине биле видљиве у односу на остале површине, неопходно је дефинисати одговарајући праг вриједности. Овај праг вриједности односи се на нумеричку вриједност пиксела на снимку, а која заправо представља атрибут растерског типа податка. Аутори модела (Serco Italia SPA, 2018; UN-SPIDER, n.d.) нумеричку вриједност прага добијају израчунавањем статистичких параметара унутар радног окружења ESA SNAP програма.

Израда бинарне маске врши се на основу претходно дефинисаног прага вриједности, а на основу кога се водене површине издвајају у односу на остале површине. У коначници креирање бинарне маске подразумева креирање новог растера у коме ће пиксели који се односе на водене површине имати једну вриједност, док ће пиксели који се односе на друге површине имати другу вриједност.

Методологија у којој се за потребе истраживања и идентификовања водених површина, користе одређени праг вриједности има себи својствен недостатак. Наиме, због одређених карактеристика као што су резолуција сателитског снимка или типа платформе сателитског снимка долази до извјесне погрешне класификације у склопу бинарне маске. Погрешна класификација односи се на то да одређене површине које нису водене, буду идентификоване као такве. Како би се овај недостатак у што већој мјери неутралисао, те коначни резултат био што квалитетнији, прибјегава се посљедњем кораку који се односи на филтрирање бинарне маске. Филтер који се користи за њено филтрирање односно „прочишћавање“ назива се Sieve (доступно на https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/processing_algs/gdalogr/gdal_analysis/sieve.html), а могуће га је употребити унутар радног окружења QGIS програма. Овај корак филтрирања, уједно представља и посљедњи корак у обради, те се након њега врши визуелизација добијених резултата у адекватном програму.

РЕЗУЛТАТИ

Описани поступак обраде просторних података, извршен је на претходно преузетим сателитским снимцима од 3, 15. и 27. маја 2019.

In order for water surfaces to be visible in relation to other surfaces on the satellite image, it is necessary to define an appropriate threshold value. This value threshold refers to the numeric value of the pixels in the image, which is actually an attribute of the raster data type. The authors of the model (Serco Italia SPA, 2018; UN-SPIDER, n.d.) obtain the numerical value of the threshold by calculating statistical parameters within the working environment of the ESA SNAP program.

The production of a binary mask is performed on the basis of a previously defined value threshold, and on the basis of when water surfaces are separated in relation to other surfaces. Ultimately, creating a binary mask involves creating a new raster in which pixels related to water surfaces will have one value, while pixels related to other surfaces will have another value.

The methodology in which a certain threshold value is used for the needs of research and identification of water surfaces has its own deficiency. Namely, due to certain characteristics such as the resolution of the satellite image or the type of the satellite image platform, a certain misclassification occurs within the binary mask. Misclassification refers to certain areas that are not water being identified as such. In order to neutralize this deficiency as much as possible, and the final result to be as high quality as possible, the last step related to filtering the binary mask is resorted to. The filter used to filter or „purify“ it is called Sieve (available at https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/processing_algs/gdalogr/gdal_analysis/sieve.html) and is possible used within the working environment of the QGIS program. This filtering step is also the last step in the processing, and after it the visualization of the obtained results in the adequate program is performed.

RESULTS

The described procedure of spatial data processing was performed on previously downloaded satellite images from 3, 15 and

године за подручје тока ријеке Сане у Босни и Херцеговини. Извршена је компарација резултата између временских периода који се односе на период прије поплава (3. мај), током поплава (15. мај) и након поплава (27. мај).

Сл. 5 са лијеве стране приказује резултате мапирања поплавлених подручја током 3. маја 2019. године. На основу визуелне интерпретације резултата, могуће је закључити да се у датом периоду нису догодиле поплаве. Иако је коначни резултат настао као производ претходно описане методологије обраде података, примјетан је извјестан број погрешно класификованих пиксела.

Сл. 5 у средини приказује резултате мапирања поплавлених подручја током 15. маја 2019. године. Према службеним подацима у овом временском периоду догодиле су се поплаве, те је дошло до излијевања из корита како ријеке Сане, тако и њених притока. Након примјене претходно описане методологије, те визуелизације резултата који је настао као производ примјене ове методологије, могуће је потврдити да су се у датом временском периоду догодиле поплаве на овом подручју. Овим резултатом потврђује се и валидност претходно креираног модела за обраду просторних података у виду сателитских снимака.

Сл. 5 са десне стране приказује резултате мапирања поплавлених подручја током 27. маја 2019. године. На основу визуелне интерпретације резултата, могуће је закључити да је у овом периоду дошло до стабилизације ситуације, те враћања ријеке Сане и њених притока у њихова корита, након поплава које су се догодиле 15. маја исте године. Иако је коначни резултат настао као производ претходно описане методологије обраде података, примјетан је извјес-

27 May 2019 for the area of the Sana River in Bosnia and Herzegovina. The results were compared between the time periods related to the periods before the flood (May 3), during the floods (May 15) and after the floods (May 27).

Fig. 5 on the left shows the results of mapping flooded areas during May 3, 2019. Based on the visual interpretation of the results, it is possible to conclude that no floods occurred in the given period. Although the final result was the product of the previously described data processing methodology, a number of misclassified pixels are noticeable.

Fig. 5 in the middle shows the results of mapping flooded areas during May 15, 2019. According to official data, floods occurred during this time period, and the Sana River and its tributaries overflowed its banks. After the application of the previously described methodology, and the visualization of the results that emerged as a product of the application of this methodology, it is possible to confirm that floods occurred in this area in a given period of time. This result also confirms the validity of the previously created model for processing spatial data in the form of satellite images.

Fig. 5 on the right shows the results of mapping flooded areas during May 27, 2019. Based on the visual interpretation of the results, it is possible to conclude that in this period there was a stabilization of the situation, and the return of the Sana River and its tributaries to their beds, after the floods that occurred on May 15 of the same year. Although the final result was created as a product of the previously described data processing methodology, a number of incorrect-



Сл. 5. Мапирање водених површина ријеке Сане на основу сателитских снимака од 3. маја (лијево), 15. маја (у средини) и 27. маја (десно) 2019. године

Fig. 5. Mapping of Sana River water surfaces based on satellite images from May 3 (left), May 15 (middle) and May 27 (right) 2019

тан број погрешно класификованих пиксела, који се у датом резултату могу занемарити.

ly classified pixels are noticeable, which can be ignored in the given result.

ДИСКУСИЈА

Валидација примјењеног модела извршена је компарацијом подручја за које је вршено мапирање поплава и подручја на коме се налази већа водена површина, а која је била у датом временском периоду без поплава. Компарација је извршена за исте временске периоде, односно 3, 15. и 27. мај 2019. године. Анализиран је дио тока ријеке Саве који је визуелно квалитетно интерпретиран на Google сателитским снимцима, како би се могла утврдити тачност класификације. Провјера тачности класификације извршена је преклапањем добијених резултата са Google сателитском подлогом. Након извршене класификације за контролно подручје, те преклапања добијених резултата са сателитском подлогом, утврђено је да се добијени резултати у потпуности преклапају са верификационом воденом површином, из чега се може закључити да је примјењени модел валидан (Сл. 6).

ЗАКЉУЧАК

Савремене информационе технологије као што су географски информациони системи, даљинска детекција и слично, дају могућност веома брзог и квалитетног дјеловања у погледу спречавања природних катастрофа, као што су поплаве. Помоћу ових технологија могуће је правовремено и адекватно управљати са просторним информацијама то јест подацима.

Представљени модел за мапирање поплавлених подручја поред научног има и свој

DISCUSSION

Validation of the applied model was performed by comparing the areas for which flood mapping was performed and the areas where there is a larger water surface, which was floodless in a given period of time. The comparison was performed for the same time periods, i.e. May 3, 15 and 27, 2019. A part of the flow of the Sava River, which was visually well interpreted on Google satellite images, was analyzed in order to determine the accuracy of the classification. The accuracy of the classification was checked by overlapping the obtained results with Google satellite. After the classification for the control area, and the overlap of the obtained results with the satellite substrate, it was determined that the obtained results completely overlap with the verification water surface, from which it can be concluded that the applied model is valid (Fig. 6).

CONCLUSION

Modern information technologies, such as geographic information systems, remote sensing, etc., provide the possibility of very fast and high-quality action in terms of preventing natural disasters, such as floods. With the help of these technologies, it is possible to manage spatial information, i.e. data, in a timely and adequate manner.

The presented model for mapping flooded areas, in addition to the scientific one, also has its



Сл. 6. Мапирање водених површина ријеке Саве на основу сателитских снимка од 3. маја (лијево), 15. маја (у средини) и 27. маја (десно) 2019. године

Fig. 6. Mapping of Sava River water surfaces based on satellite images from May 3 (left), May 15 (middle) and May 27 (right) 2019

апликативни карактер. Модел и дефинисани алгоритам омогућавају обраду просторних података у виду сателитских снимака за било које подручје и временски период.

Модел који се односи на мапирање поплавлених подручја, нуди веома брзо и квалитетно сагледавање штета са терена, те може помоћи надлежним органима да правовремено дјелују у простору и времену како би се избјегле катастрофе већих размјера.

applicative character. The model and the defined algorithm enable the processing of spatial data in the form of satellite images for any area and time period.

The model related to the mapping of flooded areas offers a very fast and high-quality assessment of damage from the field, and can help the competent authorities to act in a timely manner in space and time in order to avoid large-scale disasters.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Arseni, M., Rosu, A., Bocaneala, C., Constantin, D-E., & Georgescu, L. P. (2017). Flood Hazard Monitoring Using GIS and Remote Sensing Observations. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 12(2), 329–334.
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings*, 18(1), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06201>
- Foumelis, M., Blasco, J. M. D., Desnos, Y-L., Engdahl, M., Fernández, D., Veci, L., Lu, J., & Wong, C. (2018). Esa Snap – StaMPS Integrated processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry. In J. Moreno (Ed.), *2018 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium Proceedings: Observing, Understanding and Forecasting the Dynamics of Our Planet* (pp. 1364–1376). IEEE Xplore. <http://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8519545>
- Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., & Rahmatullah, J. (2012). Techniques of Remote Sensing and GIS for Flood Monitoring and Damage Assessment: A Case Study of Sindh Province, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2012.07.002>
- Huang, X., Wang, C., & Li, Z. (2018). A Near Real-Time Flood-Mapping Approach by Integrating Social Media and Post-Event Satellite Imagery. *Annals of GIS*, 24(2), 113–123. <http://doi.org/10.1080/19475683.2018.1450787>
- Malenovský, Z., Rott, H., Cihlar, J., Schaepman, M., Garcia-Santos, G., Fernandes, R., & Berger, M. (2012). Sentinels for Science: Potential of Sentinel-1, -2, and -3 Missions for Scientific Observations of Ocean, Cryosphere, and Land. *Remote Sensing of Environment*, 120, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.026>
- Miranda, N., & Meadows, P. J. (2015). *Radiometric Calibration of S-1 Level-1 Products Generated by the S-1 IPF*. European Space Agency.
- Serco Italia SPA. (2018). *Flood Monitoring with Sentinel-1 Using S-1 Toolbox – January 2015, Malawi* (Version 1.2). Research and User Support for Sentinel Core Products. https://rus-copernicus.eu/portal/wp-content/uploads/library/education/training/HAZA01_FloodMapping_Malawi_Tutorial.pdf
- Temimović, E. (2007). Sana River Drainage Area – Population, Use and Water Protection. *Geoadria*, 12(1), 23–45. <https://doi.org/10.15291/geoadria.114>
- UN-SPIDER. (n.d.). *Recommended Practice: Radar-based Flood Mapping*. <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-flood-mapping>
- Weiβ, T. (2018). *SAR-Pre-Processing Documentation*. https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/multiply-sar-pre-processing/get_to_version_0.4/multiply-sar-pre-processing.pdf
- Yommy, A. S., Liu, R., & Wu, A. S. (2015). SAR Image Despeckling Using Refined Lee Filter. In Y. Tang (Ed.), *7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics* (pp. 260–265). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2015.236>