

## ПРОСТОРНА И ВРЕМЕНСКА ДИСТРИБУЦИЈА ПОЖАРА ОТВОРЕНОГ ПРОСТОРА НА ТЕРИТОРИЈИ ГРАДА БАЊА ЛУКА

Марко Иванишевић<sup>1\*</sup>, Татјана Попов<sup>1</sup>, Горан Трбић<sup>1</sup>, Слободан Гњато<sup>1</sup> и Саша Љубојевић<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, БиХ

<sup>2</sup>Јавно предузеће шумарства „Шуме Републике Српске“ а.д. Соколац, Соколац, Република Српска, БиХ

**Сажетак:** Пожари на отвореном простору настају као резултат комплексне интеракције између абиотичких и биотичких фактора, док се антропогени фактор може посматрати као њихов главни узрочник. Овај рад има за циљ да идентификује и анализира просторне и временске обрасце појављивања пожара отвореног простора на територији Града Бања Лука у периоду 2017–2021. године. Да би се добила јаснија слика о наведеним обрасцима, подаци о пожарима отвореног простора прикупљени су из два различита извора. Први сет података односи се на службене евиденције Професионалне територијалне ватрогасно-спасилачке јединице, док је други сет података добијен интерпретацијом сателитских снимака високе временске и просторне резолуције. Са временског аспекта, утврђено је да пожарна сезона траје од марта до октобра и да су пожари најчешћи у првом пожарном периоду који се односи на март и април, те другом пожарном периоду који се односи на јул и август. У посматраном периоду, на основу продуката даљинске детекције, идентификовано је укупно 1036 опожарених површина, које су у просјеку биле око 1.5 хектара у марту и априлу односно 0.3 хектара у осталим мјесецима. Насељена мјеста са највећим бројем пожара су Кола, Вилуси, Рекавице и Добрња у југозападном дијелу, односно насељена мјеста Поткозарје и Пискавица у сјеверозападном дијелу посматраног подручја. Резултати истраживања могу бити од користи приликом израде планова који третирају проблематику заштите од пожара и заштите животне средине, а могу бити и полазна основа за даља детаљнија истраживања пожара отвореног простора.

**Кључне ријечи:** пожари отвореног простора, даљинска детекција, Град Бања Лука.

Original scientific paper

## SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF FIRES IN OPEN SPACE WITHIN THE CITY OF BANJA LUKA TERRITORY

Marko Ivanišević<sup>1\*</sup>, Tatjana Popov<sup>1</sup>, Goran Trbić<sup>1</sup>, Slobodan Gnjato<sup>1</sup> and Saša Ljubojević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Banja Luka, Republic of Srpska, B&H

<sup>2</sup>Public Forest Enterprise “Forests of the Republic of Srpska” a.d. Sokolac, Sokolac, Republic of Srpska, B&H

**Abstract:** Fires in open space occur as a result of complex interactions between abiotic and biotic factors, while anthropogenic factors can be seen as their main cause. The aim of this paper is to identify and analyze spatial and temporal patterns of fires in open space occurrences within the territory of the City of Banja Luka during the period 2017–2021. To gain a clearer understanding of these patterns, data on fires were collected from two different sources. The first dataset pertains to official records of the Professional Territorial Fire and Rescue Unit, while the second dataset was obtained through the interpretation of satellite imagery with high temporal and spatial resolution. From a temporal perspective, it was determined that the fire season lasts from March to October, with fires being most frequent in the first fire period encompassing March and April, as well as the second fire period covering July and August. During the observed period, a total of 1036 burned areas were identified based on remote sensing products, averaging around 1.5 hectares in March and April, and 0.3 hectares in other months. Settlements with the highest number of fires include Kola, Vilusi, Rekavice, and Dobrnja in the southwest, and settlements Potkozarje and Piskavica in the northwest of the study area. The research findings can be useful in the development of plans addressing the fire protection and environmental preservation, and also can serve as a foundation for further in-depth research into fires in open space.

**Keywords:** fires in open space, remote sensing, City of Banja Luka.

\* Аутор за кореспонденцију: Марко Иванишевић, Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска, Босна И Херцеговина, Е-маил: marko.ivanisevic@pmf.unibl.org  
Corresponding author: Marko Ivanišević, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina, E-mail: marko.ivanisevic@pmf.unibl.org

## УВОД

Пожари могу бити често опасни по живот, здравље и имовину људи, али и по безбједност локалне заједнице, као и државе. Поред тога, пожари на отвореном простору су кључан деградирajuћи фактор екосистема (Barčić et al., 2020). Такође, пожари су један од главних извора емисија угљеника из копненог дијела биосфере у атмосферу (Ward et al., 2018). С обзиром на то да пожари у савременом свијету представљају једну од значајнијих опасности, намеће се потреба за комплексним, свеобухватним и мултидисциплинарним приступом истраживања наведене појаве.

Под термином пожари на отвореном простору, у овом раду, подразумевају се сви пожари који захватају шуме, макије, жбуње, ниско растиње, траву, тресетишта и депоније чврстог отпада. Ahn et al. (2014) наводе да пожари на отвореном простору настају као резултат комплексних интеракција између биотичких фактора (тип вегетације, старост и састав састојине) и абиотичких фактора (вјетар и дефицит засићености ваздуха влагом) на неком простору. Са друге стране, Flannigan et al. (2005) истичу важност антропогеног фактора као узрочника шумских пожара. Према наводима више аутора, пожари на отвореном простору најчешће су иницирани антропогеним фактором (Алексић & Јанчић, 2011; Драгићевић & Филиповић, 2009; Keller & DeVecchio, 2019; Flannigan et al., 2005). Постоји велики број антропогених узрока пожара, а неки од њих су: шумски пожари изазвани услед квара на електричним водовима, пожари изазвани искрама са кочница возова или падом електричних водова, пожари изазвани испуштањем ужарених честица односно искри са возила у друмском саобраћају, пожари изазвани искрама са мотора и машина у шумарству и пољопривреди, пожари изазвани употребом оружја и пиротехничких средстава, пожари изазвани спаљивањем корова и растиња на пољопривредним површинама, пожари узроковани паљењем отпада на службеним или дивљим депонијама, ненамјерно изазвани пожари ужареним предметима као што су на примјер цигарете или врући пепео из домаћинства.

## INTRODUCTION

Fires can often pose a significant threat to human life, health, property, as well as the safety of local communities and even entire nations. Moreover, fires in open space are crucial factor in ecosystem degradation (Barčić et al., 2020). Additionally, fires constitute one of the main sources of carbon emissions from the terrestrial biosphere into the atmosphere (Ward et al., 2018). Given that fires in the contemporary world pose significant hazards, there is a pressing requirement for a comprehensive and multidisciplinary approach to studying this phenomenon.

Under the term fires in open space, in this paper, we encompass all fires that involve forests, shrublands, grasslands, peatlands, and solid waste disposal sites. Ahn et al. (2014) state that fires in open space arise as a result of complex interactions between biotic factors (vegetation type, age and composition of the stands) and abiotic factors (wind and air moisture deficit) within a certain area. On the other hand, Flannigan et al. (2005) emphasizes the significance of anthropogenic factors as the cause of forest fires. According to several authors, fires in open space are most frequently initiated by anthropogenic factors (Алексић & Јанчић, 2011; Драгићевић & Филиповић, 2009; Keller & DeVecchio, 2019; Flannigan et al., 2005). A multitude of anthropogenic causes for fires exist, and some of them include: forest fires caused by faults in electrical power lines, fires caused by sparks from train brakes or the fall of electrical wires, fires caused by the emission of hot particles or sparks from vehicles in road traffic, fires caused by sparks from engines and machinery in forestry and agriculture, fires caused by the use of firearms and pyrotechnic devices, fires caused by burning weeds and vegetation on agricultural land, fires caused by the burning of waste at official or unauthorized waste disposal sites, unintentionally ignited fires by hot objects such as cigarettes or hot ashes from households.

Без обзира на узрок пожара на отвореном простору, може се рећи да се они дешавају на скоро свим географским просторима у одређеним периодима године. Последњих деценија осим што је евидентан пораст броја пожара на отвореном простору, уочава се и повећање деструктивности тих пожара (Abatzoglou et al., 2019; Jolly et al., 2015; Cvetković & Dragičević, 2014). Према бројним истраживањима, тренд повећања броја и јачине пожара наставиће да се повећава до краја вијека (Amatulli et al., 2013; Bedia et al., 2014; Dupuy et al., 2020; Flannigan et al., 2009, 2013).

У периоду наглашене климатске варијабилности, разумијевање прошлих и предвиђање будућих пожара је изазов за науку која треба да развије и имплементира рјешења која ће бити одржива када је у питању управљање пожарима и креирање релевантних политика које ће утицати на њихово смањење (Lukić et al., 2017). Међутим, како наводе Girardin et al. (2013), биће веома тешко предвидјети будуће пожаре због комплексности фактора који на њих утичу, али и због непостојаности просторно-временских образаца који су последица непредвидљивих климатских колебања.

Нека спроведена истраживања и аутори указују на подударност највећег броја пожара на отвореном простору са периодима које одликују високе температуре ваздуха и смањени садржај влаге у земљишту, ваздуху и горивом материјалу (Дуцић et al., 2007; Живановић, 2015; Живановић et al., 2015; Živanović, 2017; Радовановић & Гомес, 2008; Тошић et al., 2019; Ćurić & Živanović, 2013).

Постоји више чинилаца који повећавају осјетљивост одређеног простора на пожаре. Како је наведено у извјештају Заједничког истраживачког центра Европске комисије (JRC, 2008) неки од чинилаца су стално присутни, док се други јављају повремено или периодично, када стварају услове за велику осјетљивост на појаву пожара, чија је последица најчешће пожар већих размјера. У зависности од врсте стијена које преовлађују на одређеном подручју, може се ограничити и степен угрожености пожаром. Тако је геолошка подлога фактор који условљава водни режим, термичке особине и

Regardless of the cause of fires in open space, it can be said that they occur in almost all geographical areas during certain periods of the year. In the past few decades, in addition to the evident increase in the number of fires in open space, there has been an observed rise in the destructiveness of these fires (Abatzoglou et al., 2019; Jolly et al., 2015; Cvetković & Dragičević, 2014). According to numerous studies, the trend of increasing number and intensity of fires is expected to continue until the end of the century (Amatulli et al., 2013; Bedia et al., 2014; Dupuy et al., 2020; Flannigan et al., 2009, 2013).

In a period of pronounced climate variability, understanding past and predicting future fires poses a challenge for science, which needs to develop and implement solutions that will be sustainable when it comes to fire management and the creation of relevant policies to mitigate their impact (Lukić et al., 2017). However, as noted by Girardin et al. (2013) predicting future fires will be very difficult due to the complexity of influencing factors and the uncertainty of spatial-temporal patterns, which are a consequence of unpredictable climate fluctuations.

Certain studies and authors point to the coincidence of the highest number of fires in open space with periods characterized by high air temperatures and reduced moisture content in the soil, air, and fuel material (Дуцић et al., 2007; Живановић, 2015; Живановић et al., 2015; Živanović, 2017; Радовановић & Гомес, 2008; Тошић et al., 2019; Ćurić & Živanović, 2013).

There are multiple factors that increase the susceptibility of specific areas to fires. As stated in the report by the Joint Research Centre of the European Commission (JRC, 2008), some of these factors are constantly present, while others occur periodically, creating conditions for a high sensitivity to fire occurrence, often resulting in larger-scale fires. Depending on the predominant rock type in a specific area, the degree of fire vulnerability can be limited. The geological substrate is a factor that determines the water regime, thermal characteristics, and vegetation

тип вегетације одређеног простора (Španjol et al., 2008). На примјер, велика опасност од настанка пожара јавља се на кречњачким теренима, због брзог понирања воде и немогућности задржавања влаге у површинским дијеловима земљишта (Aleksić et al., 2009). Педолошки услови у највећој мјери утичу посредно на настанак и ширење пожара, и то преко вегетације. Плитка земљишта богата шумском стелњом, сува станишта, као и пјесковита земљишта брже се и више загријавају, па се травна вегетација за вријеме и најмањих суша брзо осуши и постаје јако запаљива. Влажност земљишта директно утиче на влажност горивог материјала. Површински слој земљишта се током љетних мјесеци, када је већа количина воде која испарава од примљене количине падавина, лако загријава. Угроженост терена пожаром зависи и од особина рељефа: хипсометрије, вертикалне и хоризонталне рашчлањености, нагиба терена и експозиције. Са повећањем надморске висине мијења се састав подлоге и смањује се просјечна температура ваздуха. На промјену врсте вегетације утиче и једно и друго, као и врсте заступљености горивог материјала. Идући ка вишим вегетацијским појасевима примјећује се све сиромашнији биљни свијет, нижег раста и мање продуктивности. Шумске појасеве лишћара и четинара постепено замјењује сувља планинска вегетација, чије се растиње брже пали. Нагиб топографске површине такође утиче на ширење пожара (Aleksić et al., 2009; Zhong et al., 2000; Keller & DeVecchio, 2019; Pichler, 2008). Гориви материјал на отвореном простору чини травната, жбунаста и дрвенаста вегетација. Шуму, као категорију земљишног покривача са највишим потенцијалом горења, сачињавају различите врсте шумског дрвећа које се могу сврстати у двије главне групе: лишћарске и четинарске шуме. Између ове двије групе постоји велика разлика у погледу осјетљивости на паљење и горење, али разлика постоји и између различитих врста у истој групи дрвећа. Генерално посматрано, четинарско дрвеће је знатно осјетљивије на паљење и горење од листопадног, пошто у себи садржи више лакозапаљивих и брзосагоривих материја, као што су смоле и етерична уља (Aleksić et al., 2009; Pichler, 2008).

type of a given area (Španjol et al., 2008). For instance, a significant fire hazard occurs on limestone terrains due to rapid water infiltration and the inability to retain moisture in the surface layers of the soil (Aleksić et al., 2009). Pedological conditions significantly influence the occurrence and spread of fires, primarily through vegetation. Shallow soils rich in forest litter, dry habitats, and sandy soils heat up more quickly and intensely, causing grass vegetation to dry out rapidly and become highly flammable even during minor droughts. Soil moisture directly affects the moisture content of fuel material. The surface layer of soil easily heats up during summer months when more water evaporates from the received precipitation. The fire susceptibility of an area also depends on the characteristics of the terrain: hypsometry, vertical and horizontal fragmentation, terrain slope, and exposure. With increasing elevation, the composition of the substrate changes, and the average air temperature decreases. Both of these factors lead to changes in vegetation types and fuel material. As one moves towards higher vegetation zones, the plant world becomes increasingly impoverished, with shorter growth and lower productivity. Forest zones dominated by deciduous and coniferous trees gradually give way to dry mountain vegetation, which ignites more readily. The slope of the topographic surface also influences the spread of fires (Aleksić et al., 2009; Zhong et al., 2000; Keller & DeVecchio, 2019; Pichler, 2008). Fuel material in open spaces consists of grassy, shrubby, and woody vegetation. Forest, as a land cover category with the highest burning potential, comprises various types of trees that can be grouped into two main categories: deciduous and coniferous forests. There is a substantial difference in terms of ignitability and combustibility between these two groups, as well as between different species within the same group of trees. Generally, coniferous trees are considerably more susceptible to ignition and burning than deciduous trees, as they contain more easily ignitable and fast-burning materials such as resins and essential oils (Aleksić et al., 2009; Pichler, 2008).



Појава пожара на отвореном простору зависи прије свега од временских прилика и стања влажности горивог материјала (биљног свијета). Према Vasić (1983), пожари се могу јавити током цијеле године, али се издвајају три критична периода. Први период почиње почетком прољећа (период март–средина априла, мада се може десити да у години са мало падавина овај период почне и раније). Тада је присутна велика количина сувог биљног материјала, а врши се и сезонско чишћење пољопривредних парцела у близини шуме паљењем корова, при чему ватра ношена вјетром може лако да пређе у шуму. Други период односи се на љето (од средине јула па до краја августа, али тај период може почети знатно раније, још почетком јуна). У том периоду повећана је опасност од присуства људи који посјећују шуме (туристи, излетници и сл.) и отворене просторе. Трећи период почиње у јесен (у септембру, до средине октобра). Тада је велика количина материјала подложна лакој паљењу услед претходно сушног периода. Треба нагласити да много више пожара избија дању него ноћу, и то у периоду од 10 до 18 часова, што се везује за дневну активност човјека (Aleksić et al., 2009; Драгићевић & Филиповић, 2009).

Иако су пожари на отвореном простору честа појава на територији Града Бања Лука, која узрокује одређене материјалне и друге штете, може се рећи да су недовољно изучени и документовани. Главни циљ овог рада је идентификација и анализа просторних и временских образаца пожара отвореног простора на територији Града Бања Лука у периоду од 2017–2021. године. Подаци о пожарима из званичних евиденција који не обухватају све пожаре на посматраном подручју, допуњени су са подацима који су добијени визуелном интерпретацијом сателитских снимака високе резолуције. Да би анализа била комплетнија, подаци о пожарима укрупњени су са подлогама о земљишном покривачу, а све у сврху добијања детаљније слике о локацијама на којима се пожари чешће догађају. Такође, идентификована су насељена мјеста у којима се пожари отвореног простора најчешће догађају. Резултати истраживања могу да буду полазна тачка будућим истраживањима ове

The occurrence of fires in open space primarily depends on weather conditions and the moisture state of fuel material (vegetation). According to Vasić (1983), fires can occur throughout the year, but three critical periods are distinguished. The first period starts in early spring (from March to mid-April, although in years with low precipitation, this period can start earlier). During this time, a significant amount of dry plant material is present, and seasonal cleaning of agricultural plots near forests often involves burning weeds. Wind-carried fire can easily spread into the forest during this period. The second period corresponds to summer (from mid-July to the end of August, but it can start much earlier, even in early June). During this period, there's an increased risk due to the presence of people visiting forests (tourists, hikers, etc.) and open spaces. The third period begins in autumn (September to mid-October). In this period, a significant amount of easily ignitable material accumulates after a preceding dry period. It's important to note that far more fires occur during the daytime than at night, particularly between 10 AM and 6 PM, which is linked to human daily activity (Aleksić et al., 2009; Драгићевић & Филиповић, 2009).

Although fires in open space are a common hazard within the territory of Banja Luka, leading to specific material and other damages, it can be said that they are insufficiently studied and documented. The main goal of this study is the identification and analysis of spatial and temporal patterns of fires in open space within the territory of Banja Luka during the period 2017–2021. Data on fires from official records, which do not encompass all fires in the observed area, have been supplemented with data obtained through visual interpretation of high-resolution satellite images. To make the analysis more comprehensive, fire data have been cross-referenced with land cover datasets, all in the effort to obtain a more detailed picture of the locations where fires more frequently occur. Additionally, settlements where fires in open space are most commonly occur have been identified. The research results

проблематике, али и да послуже приликом процеса израде плана заштите од пожара и других сличних докумената.

## ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА

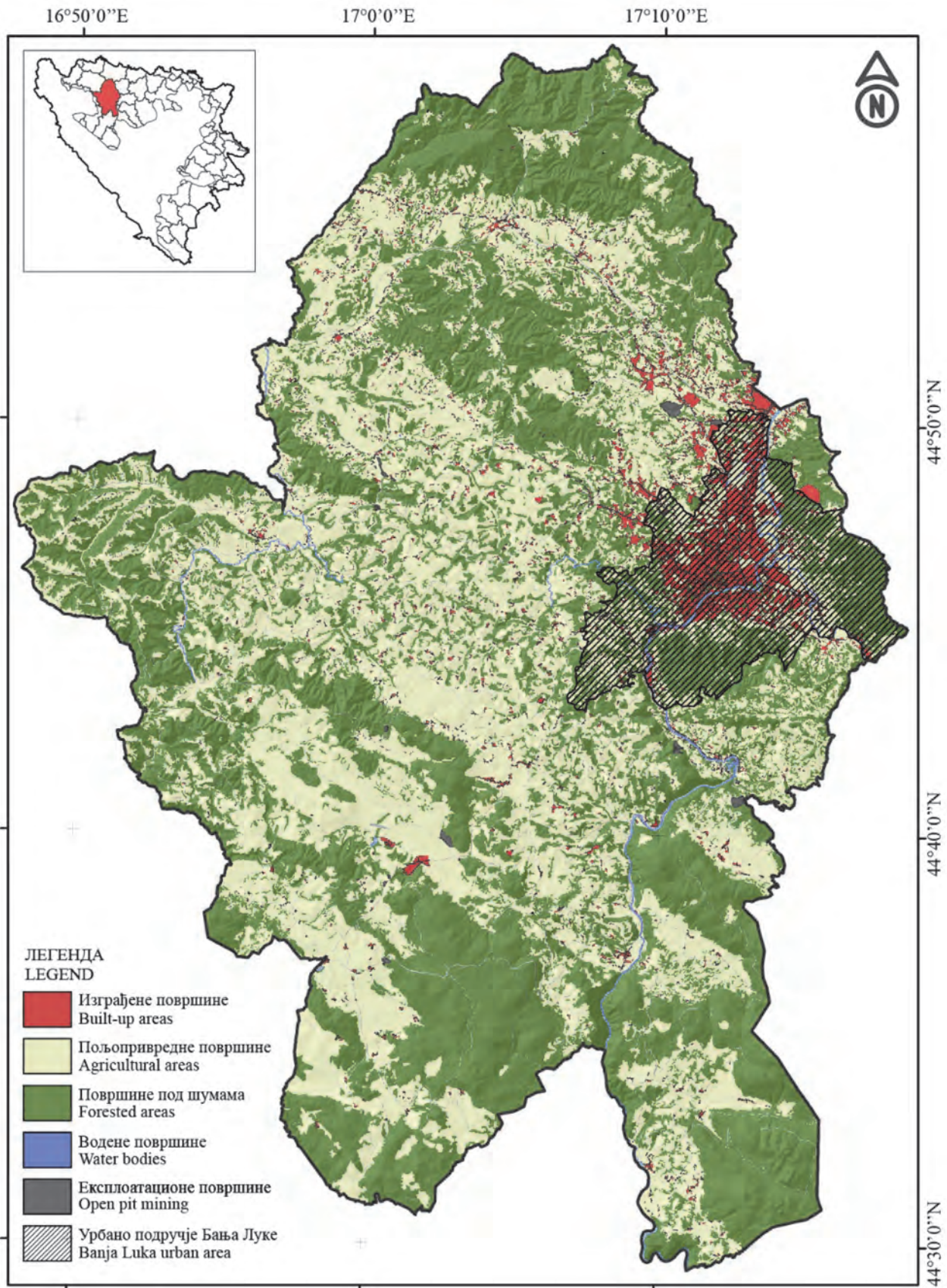
Град Бања Лука налази се у сјеверозападном дијелу Републике Српске (Босне и Херцеговине). Са просторног аспекта, град Бања Лука простире се на 1239 km<sup>2</sup> (Републички завод за статистику Републике Српске, 2021) и територијално је највећа јединица локалне самоуправе у Републици Српској, односно Босни и Херцеговини (Сл. 1). Јединицу локалне самоуправе сачињавају 54 насељена мјеста. Планиметријски облик посматраног простора представља правоугаоник издужен у правцу сјевер-југ, при чему је максимална удаљеност граничних тачака у правцу сјевер-југ 55 километара, а на правцу исток-запад 40 километара. У геоморфолошком смислу, посматрани простор налази се на прелазу од динарске планинске области ка панонско-равничарској области, односно терен се степенасто спушта ка сјеверу. На крајњем југу налази се зона планина која према сјеверу прелази у зону побрђа да би на крајњем сјевероисточном дијелу прешла у равничарску зону. Надморска висина посматраног подручја варира од 170 до 1314 метара надморске висине. Хидролошка мрежа је развијенија у сјеверном дијелу посматраног подручја, а најважнији стални водоток на посматраном подручју је ријека Врбас. Већи дио посматраног подручја има умјереноконтиненталну климу са преовлађујућим утицајима панонског простора. У структури земљишног покривача доминирају шуме и шумско земљиште које заузима 47 % територије, док на пољопривредно земљиште отпада 38 % површине (Пројект а.д. & Институт за грађевинарство „ИГ“, 2014). Урбано подручје града заузима периферну позицију у сјевероисточном дијелу јединице локалне самоуправе и представљено је границама насељеног мјеста Бања Лука. Због специфичности феномена пожара на отвореном простору, из анализе је искључен простор урбаног подручја града, који обухвата површину од 102.7 km<sup>2</sup>.

can serve as a starting point for future researches and contribute to the process of creating fire protection plans and similar documents.

## STUDY AREA

The City of Banja Luka is located in the northwestern part of the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina). From a spatial perspective, the City of Banja Luka covers an area of 1239 km<sup>2</sup> (Републички завод за статистику Републике Српске, 2021) and is territorially the largest unit of local self-government in the Republic of Srpska and Bosnia and Herzegovina (Fig. 1). This unit of local self-government comprises 54 settlements. The planimetric shape of the observed area is rectangular, elongated in the north-south direction, with a maximum distance between the boundary points of 55 kilometers in the north-south direction and 40 kilometers in the east-west direction. Geomorphologically, the observed area is situated at the transition from the Dinaric mountain region to the Pannonian flatland region, with the terrain sloping gradually towards the north. In the far south, there is a mountainous zone that transitions to the foothill zone towards the north and further to the northeastern part, it transforms into a flatland zone. The elevation of the observed area varies from 170 to 1314 meters above sea level. The hydrological network is more developed in the northern part of the observed area, and the most significant permanent watercourse in the observed area is the Vrbas River. The majority of the observed area has a moderate continental climate with predominant influences from the Pannonian region. In terms of land cover structure, forests and forest land dominate, covering 47 % of the territory, while agricultural land accounts for 38 % of the area (Пројект а.д. & Институт за грађевинарство „ИГ“, 2014). The urban area of the city occupies a peripheral position in the northeastern part of the unit of local self-government and is delineated by the boundaries of the settlement of Banja Luka. Due to the specific nature of open-space fire phenomena, the analysis excluded the urban area of the city, which encompasses an area of 102.7 km<sup>2</sup>.





Сл. 1. Територија Града Бања Лука  
Fig. 1. Territory of the City of Banja Luka

## МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

### Подаци о земљишном покривачу и дигиталном моделу терена

Због недостатка подлога са адекватном размјером, за потребе овог рада приступило се изради карте земљишног покривача за територију Града Бања Лука. Као базни слојеви коришћени су дигитални ортофото снимци у размјери 1:5000. Идентификација и делимитација класа земљишног покривача вршена је методом визуелне интерпретације. Укупно је дигитализовано 12170 полигона који су разврстани у следеће класе: изграђене површине, пољопривредне површине, површине под шумама, водене површине и површине на којима се врши површинска експлоатација сировина. Дигитализација полигона вршена је у софтверском пакету QGIS (верзија 3.16.3). Дигитални модел терена урађен је на основу топографских карата размјере 1:25000. На 18 листова топографских карата дигитализоване су изохипсе на основу којих се касније урадио 20 метарски дигитални модел терена у растерском формату. Израда дигиталног модела терена такође је вршена у софтверском пакету QGIS.

### Подаци о пожарима из званичних евиденција

Подаци о пожарима отвореног простора прикупљени су из званичних евиденција које води Професионална територијална ватрогасно-спасилачка јединица Бања Лука (ПТВЈ). Званични подаци тренутно нису у дигиталном формату па се за потребе овог рада приступило њиховој дигитализацији и учитавању у ГИС окружење. У посебно креирану ГИС базу података, учитане су укупно 792 локације на којима се десио пожар. Подаци су обрађени за све мјесеце у периоду 2017–2021. године. Приликом изласка на интервенцију ватрогасци не прикупљају координате локације тако да то представља отежавајућу околност приликом тачног лоцирања пожара на карти. Тај недостатак дјелимично је рије-

## DATA AND METHODS

### Data on Land Cover and Digital Terrain Model

Due to the lack of suitable basemaps, the production of a land cover map for the territory of the City of Banja Luka was undertaken for the purposes of this study. Digital orthophoto images at a scale of 1:5000 were utilized as the base layers. The identification and delineation of land cover classes were performed using visual interpretation. In total, 12170 polygons were digitized and categorized into the following classes: built-up areas, agricultural areas, forested areas, water bodies, surface mining sites, and areas of special purpose. Polygon digitization was carried out using the QGIS software package (version 3.16.3). The digital terrain model was created based on topographic maps at a scale of 1:25000. Isohyps were digitized from 18 sheets of topographic maps, which were later used to generate a 20-meter digital terrain model in raster format. The development of the digital terrain model was also performed using the QGIS software package.

### Data on Fires from Official Records

Data on fires in open space were collected from official records maintained by the Professional Territorial Fire and Rescue Unit (PTF-RU) of Banja Luka. Currently, the official data is not in digital format, so for the purposes of this study, they were digitized and loaded into a GIS environment. A total of 792 fire locations were loaded into a specially created GIS database. The data was processed for all months in the period 2017–2021. Firefighters do not collect location coordinates when responding to interventions, which poses a challenge for accurately locating fires on the map. This issue was partially addressed by cross-referencing additional location descriptions found in inter-



шен провјером додатних описа локација у књигама интервенција за сваки појединачни пожар. Осим података о локацијама пожара, прикупљени су подаци о датуму изласка на интервенцију, времену проведеном на интервенцији, укупној опожареној површини те броју возила и ватрогасаца који су били на интервенцији. Анализом структуре података утврђено је да у 43 % случајева не постоји податак о опожареним површинама тако да ће се овај параметар разматрати на основу података који буду добијени обрадом продуката даљинске детекције. Такође, увидом у временски распоред пожара на отвореном простору, одлучено је да се из анализе изостави зимска сезона због изузетно малог броја пожара на отвореном простору.

#### Издавање опожарених површина на основу сателитских снимака високе просторне и временске резолуције

Као допуна званичним подацима о пожарима на отвореном простору у овом раду коришћени су сателитски снимци платформе PlanetScope. Констелација сателита PlanetScope има могућност прикупљања снимака високе просторне резолуције (3–5 метара) са временом обиласка истог подручја на дневном нивоу. За потребе овог рада коришћени су аналитички продукти (PlanetScope Analytic Ortho Scene Products) који се односе на оптичке сателитске снимке, који су снимљени у условима без облака, односно у условима када је покривеност облака на сцени мања од 25 %. Аналитички продукти PlanetScope платформе су орторектификовани и састоје се од слике са 4 банда (плави, зелени, црвени и блиско-инфрацрвени) на којима су извршене радиометријске и атмосферске корекције (Frazier & Hemingway, 2021). Опожарене површине су идентификоване методом визуелне интерпретације поређењем сателитских слика које се односе на различите датуме. Укупно је обрађено 729 сателитских слика за 57 датума у периоду 2017–2021. године (Таб. 1). Након извршене визуелне интерпретације, идентификовано и издвојено је укупно 1032 опожарене површине. Приликом идентификације пожара, због квалитета просторне резолуције сателитских снимака, успјешно су издвојене мање опожарене површине.

vention logs for each individual fire. In addition to fire location data, information was gathered about the date of intervention, time spent on intervention, total burnt area, as well as the number of vehicles and firefighters involved in each intervention. Upon analyzing the data structure, it was found that in 43 % of cases, information about burnt areas was missing. Therefore, this parameter will be considered based on data obtained from remote sensing analysis. Furthermore, after reviewing the temporal distribution of fires in open space, it was decided to exclude the winter season due to the extremely low number of fires during that period.

#### Delimitation of Burned Areas Using High Spatial and Temporal Resolution Satellite Imagery

As a supplement to official fire data, this study utilized satellite imagery from the PlanetScope platform. The PlanetScope satellite constellation has the capability to collect high spatial resolution (3–5 meters) imagery with daily revisit frequency. Analytic Ortho Scene Products from PlanetScope, specifically optical satellite images captured under cloud-free conditions or with cloud coverage less than 25 %, were employed for this study. These analytic products are orthorectified and consist of imagery in four bands (blue, green, red, and near-infrared) with radiometric and atmospheric corrections applied (Frazier & Hemingway, 2021). Burnt areas were identified using visual interpretation by comparing satellite images from different dates. A total of 729 satellite images were processed for 57 dates in the period 2017–2021 (Tab. 1). Following the visual interpretation process, a total of 1032 burnt areas were identified and delineated. Due to the spatial resolution quality of the satellite imagery, smaller burnt areas were successfully identified during the fire detection process.

Таб. 1. Сумарни преглед обрађених сателитских снимака по годинама  
 Tab. 1. Summary overview of processed satellite images by years

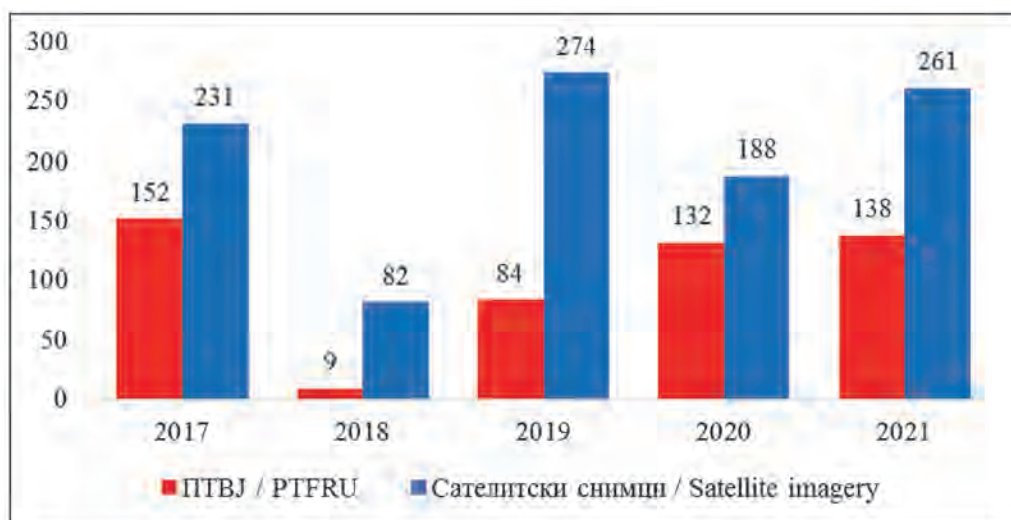
Година / Year	2017	2018	2019	2020	2021
Број обрађених датума / Processed dates (number)	14	7	9	18	9
Број снимака / The number of images	116	86	121	262	144

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Уочена је извјесна разлика између броја евидентираних пожара из званичних извора и броја идентификованих пожара са сателитских снимака. Наведена разлика може се објаснити чињеницом да су у званичним подацима Професионалне територијалне ватрогасно-спасилачке јединице евидентирани само они пожари на којима су интервенисали ватрогасци. Ватрогасци на пожаре отвореног простора који су се јављали у периферним и неприступачним дијеловима територије у одређеном броју случајева нису интервенисали. Такође, за пожаре отвореног простора који су условно речено били под контролом приликом чишћења пољопривредних површина, ватрогасци нису излазили на терен тако да ни ови пожари нису уведени у званичне евиденције. Број пожара који су се догодили у периоду 2017–2021. година варира (Сл. 2).

## RESULTS AND DISCUSSION

There is a certain discrepancy between the number of fires documented in official sources and the number of fires identified from satellite imagery. This difference can be attributed to the fact that official data from the Professional Territorial Fire and Rescue Unit only includes fires where firefighting interventions were carried out. Firefighters might not have intervened in fires in peripheral and inaccessible areas of the territory in some cases. Additionally, fires in open spaces that were essentially under control, occurring during the clearing of agricultural areas, may not have been attended by firefighters and therefore not included in official records. The number of fires that occurred during the period 2017–2021 varies (Fig. 2).

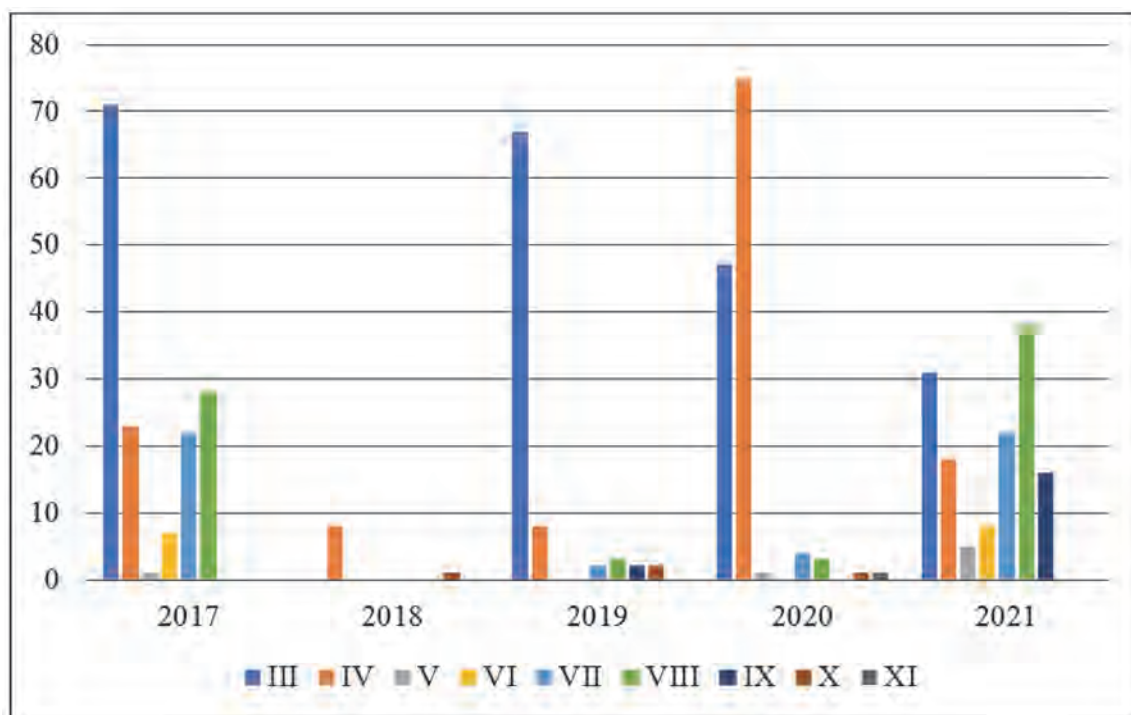


Сл. 2. Број пожара у периоду 2017–2021. године на основу података ПТВЈ и података добијених на основу интерпретације сателитских снимака

Fig. 2. Number of fires during the period 2017–2021 based on data from PTFRU and data obtained from satellite image interpretation

Највећи број пожара отвореног простора забиљежен је у мјесецима марту и априлу, на самом почетку пожарне сезоне. Мјесеци мај и јун у просјеку имају мањи број пожара, што је резултат учесталијих и интензивнијих падавина у том дијелу године. Други период у ком се јавља већи број пожара су мјесеци јул и август (Сл. 3). Слични временски обрасци појаве пожара отвореног простора током пожарне сезоне забиљежени су и у Србији (Aleksić et al., 2009; Дуцић et al., 2007; Живановић, 2015) и Хрватској (Bakšić et al., 2015). У зависности од метеоролошких услова, пожарна сезона може се продужити и до краја септембра, док се у октобру и новембру пожари отвореног простора дешавају веома ријетко.

The highest number of fires in open space is observed in the months of March and April, at the beginning of the fire season. The months of May and June typically have a lower number of fires, which can be attributed to more frequent and intense rainfall during that time of the year. Another period with a higher occurrence of fires is July and August (Fig. 3). Similar temporal patterns of fires in open space occurrence during the fire season have been observed in Serbia (Aleksić et al., 2009; Дуцић et al., 2007; Живановић, 2015) and Croatia (Bakšić et al., 2015). Depending on meteorological conditions, the fire season can extend until the end of September, while fires in open space are very rare in October and November.



Сл. 3. Број пожара по мјесецима у периоду 2017–2021. године на основу евиденција ПТВЈ  
Fig. 3. Number of fires by months during the period 2017–2021 based on PTFRU records

Према типу пожара, најзаступљенији су пожари траве и ниског растиња (Таб. 2). Наведени пожари најчешће се јављају као посљедица паљења корова на пољопривредним површинама широм посматраног подручја на почетку пожарне сезоне. Анализама је утврђено да су обрасци понављања овог типа пожара на истим локацијама евидентирани у југозападном дијелу посматраног

In terms of fire types, grass and low vegetation fires are the most frequent (Tab. 2). These fires are commonly the result of weed burning on agricultural fields throughout the study area, especially at the beginning of the fire season. Analyses have revealed that patterns of recurring fires of this type at the same locations are identified in the southwestern part of the



подручја, тачније на платоу планине Мањаче. Пожари траве и ниског растиња на овом подручју узрокују сточари који на тај начин чисте пашњаке од суве траве и растиња. Међутим, нису ријетки случајеви да се наведени пожари стихијски прошире на веће површине и да захвате шумску вегетацију. Шумски пожари присутни су на посматраном подручју, али због састојинске структуре, нису заступљени као претходни тип пожара. Према карактеру, шумски пожари су у већини случајева приземни, а рјеђе прелазе у фазу високог пожара, односно пожара који захватају крошње дрвећа. Период веће учесталости шумских пожара је у другом пожарном периоду у години и најчешће се односи на мјесеце јул и август. За пожаре депонија није уочена временска правилност, али са просторног аспекта може се закључити да се у већини случајева дешавају у приградским насељеним мјестима у којима је густина насељености већа.

observed area, specifically on the plateau of Manjača Mountain. Grass and low vegetation fires in this area are caused by livestock owners who use fire to clear dry grass and vegetation from pastures. However, cases where these fires spontaneously spread to larger areas and encompass forest vegetation are not uncommon. Forest fires are present in the observed area but are less prevalent compared to the previous type of fire, largely due to the forest structure. Forest fires are predominantly surface fires and less frequently transition to crown fires, which involve tree canopy ignition. The period with a higher frequency of forest fires occurs in the second fire period of the year, mainly in the months of July and August. For landfill fires, no consistent temporal pattern is observed, but from a spatial perspective, they tend to occur in suburban settlements with higher population density.

Таб. 2. Кретање броја пожара отвореног простора према типу у периоду 2017–2021. године (евиденција ПТВЈ)

Tab. 2. Number of fires in open space by type in the period 2017–2021 (PTFRU records)

Тип / Type	2017	2018	2019	2020	2021
Трава и ниско растиње / Grass and low vegetation	103	4	50	93	90
Шума и ниско растиње / Forest and low vegetation	33	1	22	17	18
Шумски пожар / Forest fires	10	3	12	18	20
Пожар депоније / Landfill fires	6	1	0	4	10
Укупно / Total	152	9	84	132	138

Према подацима који су добијени интерпретацијом сателитских снимака, у периоду 2017–2021. године опожарено је укупно 2031.27 хектара (Таб. 3.). У просјеку, највеће опожарене површине забиљежене су у мјесецима април (2.06 хектара) и март (1.13 хектара). Мјесеци мај, јун, јул и август имају знатно мање просјечне опожарене површине које се крећу у распону од 0.24 до 0.33 хектара.

According to data obtained from the interpretation of satellite images, a total of 2031.27 hectares were burned during the period 2017–2021 (Tab. 3). On average, the largest burned areas were recorded in the months of April (2.06 hectares) and March (1.13 hectares). The months of May, June, July, and August have significantly smaller average burned areas ranging from 0.24 to 0.33 hectares.

Таб. 3. Укупне и просјечне опожарене површине у периоду од 2017–2021. године (у хектарима)  
 Tab. 3. Total and average burned areas during the period 2017–2021 (in hectares)

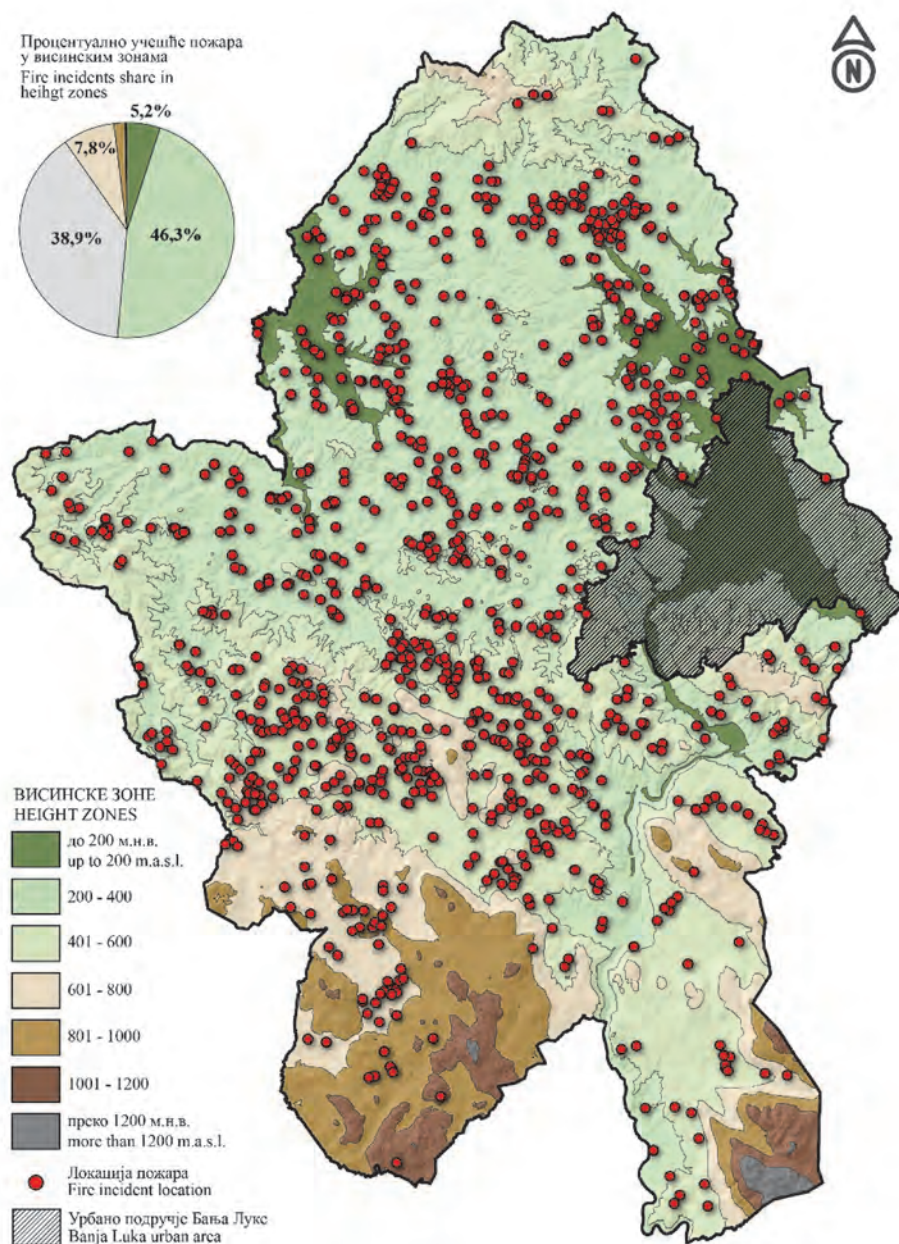
	2017	2018	2019	2020	2021
Укупно опожарено / Total burned areas	592.17	36.48	254.09	691.24	457.29
Просјечне опожарене површине / Average burned areas	0.73	0.15	0.4	0.45	1.13

На основу анализираних података може се закључити да на територији Града Бања Лука доминирају мањи пожари, нарочито у првом дијелу пожарне сезоне. Иако опожарене површине у просјеку имају ниже вриједности, у периоду 2017–2021. године догодило се неколико пожара отвореног простора са великим опожареним површинама. Највећи пожар посматрајући опожарену површину забиљежен је у априлу 2020. године, на територији насељеног мјеста Рекавице (локалитет Трешњево брдо) и обухватио је површину од 69.42 хектара травнате и жбунасте вегетације. Други по величини пожар отвореног простора био је на површини од 50.79 хектара, а забиљежен је у априлу мјесецу 2017. године на територији насељеног мјеста Вилуси (близу засеока Станићи). Трећи по величини пожар отвореног простора догодио се у марту 2017. године на територији насељеног мјеста Рекавице (близу засеока Аћимовићи и Дамјановићи), а површина коју је обухватио била је 43.55 хектара.

Са аспекта висинске дистрибуције пожара на отвореном простору, највећи број пожара (480 пожара односно 46.3 % од укупног броја) евидентиран је у висинској зони између 200 и 400 метара надморске висине (Сл. 4.). Наведена зона површински је највећа на посматраном подручју и обухвата 46.3 % од укупне површине посматраног подручја. Друга по реду зона по заступљености пожара отвореног простора је зона која се налази између 400 и 600 метара надморске висине. У наведеној зони евидентирано је укупно 403 пожара или 38.9 % од укупног броја пожара отвореног простора. Пожари у осталим висинским зонама знатно су рјеђи.

Based on the analyzed data, it can be concluded that smaller fires dominate the territory of the City of Banja Luka, especially in the early part of the fire season. Although the average burned areas have lower values, there were several instances of fires in open space with large burned areas during the period 2017–2021. The largest fire, considering the burned area, was recorded in April 2020, in the territory of the settlement of Rekavice (locality Trešnjevo Brdo), covering an area of 69.42 hectares of grass and shrub vegetation. The second-largest fire in open space occurred in April 2017, covering an area of 50.79 hectares, in the territory of the settlement of Vilusi (near the hamlet of Stanići). The third-largest fire in open space happened in March 2017, in the territory of the settlement of Rekavice (near the hamlets of Aćimovići and Damjanovići), covering an area of 43.55 hectares.

In terms of the altitude distribution of fires in open space, the highest number of fires (480 fires, or 46.3 % of the total) was recorded in the altitude zone between 200 and 400 meters above sea level (Fig. 4). This zone is the largest in terms of area on the observed territory, covering 46.3 % of the total observed area. The second most frequent zone for fires in open space is the one located between 400 and 600 meters above sea level. In this zone, a total of 403 fires were recorded, accounting for 38.9 % of the total number of fires in open space. Fires in other altitude zones are considerably rarer.



Сл. 4. Пожари отвореног простора према висинским зонама (период 2017–2021.)  
Fig. 4. Fires in open space according to altitude zones (period 2017–2021)

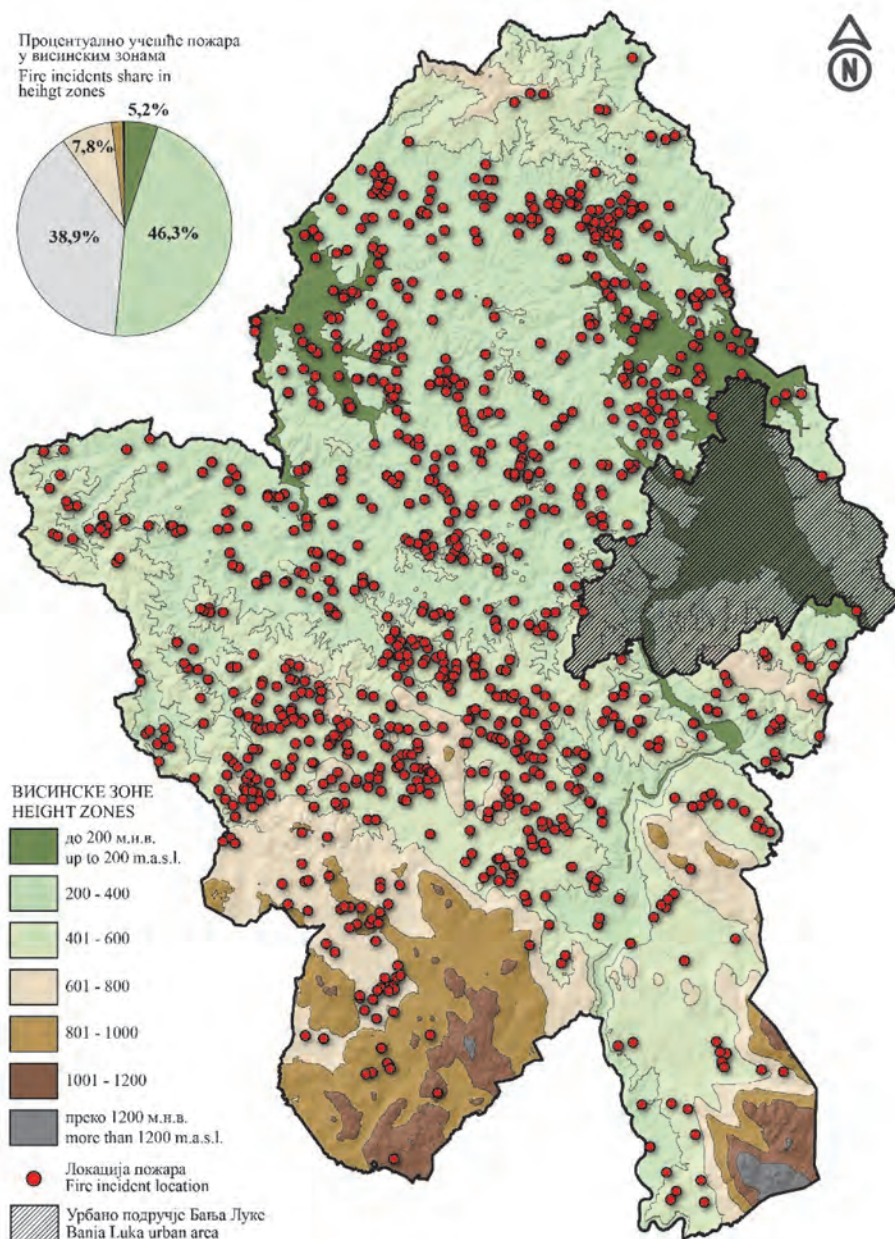
Посматрајући сумарне податке о пожарима на отвореном простору уочава се да су пожари присутни у свим насељеним мјестима на посматраном подручју (Сл. 5). На територији насељеног мјеста Кола, које се налази на планини Мањачи, евидентирано је укупно 96 пожара отвореног простора у периоду 2017–2021. године, што сврстава ово насељено мјесто као мјесто са највише пожара. У сјеверозападном дијелу посматраног подручја, на-

When examining the summarized data on fires in open space, it can be observed that fires are present in all inhabited places in the observed area (Fig. 5). In the territory of the settlement of Kola, located on Manjača Mountain, a total of 96 fires in open space were recorded during the period 2017–2021, making this settlement the one with the highest number of fires. In the northwestern part of the study area, the settlements with the most fires in open space are Pot-



сељена мјеста са највише пожара отвореног простора су Поткозарје (укупно 79) и Пискавица (укупно 77). Наведена насељена мјеста карактерише већа густина насељености и интензивније пољопривредне активности уколико се пореде са осталим насељеним мјестима посматраног подручја. Од насељених мјеста са већим бројем пожара издвајају се још насељена мјеста Вилуси (67), Рекавице (59) и Добрња (45) која се налазе на побрђу и платоу планине Мањаче.

kozarje (total of 79) and Piskavica (total of 77). These mentioned settlements are characterized by higher population density and more intensive agricultural activities when compared to other inhabited places in the study area. Among the settlements with a higher number of fires, Vilusi (67), Rekavice (59), and Dobrnja (45) also stand out. These settlements are located on the slopes and plateau of Manjača Mountain.



Сл. 5. Број пожара по насељеним мјестима у периоду 2017–2021. године  
Fig. 5. Number of fires by settlements during the period 2017–2021

Са друге стране, насељена мјеста са најмањим бројем пожара отвореног простора углавном се налазе у приградској зони (Пријељчани, Куљани, Залужани, Дракулић, Павловац, Шарговац). Наведена насељена мјеста имају већи степен урбанизације, а пољопривредне активности су слабијег интензитета што је утицало на мању вјероватноћу појаве пожара отвореног простора. У посматраном периоду нису забиљежени озбиљнији пожари у већим комплексима шума у југоисточном дијелу посматраног подручја које обухвата планине Чемерницу, Тисовац и Осмачу. Такође, на обронцима планине Козаре који се налазе на посматраном подручју, а који су прекривени шумским покривачем, нису забиљежени пожари већих размјера, изузев великог шумског пожара који се десио у августу 2021. године у Мишином Хану.

#### ЗАКЉУЧАК

У периоду од пет година (2017–2021), на посматраном подручју укупно је опожарено 2031.27 хектара на којима се у већини случајева налазила трава и ниско растиње. Пожари на посматраном подручју обично обухватају мање површине тако да у мјесецима март и април њихова просјечна опожарена површина износи око 1.5 хектара, док се у осталим мјесецима она креће између 0.1 до 0.33 хектара. Пожарна сезона почиње у марту мјесецу и траје до октобра, а условно се може подијелити у два периода. Први период односи се на мјесеце март и април када је забиљежен највећи број пожара, а који се веже за почетак пољопривредних активности. Други период односи се на мјесеце јул и август, у којима се појаве пожара осим са пољопривредним активностима повезују и са повољним метеоролошким условима за настанак и ширење пожара отвореног простора. У свим насељеним мјестима на посматраном подручју забиљежене су појаве пожара. Насељена мјеста са највећим бројем пожара отвореног простора налазе се на побрђу и платоу планине Мањаче и у њих спадају Кола, Рекавице, Вилуси и Добрња, док се у сјеверозападном дијелу посматраног подручја издвајају Поткозарје и Пискавица као насељена мјеста са великим бројем евидентираних пожара.

Недостатак адекватних превентивних мјера заштите од пожара, непостојање система за рано узбуњивање од пожара, недовољан број и

On the other hand, the settlements with the lowest number of fires in open space are mostly located in the suburban zone (Priječani, Kuljani, Zalužani, Drakulić, Pavlovac, Šargovac). These mentioned settlements have a higher degree of urbanization and less intensive agricultural activities, which has led to a lower likelihood of fires in open space. During the observed period, there were no significant fires in the larger forest complexes in the southeastern part of the observed area, which includes the mountains of Čemernica, Tisovac, and Osmača. Additionally, on the slopes of Kozara Mountain within the study area, which are covered by forest, no larger fires were recorded except for a significant forest fire that occurred in August 2021 in Mišin Han.

#### CONCLUSION

Over a five-year period (2017–2021), a total of 2031.27 hectares were burned in the study area, predominantly with grass and low vegetation. The fires in the study area usually cover smaller areas, with average burned areas of about 1.5 hectares in March and April, and ranging from 0.1 to 0.33 hectares in other months. The fire season starts in March and lasts until October, and it can be conditionally divided into two periods. The first period relates to the months of March and April when the highest number of fires is recorded, linked to the beginning of agricultural activities. The second period pertains to the months of July and August, where fire occurrences are associated not only with agricultural activities but also with favorable meteorological conditions for the ignition and spread of fires in open space. Fire occurrences have been noted in all settlements in the study area. The settlements with the highest number of fires in open spaces are situated on the slopes and plateau of Manjača Mountain, including Kola, Rekavice, Vilusi, and Dobrnja. In the northwestern part of the observed area, Potkozarje and Piskavica stand out as settlements with a significant number of recorded fires.

The lack of adequate preventive fire protection measures, the absence of an early fire

неадекватна размјештеност ватрогасних јединица, те обрасци понашања становништва према паљевини условили су овако велики број пожара који су нанијели не само материјалну штету него и еколошку штету која се не може квантификовати. Једна од полазних тачака у дефинисању превентивних мјера заштите од пожара отвореног простора свакако је постојање адекватне базе података која се односи на локације и карактеристике пожара. У овом раду приказане су могућности прикупљања података о пожарима из продуката даљинске детекције који се ефикасно могу користити за утврђивање локалитета на којима су се десили пожари. Наравно, неопходно је наставити са даљим истраживањима у циљу дефинисања оптималне методологије за идентификацију опожарених површина на продуктима даљинске детекције чији би подаци били суплемент званичним евиденцијама. Наведени подаци били би од користи не само за сектор који се бави заштитом од пожара него и за друге секторе као што је заштита животне средине, шумарство и просторно планирање.

alert system, insufficient and inadequately positioned firefighting units, and patterns of behavior towards burning have led to this large number of fires, causing not only material but also ecological damage that cannot be quantified. One of the starting points in defining preventive measures for fires in open space protection is undoubtedly the existence of an adequate database related to fire locations and characteristics. This paper has demonstrated the possibilities of collecting fire data from remote sensing products that can effectively be used to determine the locations where fires have occurred. Of course, it is necessary to continue with further research in order to define an optimal methodology for identifying burned areas on remote sensing products, whose data would supplement official records. These data would be useful not only for the fire protection sector but also for other sectors such as environmental protection, forestry, and spatial planning.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Abatzoglou, J. T., Williams, A. P., & Barbero, R. (2019). Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophysical Research Letters*, *46*(1), 326–336. <https://doi.org/10.1029/2018GL080959>
- Aleksić, P., Krstić, M., & Jančić, G. (2009). Forest Fires – Ecological and Economic Problem in Serbia. *Botanica Serbica*, *33*(2), 169–176.
- Алексић, П., & Јанчић, Г. (2011). Заштита шума од шумских пожара у Јавном предузећу „Србијашуме“. *Шумарство*, *1–2*, 95–110.
- Amatulli, G., Camia, A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2013). Estimating Future Burned Areas Under Changing Climate in the EU-Mediterranean Countries. *Science of the Total Environment*, *450*, 209–222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.014>
- Ahn, Y. S., Ryu, S., Lim, J., Lee, C. H., Shin, J. H., Choi, W., Lee, B., Jeong, J., An, K., & Seo, J. (2014). Effects of Forest Fires on Forest Ecosystems in Eastern Coastal Areas of Korea and an Overview of Restoration Projects. *Landscape and Ecological Engineering*, *10*(1), 229–237. <https://doi.org/10.1007/s11355-013-0212-0>
- Bakšić, N., Vučetić, M., & Španjol, Ž. (2015). Potencijalna opasnost od požara otvorenog prostora u Republici Hrvatskoj. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, *5*(2), 30–40.
- Barčić, D., Došlić, A., Rosavec, R., & Ančić, M. (2020). Klasifikacija i ponašanje šumskih požara u protupožarnoj zaštiti. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, *10*(1–2), 25–46.
- Bedia, J., Herrera, S., Camia, A., Moreno, J. M., & Gutiérrez, J. M. (2014). Forest Fire Danger Projections in the Mediterranean Using ENSEMBLES Regional Climate Change Scenarios. *Climate Change*, *122*(1–2), 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>
- Vasić, M. (1983). *Zaštita šuma od požara*. NO-LIT.
- Girardin, M., Ali, A., Carcaillet, C., Gauthier, S., Hely, C., Le Goff, H., Terrier, A., & Bergeron, Y. (2013). Fire in Managed Forests of Eastern Canada: Risks and Options. *Forest*



- Ecology and Management*, 294, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.005>
- Драгићевић, С., & Филиповић, Д. (2009). *Природни услови и непогоде у планирању и заштити простора*. Географски факултет.
- Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernandez, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate Change Impact on Future Wildfire Danger and Activity in Southern Europe: A Review. *Annals of Forest Science*, 77(2), Article 35. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>
- Дуцић, В., Миленковић, М., & Радовановић, М. (2007). Географски фактори настанка пожара у Делиблатској пешчари. *Глобус*, 38, 275–290.
- Живановић, С. (2015). Методологија идентификације периода ризика шума од пожара. *Шумарство*, 1–2, 175–184.
- Живановић, С., Гоцић, М., Ивановић, Р., & Мартић-Бурсаћ, Н. (2015). Утицај температуре ваздуха на ризик шумских пожара у општини Неготин. *Гласник Српског географског друштва*, 95(4), 67–76. <https://doi.org/10.2298/GSGD1504067Z>
- Živanović, S. (2017). Impact of Drought in Serbia on Fire Vulnerability of Forest. *International Journal of Bioautomation*, 21(2), 217–226.
- Zhong, M., Fan, W., & Wang, Q. (2000). Experimental Study in Catastrophe Characteristics of Forest Fire Spread. *Progress in Natural Science*, 10(6), 465–469.
- Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. (2015). Climate-Induced Variations in Global Wildfire Danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, 6, Article 7537. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>
- JRC. (2008). *Assessment of Forest Fire Risk in European Mediterranean Region: Comparison of Satellite-Derived and Meteorological Indices*. Joint Research Centre European Commission.
- Keller, E., & DeVecchio, D. (2019). *Natural Hazards: Earth's Processes as Hazards, Disasters and Catastrophes*. Routledge.
- Lukić, T., Marić, P., Hrnjak, I., Gavrilov, M., Mladjan, D., Zorn, M., Komac, B., Milošević, Z., Marković, S., Sakulski, S., Jordaan, A., Đorđević, J., Pavić, D., & Stojsavljević, R. (2017). Forest Fire Analysis and Classification Based on Serbian Case Study. *Acta Geographica Slovenica*, 57(1), 51–63. <https://doi.org/10.3986/AGS.918>
- Pichler, T. (2008). Zaštita okoliša i požar. *Sigurnost*, 50(4), 399–414.
- Пројект а.д., & Институт за грађевинарство „ИГ“. (2014). *Просторни план Града Бањалука*.
- Радовановић, М., & Гомес, Ј. (2008). *Сунчева активност и шумски пожари*. Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ.
- Републички завод за статистику Републике Српске. (2021). *Градови и општине Републике Српске*.
- Španjol, Ž., Biljaković, K., Rosavec, R., Dominiko, D., Barčić, N., & Starešinić, D. (2008). Šumski požari i fizikalni modeli. *Šumarski list*, 5–6, 259–267.
- Tošić, I., Mlađan, D., Gavrilov, B., Živanović, S., Radaković, M., Putniković, S., Petrović, P., Krstić Mistrizdelović, I., & Marković, S. (2019). Potential Influence of Meteorological Variables on Forest Fire Risk in Serbia During the Period 2000–2007. *Open Geosciences*, 11(1), 414–425. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0033>
- Flannigan, D., Amiro, D., Logan, A., Stocks, J., & Wotton, M. (2005). Forest Fires and Climate Change in the 21st Century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 847–859. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7>
- Flannigan, M. D., Krawchuk, M. A., de Groot, W. J., Wotton, B. M., & Gowman, L. M. (2009). Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 18(5), 483–507. <https://doi.org/10.1071/WF08187>
- Flannigan, M., Cantin, A. S., de Groot, W. J., Wotton, M., Newbery, A., & Gowman, L.

- M. (2013). Global Wildland Fire Season Severity in the 21st Century. *Forest Ecology and Management*, 294, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.022>
- Frazier, A., & Hemingway, B. (2021). A Technical Review of Planet Smallsat Data: Practical Considerations for Processing and Using PlanetScope Imagery. *Remote Sensing*, 13, 3930–3942. <https://doi.org/10.3390/rs13193930>
- Cvetković, V., & Dragičević, S. (2014). Spatial and Temporal Distribution of Natural Disasters. *Journal of the Geographical Institute “Jovan Cvijić”, SASA*, 64(3), 293–309. <https://doi.org/10.2298/IJGI1403293C>
- Ćurić, M., & Živanović, S. (2013). Dependence Between Deficit and Surplus of Precipitation and Forest Fires. *Disaster Advances*, 6(6), 64–69.
- Ward, D. S., Shevliakova, E., Malyshev, S., & Rabin, S. (2018). Trends and Variability of Global Fire Emissions Due to Historical Anthropogenic Activities. *Global Biogeochemical Cycles*, 32(1), 122–142. <https://doi.org/10.1002/2017gb005787>

Примљено / Received: 14. 05. 2023.

Исправљено / Revised: 23. 08. 2023.

Прихваћено / Accepted: 26. 08. 2023.