

Fire and Explosion Risk Assessment for the Republic of Croatia

Juraj BAN¹, Željko SUTLAR², Andrija ANTOLOVIĆ²

¹ Volunteer Fire Department Buzin, Buzinska cesta 20, 10010 Zagreb, Croatia
juraj.ban91@gmail.com

² National Protection and Rescue Directorate, Nehajska 5, 10000 Zagreb, Croatia
zeljko.sutlar@duzs.hr, andrija.antolovic@duzs.hr

Abstract. Through a spatial and statistical analysis, the paper aims to assess vulnerability based on the service capabilities of public fire brigades in the Republic of Croatia. An assessment of fire hazard impacts was developed based on historical fire data over a twenty-year period for the counties and City of Zagreb, an assessment of exposure based on critical infrastructure data for the counties and City of Zagreb, and an assessment of resilience based on the coverage zones of fire brigades within the standard intervention time (15 min) for the counties and City of Zagreb. The results of the research have various potential applications and can be used as a basis for the future planning and development of the fire protection system to serve and protect people, material and cultural goods.

Keywords: Republic of Croatia, risk assessment, fires, GIS analysis, geography of hazards

1 Introduction

Risk assessment is the overall process of identifying, analysing and evaluating risks that may potentially harm a country's population, material goods, institutions and environment (United Nations, 2009). Research into the relevant scientific and professional literature found a small number of publications available in Croatia, dealing with GIS technology and its application in protecting the population and material goods from fires. Several have been published in the last couple of years and should be mentioned. *Multicriteria analysis of the risk of fire in Split-Dalmatia County* by Netolicki et al. (2012) deals with fire risk assessment based on climate, topography, vegetation and anthropogenic factors, and shows how existing data can be analysed using GIS to create an assessment of fire risk in open space. A spatial model for determining appropriate dislocation sites of fire brigades has been developed

using spatial pattern analysis and road network analysis in *Determining appropriate seasonal dislocation sites of fire brigades in Šibenik-Knin County* by Držaić and Kavran (2014).

The focus of this research is to propose a methodology for fire and explosion risk assessments at the national level, based on relevant spatial data. Fire and explosion risk assessment benefits the decision-making processes of the competent civil rescue institutions in protecting people, material and cultural goods. The results of risk assessment analysis reveal potential high impact areas which need state-level intervention, with the aim of planning better protection measures for fire hazards. No comprehensive rescue and protection plan has been designed as yet at the state level, so the results of this research propose a model for determining the level of fire and explosion risks, from the lowest administrative and city levels to the national level.

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija

Juraj BAN¹, Željko SUTLAR², Andrija ANTOLLOVIĆ²

¹ Dobrovoljno vatrogasno društvo Buzin, Buzinska cesta 20, 10010 Zagreb
juraj.ban91@gmail.com

² Državna uprava za zaštitu i spašavanje, Nehajska 5, 10000 Zagreb
zeljko.sutlar@duzs.hr, andrija.antolovic@duzs.hr

Sažetak. S ciljem dobivanja procjene ugroženosti u radu su provedene prostorne i statističke analize temeljene na sposobnostima javnih vatrogasnih postrojbi u Republici Hrvatskoj. Dobiven je prikaz procjene opasnosti od požara po županijama/ Gradu Zagrebu upotrebom podataka o broju požara u vremenskom nizu od dvadeset godina, prikaz procjene izloženosti po županijama/ Gradu Zagrebu upotrebom podataka o kritičnoj infrastrukturi te prikaz procjene otpornosti po županijama/ Gradu Zagrebu na temelju zona pokrivanja vatrogasnih postrojbi unutar standardnog vremena za intervenciju od petnaest minuta. Rezultati istraživanja, dobiveni statističkim i prostornim analizama, imaju višestruku korist te mogu poslužiti kao osnova za buduća planiranja novih javnih vatrogasnih postrojbi, kao i za razvoj sustava vatrogastva s ciljem zaštite stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara.

Ključne riječi: Republika Hrvatska, procjena ugroženosti, požari, analiza u GIS-u, geografija ugroza

1. Uvod

Procjenjivanje ugroženosti postupak je kojim se utvrđuju priroda i stupanj ugroženosti analizirajući potencijalne opasnosti i postojeće stanje osjetljivosti koji zajedno mogu potencijalno ugroziti izloženo stanovništvo, materijalna dobra, službe i izvore priroda, kao i okoliš od kojega stanovništvo ovisi (United Nations 2009).

Pretragom i analizom relevantne znanstvene i stručne literature ustanovljeno je kako u Republici Hrvatskoj postoji vrlo mali broj objavljenih i dostupnih radova koji se bave prostornim analizama upotrebom GIS-a s ciljem što bolje zaštite stanovništva i materijalnih dobara od požara. U posljednjih se nekoliko godina počelo s istraživanjima upotrebom GIS-a u svrhu požarne preventive. Netolicki i sur. (2012) procjenjuju ugroženost od požara na temelju nekoliko čimbenika kao što je klima, reljef, vegetacija i antropogeni čimbenici te prikazuju kako se mogu

analizirati postojeći podatci upotrebom GIS-a s ciljem izrade procjene ugroženosti od požara otvorenih prostora. Nadalje, Držaić i Kavran (2014) temeljem analize prostornog uzorka požara i analize mreže cesta na primjeru Šibensko-kninske županije predlažu model za odabir novih lokacija za sezonsko premještanje vatrogasnih postrojbi.

Glavni je cilj ovoga rada predložiti metodologiju izrade procjene ugroženosti od požara i eksplozija na državnoj razini upotrebom relevantnih podataka u prostoru. Procjena ugroženosti od požara i eksplozija pridonosi kvalitetnijem odlučivanju čelnika institucija u području zaštite i spašavanja kako bi se što bolje planirala zaštita stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara od požara. Na primjeru Republike Hrvatske prepoznat će se prostori u kojima je potrebna intervencija državne vlasti u svrhu kvalitetnijeg planiranja mjera zaštite od požara. Budući da do sada nije osmišljena cjelovita metodologija izrade procjene ugroženosti od požara i eksplozija na državnoj razini,

2 Methodological Notes

The locations of recorded fire interventions were provided by the Ministry of the Interior, and released to the National Protection and Rescue Directorate. The spatial distribution of population, assets and locations of public fire brigades was provided by the National Rescue and Protection Directorate. *Microsoft Access* was used to analyse the fire intervention locations. *Microsoft Excel* was used to analyse the population and asset data, while the spatial and temporal coverage zones of fire brigades were calculated with GIS. ESRI software ArcGIS, version 10.3.1. was used for cartographic visualization. Maps produced in the research were assigned with the Mercator projection according to the Croatian Terrestrial Coordinate System HTRS96 (Government of the Republic of Croatia, 2004).

In citizen protection, the number of services available to respond to danger must be known so that the system can be developed optimally. A PVI (Prevalent Vulnerability Index) is often used for vulnerability assessment. It uses three groups of indicators: exposure and asset vulnerability; socio-economic vulnerability and resilience; and the service capacities of the civil protection system (Cordona, 2005). The formula for the PVI index is:

$$\text{Risk} = \text{Hazard impact} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability} \quad (\text{Dilley et al. 2005})$$

Data sets were lacking for calculating the PVI index in the Republic of Croatia, so in the research, the necessary data were calculated thorough geostatistical and network analyses. The authors were interested in the absolute numbers of inhabitants and area covered by the professional fire protection system (active approach), and considered vulnerability to be inversely proportional to resilience. The connection is given in the formula:

$$\text{Vulnerability} = 1 / \text{Resilience}$$

Resilience can be defined as the ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate to and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions (UNISDR, 2009). Therefore, the formula for calculating risk assessment (in individual counties) is:

$$\text{Risk} = (\text{Hazard Impact} \times \text{Exposure}) / \text{Resilience}$$

To achieve the aim of the research, the hazard impact, exposure and resilience indices were calculated to assess the risk of fire and explosion. Each individual risk was classified in 5 classes calculated using two statistical methods: mean value and standard deviation. The methods used in data processing and data analysis were different for each individual risk indicator, as described later.

3 Research Area

The Republic of Croatia is located between the central Mediterranean, central European and Danube regions. There are three major geographic regions in Croatia: the Pannonian, coastal (Adriatic) and Dinaric regions. Due to its strategic position, Croatia has a significant role in linking the central Danube region with the Adriatic, while opening western and central European countries to southeast Europe and the Middle East (Magaš, 2013).

4 Fire and Explosion Risk Assessment

Through an analysis of relevant national data, a model for fire and explosion risk assessment was proposed and presented on a risk map of the Croatian counties and City of Zagreb.

4.1 Fire and explosion impact analysis

The dataset used in the hazard impact research included the number and type of fire hazard interventions that occurred from 1994 to 2013. The main reason for using the information from the Ministry of Interior database was the fact that it was unified throughout all police departments, but after 2013, records ceased to be kept in the same way. Based on the fire classification in the database, each type of fire in the open or fire location was assigned points representing the severity of particular fires. Points were determined based on the professional knowledge and experience of the Fire Protection Department of the State Protection and Rescue Administration (Figures 1–3). The lowest score was 10, while the highest value was 1,000 points. To calculate the hazard assessment, the average number of points for each type of fire was used. The points assigned served as a basis for the further process of hazard assessment described below.

The first part of the research was to process twenty years of data on fire interventions. The data was stored in .txt format for easy transfer to *Microsoft*

rezultati istraživanja bit će osnova, ali i model kako se može odrediti stupanj ili razina ugroženosti od požara i eksplozija od državne razine sve do jedinica područne (regionalne) i lokalne samouprave.

2. Metodologija istraživanja

Podatci o požarima preuzeti su iz baze podataka Ministarstva unutarnjih poslova (MUP) koja je usupljena Državnoj upravi za zaštitu i spašavanje (DUZS). Podatci o prostornom rasporedu stanovništva, kritične infrastrukture i javnih vatrogasnih postrojbi (JVP) dobiveni su od DUZS-a. Analiza podataka o požarima izrađena je u *Microsoft Accessu*. Podatci o stanovništvu i kritičnoj infrastrukturi analizirani su u *Microsoft Excelu*, dok su servisne zone JVP-a izrađene primjenom GIS-a. Kartografska vizualizacija izrađena je s pomoću programa *ArcGIS Info*, verzije 10.3.1, tvrtke ESRI. Kartografske podloge izrađene su u poprečnoj Mercatorovoj projekciji prema referentnom koordinatnom sustavu HTRS96 (Hrvatski terestrički koordinatni sustav za epohu 1995.55) (Vlada Republike Hrvatske 2004).

U svim službama koje se bave zaštitom građana postoji potreba za spoznajom koliko su one sposobne odgovoriti na opasnost kako bi se sustav mogao optimalno razvijati. Vrlo se često za procjenu ranjivosti rabi Prevladavajući Indeks Ranjivosti (eng. *Prevalent Vulnerability Index*) koji osim tri skupa pokazatelja – izloženost i fizička osjetljivost, socioekonomska krhkost i otpornost – sadrži i podatke o kapacitetima sustava za zaštitu građana (Cordona 2005). Formula u kojoj se koristi indeks PVI ima oblik:

$$\text{Ugroženost} = \text{Opasnost} \times \text{Izloženost} \times \text{Ranjivost} \quad (\text{Dilley i sur. 2005})$$

Skupovi pokazatelja ne postoje u Republici Hrvatskoj pa smo se u izradi ovog rada koristili geostatističkim analizama i analizom mreža kako bismo dobili potrebne podatke. Kako su autore zanimali stvarni brojevi stanovnika i površine koja je pokrivena profesionalnim sustavom zaštite od požara (aktivni pristup), autori, koji smatraju da je ranjivost obrnuto proporcionalna otpornosti, odlučili su da umjesto osjetljivosti uvedu pojam otpornosti čiju vezu daju u formuli:

$$\text{Ranjivost} = 1 / \text{Otpornost}$$

Otpornost se može definirati kao sposobnost sustava, zajednice ili društva izloženog opasnostima da

se odupre, apsorbira, prilagodi učincima opasnosti i oporavi od njih na učinkovit i pravovremen način, što podrazumijeva očuvanje i sanaciju nužnih i osnovnih struktura i funkcija (United Nations 2009). Stoga konačna formula po kojoj smo računali ugroženost pojedine županije ima oblik:

$$\text{Ugroženost} = (\text{Opasnost} \times \text{Izloženost}) / \text{Otpornost}$$

U namjeri da se ostvari glavni cilj rada napravljene su procjene opasnosti, izloženosti i otpornosti te su dobiveni rezultati preklapljeni kako bismo dobili procjenu ugroženosti od požara i eksplozija. Vrednovanje opasnosti, izloženosti, otpornosti i ugroženosti napravljeno je na temelju pet razreda koji su određeni s pomoću statističke metode srednje vrijednosti i standardne devijacije. S obzirom na to da je postupak obrade i analize podataka drugačiji za prethodno navedene procjene, oni će u nastavku biti posebno objašnjeni.

3. Istraživano područje

Republika Hrvatska smještena je na spoju velikih europskih prostornih cjelina – srednjeg Sredozemlja, srednje Europe i Podunavlja. Unutar državnih granica jasno se mogu izdvojiti tri osnovne prirodne cjeline: nizinska ili panonska, primorska ili jadranska i gorska ili dinarska Hrvatska. Zbog svog položaja, na dodiru velikih prirodno-geografskih cjelina, ima značajan utjecaj u povezivanju srednjeg Podunavlja s Jadranom, ali i zapadne i srednje Europe s jugoistočnom Europom i Bliskim istokom (Magaš 2013).

4. Analiza procjene ugroženosti od požara i eksplozija

Procjena ugroženosti obuhvaća analizu podataka značajnih za državnu razinu, a dobiveni rezultati kartografski su vizualizirani po županijama/Gradu Zagrebu.

4. 1. Analiza procjene opasnosti

Za analizu procjene opasnosti upotrijebljeni su podatci o broju i vrsti požara, odnosno podatci o požarima građevina, požarima na transportnim sredstvima te požarima otvorenog prostora u razdoblju od 1994. do 2013. godine. Razlog upotrebe podataka o požarnim intervencijama od 1994. do 2013. godine iz baze podataka MUP-a je taj što je zapisnik o zabilježenim događajima jednak za sve policijske uprave

Točke / Points

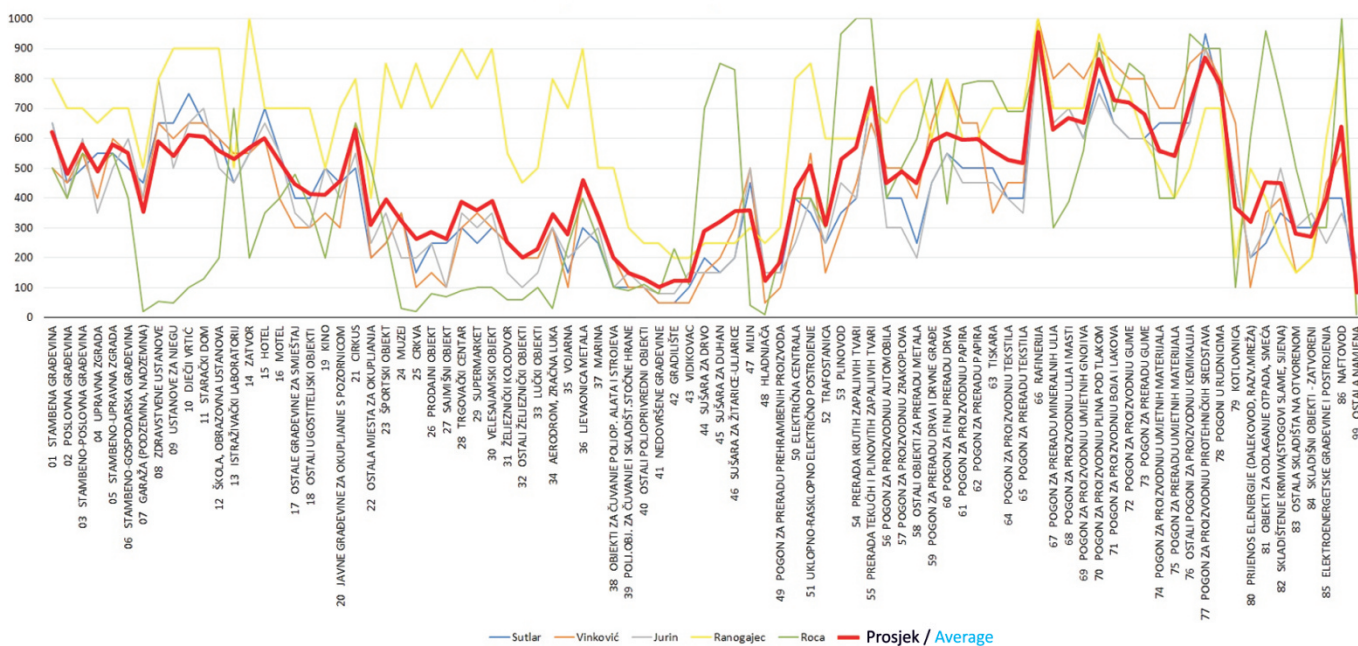


Fig. 1 Process of assigning weight values to fire interventions (Buildings).

Slika 1. Postupak dodjele bodova požarima građevina.

Točke / Points

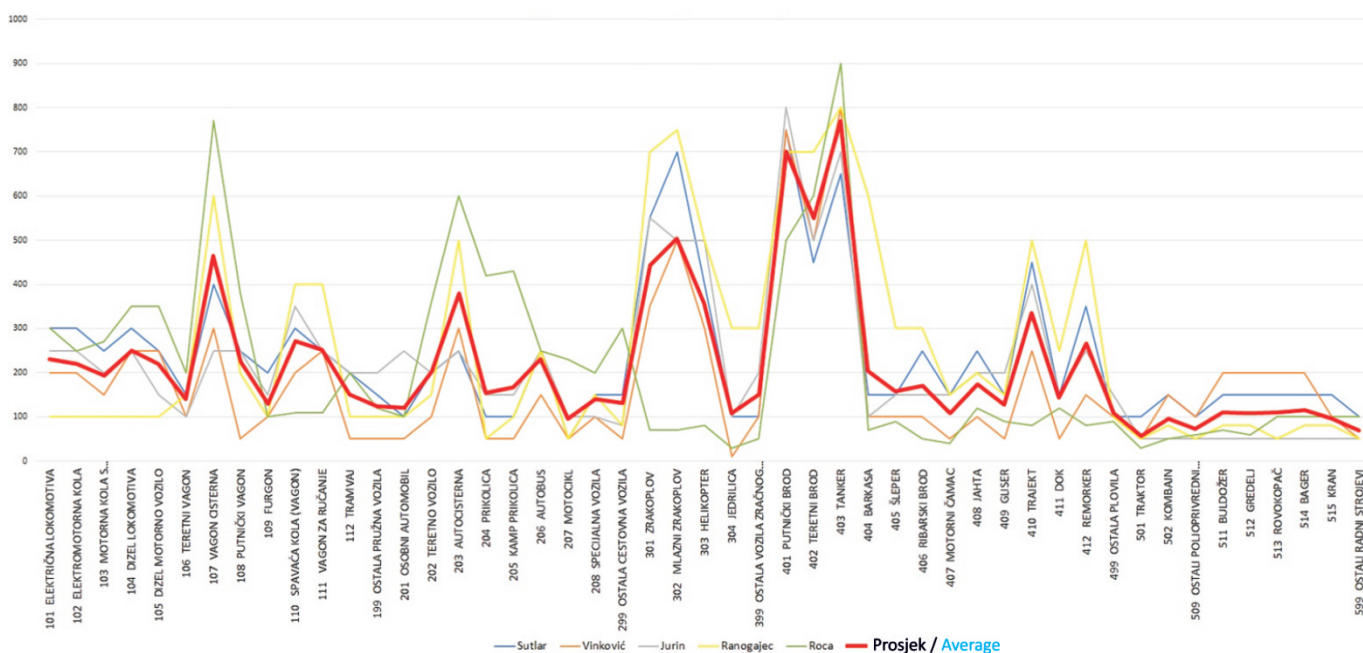


Fig. 2 Process of assigning weight values to fire interventions (Transport vehicles).

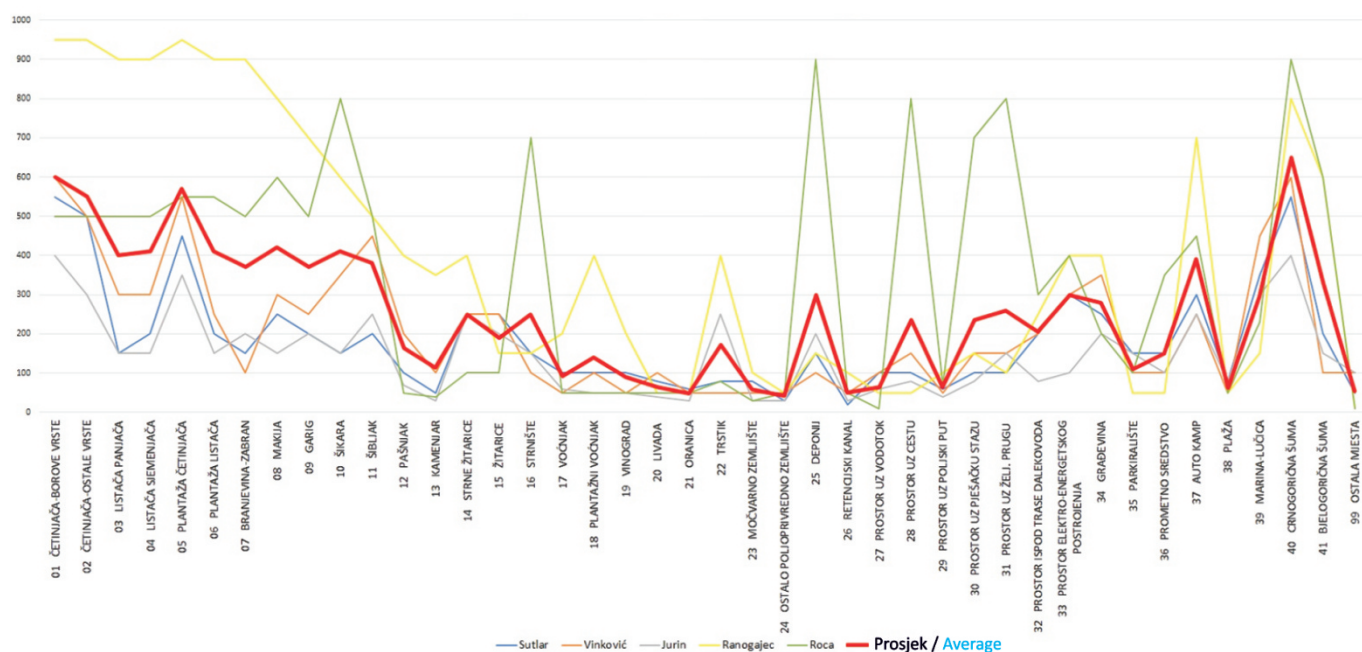
Slika 2. Postupak dodjele bodova za požare transportnih sredstava.

Access. Because of the large quantity of data, Microsoft Access was the most suitable solution for the hazard impact analysis. In a new Microsoft Access document, the original .txt document with detailed records on fire interventions was merged with a table containing a weight value that represented the severity of the individual intervention (buildings, transport facilities, open spaces).

After the data merge, a new column was added to the table for each year where points were assigned through Microsoft Access queries. The request was made to update (assign) points for each fire in the table according to the codes for different fire types from the Ministry of Interior database.

The next step was to calculate a sum of points for each year for the counties and the City of Zagreb

Točke / Points



Slika 3. Postupak dodjele bodova za požare otvorenog prostora.

Fig. 3 Process of assigning weight values to fire interventions (Open space fires).

dok se nakon 2013. godine prestala voditi evidencija o zabilježenim događajima kako je to bilo u navedenom razdoblju. Na temelju klasifikacije požara iz šifrnika MUP-a svakoj su vrsti požara, odnosno mjestu nastanka požara otvorenog prostora, dodijeljeni bodovi koji predstavljaju težinu određenog požara. Bodovi su određeni na temelju znanja struke i iskustva djelatnika Sektora za vatrogastvo Državne uprave za zaštitu i spašavanje (slike 1 – 3). Najmanja vrijednost bodova iznosi deset, dok je najveća vrijednost tisuću bodova. Za računanje procjene opasnosti upotrijebljen je prosjek bodova za svaku vrstu požara. Dodjela bodova svakom požaru bila je potrebna radi daljnje izrade procjene opasnosti koja je opisana u nastavku rada.

Prvi je korak započeo uređivanjem izvornih podataka o zabilježenim požarima za svih 20 godina pohranjenih u formatu txt, kako bi se mogli prenijeti u *Microsoft Access*. Zbog velike količine zapisa po pojedinoj godini, *Microsoft Access* bio je najpogodniji za analizu procjene opasnosti. Za daljnju analizu kreiran je jedan dokument u *Microsoft Accessu* u koji su preneseni svi dokumenti txt o zabilježenim požarima i tablice s bodovima svake skupine požara (građevine, transportna sredstva, otvoreni prostori).

Nakon prijenosa podataka za svaku godinu dodan je novi stupac u koji su se upisivali bodovi putem izrađenog upita u *Microsoft Accessu*. Upit je izrađen tako da ažurira (dodjeljuje) bodove svakom požaru

prema šifri kojom su u šifrniku MUP-a klasificirani požari.

Sljedeći je korak zbrajanje bodova za svaku godinu po županijama/Gradu Zagrebu. U izvornim se podacima nalazio stupac s policijskim upravama u kojima su zabilježeni požari i na temelju toga zbrojeni su bodovi po županijama/Gradu Zagrebu. Bodovi su zbrojeni s pomoću novog upita u *Microsoft Accessu* pa je tako stvorena nova tablica s ukupnim bodovima za svaku godinu po policijskim upravama. S obzirom na to da je Policijska uprava zagrebačka obuhvatila i Zagrebačku županiju i Grad Zagreb, dodatno je izrađen jedan upit s pomoću kojega su zabilježeni požari odijeljeni na Zagrebačku županiju i Grad Zagreb. Nakon toga, stvorene tablice s ukupnim bodovima po godinama unesene su u kreiranu tablicu *Microsoft Excela* u kojoj je završno analizirana procjena opasnosti (tablica 1).

Stupanj opasnosti određen je na temelju težine. Težina predstavlja bodove (5, 10, 15, 20, 25), pri čemu je 5 najmanja težina, odnosno vrlo nizak stupanj opasnosti, dok je 25 najveća težina, odnosno vrlo visok stupanj opasnosti. Postupak određivanja težine napravljen je tako da su bodovi dobiveni po pojedinim godinama zbrojeni u ukupne bodove svih godina za županiju/Grad Zagreb. Zatim su određene granice kako bi se dobilo pet razreda kojima je dodijeljena težina. Dobiveni su rezultati kartografski prikazani uz pomoć programa za prostornu analizu, geostatističku analizu i analizu mreža (slika 4).

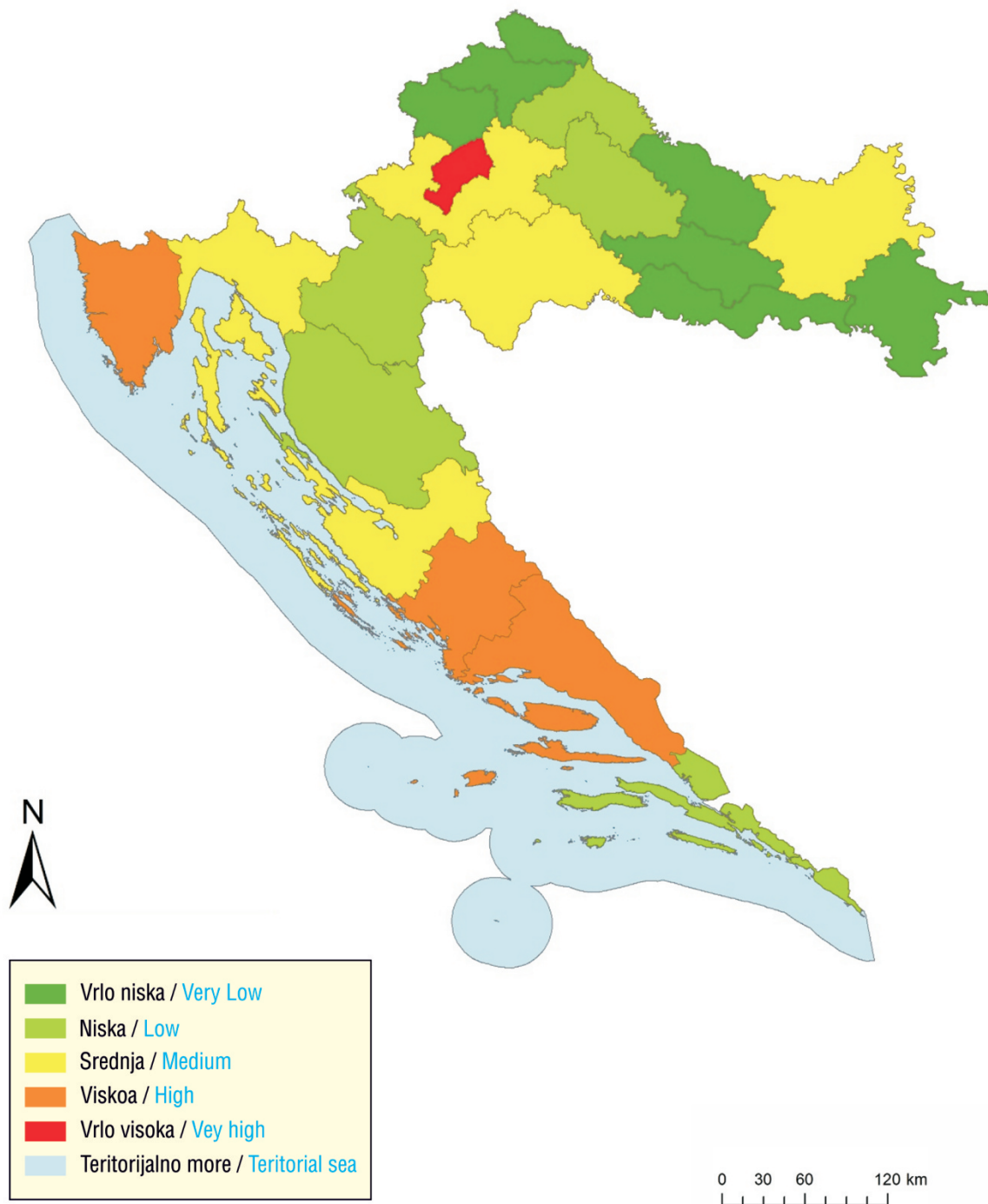


Fig. 4 Fire and explosion impact analysis.

Slika 4. Procjena opasnosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija.

separately. Based on original data, the total number of fires recorded from each police department was assigned points for each county and the City of Zagreb. As a result of a Microsoft query, a new table was created with the total points for each year per police station. A query was made to separate the data for Zagreb County and City of Zagreb. The final table was exported to a

Microsoft Excel table in which the final fire and explosion hazard impact was calculated (Table 1).

The level of hazard impact was determined by weight. Represented in points (5, 10, 15, 20, and 25), where 5 represented the lowest hazard impact level and 25 the highest hazard impact level. The weight was calculated as the sum of points for each year for

Tablica 1. Tablica Microsoft Excela u kojoj je izračunan stupanj opasnosti.

Table 1 Microsoft Excel Table of fire impact analysis.

Županije / County	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	Zbroj Sum	Indeks Index
Virovitičko-podravska	21250	35680	21660	16740	11470	19870	20460	14510	19640	14290	23330	22010	14270	25640	19610	19770	31290	29520	24570	28010	433590	
Virovitica-Podravina																						
Međimurska	53060	51930	47180	39150	28660	27180	36940	26970	31360	30430	33760	32850	27280	34540	35160	43780	30570	29960	22740	22380	685880	
Međimurje																						
Požesko-slavonska	25220	55460	38100	32260	30800	29990	45710	28900	28770	29470	49440	43340	33160	55430	23540	44660	32690	33980	43650	48050	752620	
Požega-Slavonija																						
Bjelovarsko-bilogorska	31910	57410	53070	29550	46310	49400	41050	40390	36340	26400	56430	58750	34470	61890	39200	58340	48710	36890	42080	30400	878990	
Bjelovar-Bilogora																						
Koprivničko-križevačka	25620	55630	43760	24640	30220	28610	43440	32350	30540	18180	35210	43950	25020	42680	86150	119750	81370	29330	28470	78010	902930	
Koprivnica-Križevci																						
Krapinsko-zagorska	37240	74930	70850	38610	44670	39600	38070	39480	52210	37840	52510	58020	49370	42500	30730	37010	36740	50220	44650	38870	914120	
Krapina-Zagorje																						
Ličko-senjska	37020	62530	61350	37880	47920	38510	59680	37200	40230	37900	61990	47830	45940	52070	38620	54090	62690	52130	61710	45590	982880	
Liika-Senj																						
Vukovarsko-srijemska	44140	92930	60540	27020	45460	63790	71540	36080	52460	42330	113120	60520	44260	67210	32140	89260	39420	31750	21940	25900	1061810	
Vukovar-Srijem																						
Karlovačka	30550	52430	53740	32350	37640	44350	54960	45110	44300	40240	62860	47790	52840	69090	48410	82790	83910	57340	52170	69970	1062840	
Šibensko-kninska	34150	63920	58990	35410	59940	55000	53380	68880	56090	54780	77340	67140	59170	84950	63970	93590	68950	53520	48360	37000	1194530	
Šibenik-Knin																						
Varaždinska	52190	78000	63030	48610	67290	71410	66430	68020	58320	43370	77930	72430	60730	84100	62940	69320	75130	63380	62570	47150	1292350	
Varaždin																						
Dubrovačko-neretvanska	33360	86980	48480	29290	48960	55860	73010	37990	48180	37620	85240	100740	76790	132720	98040	151310	103940	86110	73960	49670	1458250	
Dubrovnik-Neretva																						
Brodsko-posavska	87110	132700	125820	63760	88150	74780	117070	89870	80790	74900	102150	109130	89400	130590	188240	143230	105500	89330	70090	46000	2008610	
Brod-Posavina																						
Zadarska	92010	106800	117070	86180	90310	97690	109270	109690	100060	107120	175660	128990	179590	207070	25610	34230	23470	153010	148830	32260	2124920	
Zadar																						
Istarska	104520	180880	163780	99610	119440	108110	131610	121830	118010	108890	152150	111240	109980	159270	101050	152450	117570	97890	121060	96100	2475440	
Istra																						
Sisačko-moslavačka	61260	157940	107130	71730	114080	120910	148900	109650	110790	88880	174530	183490	125420	197170	192760	148010	52630	136550	110900	103640	2516370	
Sisak-Moslavina																						
Zagrebačka	69670	140890	201470	93500	134400	163800	148740	117590	116560	112040	172920	116250	126770	174150	139920	132530	178100	157350	49380	66620	2612650	
Zagreb																						
Osječko-baranjska	156410	206940	225720	141540	135340	210300	200520	134380	140520	154070	225250	118100	160140	262190	103970	200000	159180	212020	121450	42250	3310290	
Osijek-Baranja																						
Splitsko-dalmatinska	109340	202640	146030	91540	142720	133230	141330	151890	169740	148280	316200	184710	203030	226360	207300	153930	121940	143690	147470	182060	3323430	
Split-Dalmacija																						
Primorsko-goranska	140780	261950	305590	131200	169070	257420	225230	190210	166290	146530	250770	130980	158420	255430	174180	196660	259500	102060	56440	171010	3749720	
Primorje-Gorski Kotar																						
Grad Zagreb	246910	357810	390700	312970	392380	398470	388790	3955830	395120	389050	446150	366240	357470	408580	360720	389710	355440	358140	391610	318830	7420920	
City of Zagreb																						

Indeks:	Vrlo nisko	Nisko	Srednje	Visoko	Vrlo visoko
Index:	Very low	Low	Medium	High	Very high

the counties and City of Zagreb. The final result was a classes of fire hazard impact index. The results were cartographically visualized with GIS (Figure 4).

4. 2 Fire and explosion exposure analysis

Five types of assets were analysed to determine and examine the exposure risk, including the analysis of additional parameters for each group. *Microsoft Excel* was used for the quantitative analysis of spatial data. A weight value was assigned to each asset group to represent the calculated exposure level. The sum of the values was extracted for each asset group and served as a basis for further exposure level assessment.

4. 2. 1 Population

The first group of data analysed the spatial distribution of population, that is, population density by county and the City of Zagreb. Spatial distribution was analysed separately for county capitals and the City of Zagreb by number of inhabitants. The counties are divided into many municipalities, but for the analysis, only the county capitals were included. Apart from the county capitals, there are other areas in need of hazard protection through the organization of public fire brigades.

4. 2. 2 Infrastructure

The second group of analysed assets, the spatial distribution of critical human assets was examined. These include inland/river ports, harbours and terminals, refineries, gasworks, energy plants, airports, and residential buildings under local authorities. For the state-level analysis, the data on critical infrastructure were the most significant, and revealed threats to the disruption of functions in municipalities and counties, with the greatest need for operational forces at disaster sites. Other critical infrastructure was assumed to be more exposed to fire and explosion impact in areas with higher settlement density.

4. 2. 3 Roads

The third group of assets analysed was the spatial distribution of the traffic network, which included railway lines and roads. The railway data included single-track and two-track lines, and the length in kilometres of the track passing through the counties and the City of Zagreb. The road network included

highways, freeways, state roads, county roads, local roads and unclassified roads. The exposure of road infrastructure was calculated by the length in kilometres passing through the counties and the City of Zagreb. The road network was divided into three groups and the coefficient assigned to each group multiplied by the length of the road. The first group included highways and freeways with a coefficient of 2, the second group included state and county roads with a coefficient of 1 and the third group included local and unclassified roads with a coefficient of 0.5.

4. 2. 4 Industry

The fourth group of assets in the hazard impact assessment was the spatial distribution of industrial facilities and plants in the counties and City of Zagreb. This group of data included the total surface area of industrial facilities and mineral exploitation sites (in ha), the length of oil and gas pipelines (in km), and the length of power lines with a mains power input of 400kV, 220kV and 110kV (in km).

4. 2. 5 Public Services

The fifth group of data analysed in the hazard impact assessment covered public services in the counties and City of Zagreb. For the state-level analysis of hazard impact, the most significant public services were taken into account, such as the number of health institutions (hospitals), primary and secondary schools, and higher education institutions. Public spaces with a large number of people present a great risk of hazard impact. Spaces in which a large number of people congregate are highly exposed to potential undesirable events. Additionally, vulnerable groups of people in hospitals and children in schools make these areas difficult to evacuate in emergencies.

4. 2. 6 Exposure assessment

The final exposure assessment was calculated in *Microsoft Excel*, which included the total weights of all five groups of analysed assets (Table 2). The total exposure was calculated for each county and City of Zagreb so that the points from each group of data were collated in the column 'Total Exposure'. The exposure level was determined by weight. Weight was represented by points (5, 10, 15, 20, and 25), where 5 represented the lowest exposure level and 25 the highest exposure level. Based on the results, the level of exposure was calculated for each county and the City of Zagreb (Figure 5).

4. 2. Analiza procjene izloženosti

U analizi procjene izloženosti upotrijebljeno je pet glavnih skupina podataka, a u svakoj su od njih određene dodatne analizirane skupine podataka. Analiza je provedena u *Microsoft Excelu* gdje su izrađene tablice za svaku skupinu koje su služile za kvantitativnu analizu prostornih podataka. Za svaku je skupinu podataka izračunana ukupna težina, odnosno bodovi koji su služili za daljnje računanje procjene izloženosti.

4. 2. 1. Stanovništvo

Prva skupina analiziranih podataka bila je ona o prostornom rasporedu stanovništva, odnosno gustoći stanovništva po županijama i Gradu Zagrebu te broju stanovnika u sjedištu županije, odnosno u gradu Zagrebu. Županije se sastoje od više gradova i općina pa je za analizu uzet onaj grad ili općina u kojemu se nalazi sjedište županije, dok je za Grad Zagreb uzet podatak o broju stanovnika u gradu Zagrebu. Općepoznato je da je čovjek jedan od glavnih uzročnika izbijanja požara pa su tamo gdje je velika koncentracija stanovništva veće i mogućnosti za izbijanje požara. Jedinice područne samouprave s velikim brojem stanovnika, potrebno je zaštititi organizacijom javne vatrogasne službe.

4. 2. 2. Infrastruktura

Druga skupina analiziranih podataka pri procjeni izloženosti bila je ona o prostornom rasporedu objekata infrastrukture. Upotrijebljeni su podaci o broju riječnih luka, pristaništa i terminala, zatim podaci o broju postrojenja (rafinerije, plinska postrojenja, električna postrojenja), broj zračnih luka te gustoća naseljenih mjesta po jedinicama (područne) regionalne samouprave. Za analizu na razini države upotrijebljeni su podaci o infrastrukturi koji su najznačajniji i koji predstavljaju najveću opasnost u poremećaju funkcija u jedinicama (područne) regionalne samouprave i gdje se očekuje angažiranje najvećeg broja operativnih snaga u slučaju izbijanja požara. Ostala je infrastruktura obuhvaćena gustoćom naseljenih mjesta po jedinicama (područne) regionalne samouprave, uz pretpostavku da tamo gdje je veća gustoća naselja ima i više infrastrukturnih objekata koji čine potencijalnu izloženost požaru ili eksploziji.

4. 2. 3. Prometnice

Treća skupina analiziranih podataka pri procjeni izloženosti bila je prostorni raspored mreže promet-

nica koja sadrži željezničke pruge i cestovnu mrežu. Analiza željezničkih pruga obuhvatila je jednokolosiječne i dvokolosiječne pruge, a analizirana je duljina pruge izražena u kilometrima koja prolazi kroz područje županija i Grada Zagreba. Cestovna je mreža obuhvatila autoceste, brze ceste, državne ceste, županijske ceste, mjesne ceste i nerazvrstane ceste. Analizirana je njihova duljina izražena u kilometrima. Cestovna mreža razvrstana je u tri skupine pa je svakoj skupini dodijeljen koeficijent s kojim je pomnožena duljina ceste. Prvu skupinu čine autoceste i brze ceste s koeficijentom 2, drugu skupinu čine državne i županijske ceste s koeficijentom 1, a treću skupinu mjesne i nerazvrstane ceste s koeficijentom 0,5.

4. 2. 4. Industrija

Četvrtu skupinu analiziranih podataka pri procjeni izloženosti čine podaci o prostornom rasporedu industrije u županijama i Gradu Zagrebu. U tu je grupu podataka uključena površina industrijskih postrojenja i eksploatacije mineralnih sirovina (izraženo u hektarima), podaci o duljini naftovoda i magistralnih plinovoda (izraženo u kilometrima) te podaci o duljini dalekovoda koji sadrže vodove napona 400 kV, 220 kV i 110 kV (izražene u kilometrima).

4. 2. 5. Javne djelatnosti

Peta skupina analiziranih podataka jesu podaci o javnim djelatnostima na području županija i Grada Zagreba. Kao najznačajnije javne djelatnosti u analizi na razini države uzeti su podaci o broju zdravstvenih ustanova (bolnica), broju osnovnih škola i srednjih škola te broj visokoobrazovnih ustanova. Prostori u kojima boravi veći broj ljudi predstavljaju veliku izloženost mogućim neželjenim događajima, a navedeni su prostori upravo takvi. Uz to, u navedenim prostorima borave ranjive skupine ljudi poput pacijenata u bolnicama i djece u školama, što predstavlja otežane uvjete prilikom spašavanja u eventualnim neželjenim događajima.

4. 2. 6. Procjena izloženost

Stupanj izloženosti izrađen je u završnoj tablici *Microsoft Excela* u koju su unesene ukupne težine svih pet skupina podataka (tablica 2). Nakon toga, za svaku je županiju/Grad Zagreb izračunana ukupna izloženost tako da su bodovi iz svake skupine podataka zbrojeni u novi stupac „Ukupna izloženost“. Stupanj izloženosti određen je na temelju težine. Težina

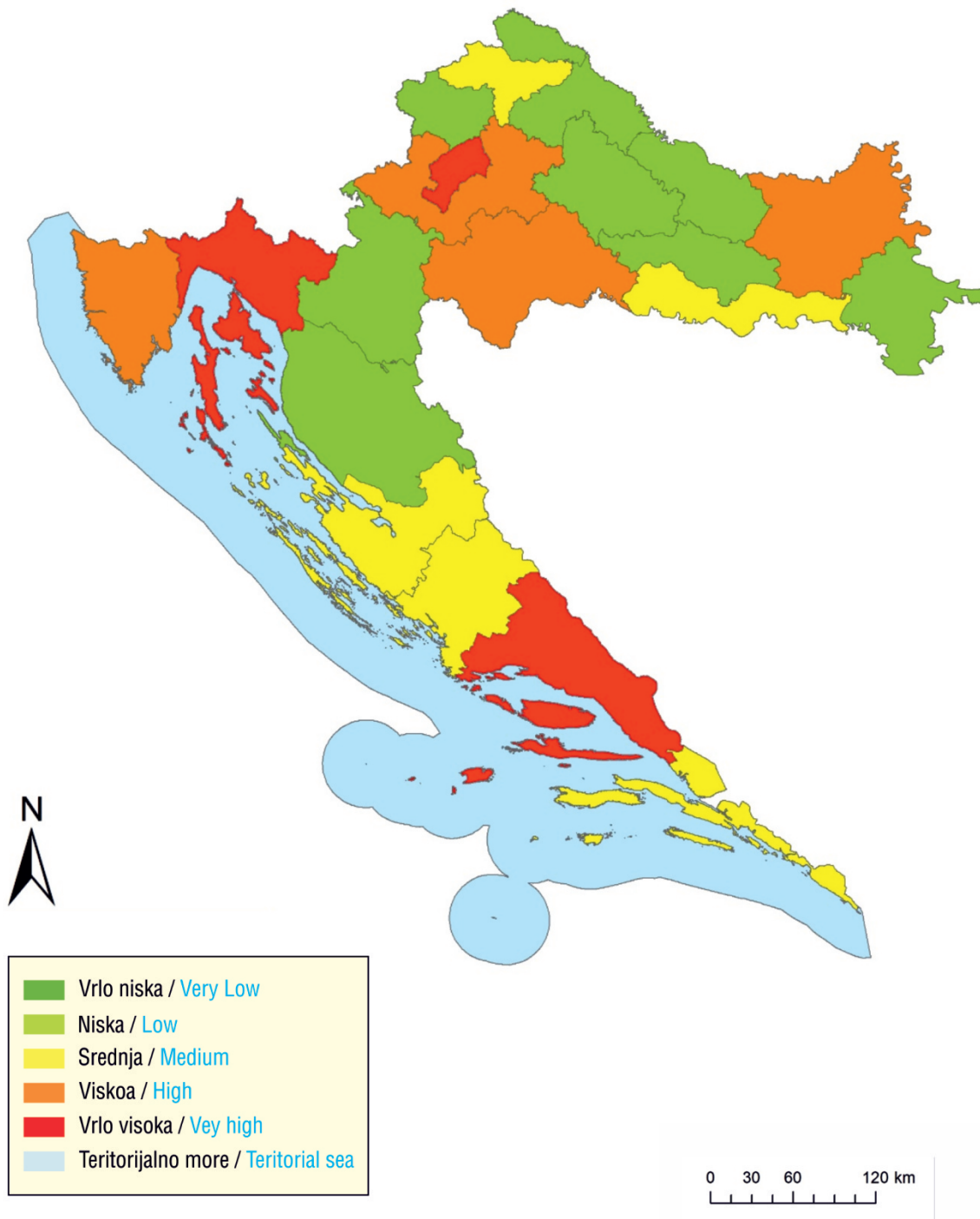


Fig. 5 Fire and explosion exposure assessment, Republic of Croatia.
Slika 5. Procjena izloženosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija.

4. 3 Fire and explosion resilience analysis

4. 3. 1 Coverage of fire service response times analysis

Performing spatial analysis using different software solutions can increase the effectiveness and preparedness of fire protection systems and help

Table 2 Microsoft Excel table with fire and explosion exposure levels. ►

Tablica 2. Tablica Microsoft Excela u kojoj je izračunan stupanj izloženosti. ►

Županija / County	Ukupna težina (stanovništvo) Total weight (population)	Ukupna težina (infrastruktura) Total weight (population)	Ukupna težina (prometnice) Total weight (roads)	Ukupna težina (industrija) Total weight (industry)	Ukupna težina (javne djelatnosti) Total weight (public services)	Ukupna izloženost Total exposure	Klasa izloženosti Exposure class	Indeks Index
Virovitičko-podravaska Virovitica-Podravina	7	20	7	16	8	58	10	
Međimurska Međimurje	15	25	7	16	8	71	10	
Požeško-slavonska Požega-Slavonija	7	20	7	27	12	73	10	
Bjelovarsko-bilogorska Bjelovar-Bilogora	7	25	10	17	16	75	10	
Koprivničko-križevačka Koprivnica-Križevci	10	25	10	21	12	78	10	
Krapinsko zagorska Krapina-Zagorje	15	25	10	16	12	78	10	
Ličko-senjska Lika-Senj	7	20	15	31	8	81	10	
Vukovarsko-srijemska Vukovar-Srijem	10	15	25	21	16	87	10	
Karlovačka Karlovac	12	20	20	21	16	89	10	
Šibensko-kninska Šibenik-Knin	7	20	15	30	20	92	15	
Varaždinska Varaždin	15	25	7	20	25	92	15	
Dubrovačko-neretvanska Dubrovnik-Neretva	10	50	4	16	20	100	15	
Brodsko-posavska Brod Posavina	15	35	25	26	16	117	15	
Zadarska Zadar	12	25	10	50	21	118	15	
Istarska Istra	10	40	20	40	25	135	20	
Sisačko-moslavačka Sisak-Moslavina	7	35	30	51	16	139	20	
Zagrebačka Zagreb	30	40	20	45	16	151	20	
Osječko-baranjska Osijek-Baranja	25	20	25	55	30	155	20	
Splitsko-dalmatinska Split Dalmacija	25	50	12	40	50	177	25	
Primorsko-goranska Primorje-Gorski Kotar	25	60	20	40	40	185	25	
Grad Zagreb City of Zagreb	40	30	22	35	70	197	25	

Zabilješke: / Notes:

IZLOŽENOST / EXPOSURE

Ukupni zbroj izloženost Total sum of exposure	2348
Broj županija Number of counties	21
Prosjeak Average	111,810
Standardna devijacija Standard deviation	40,429

	Raspon / Class	Klasa izloženosti / Exposure class	Indeks / Index
	0	0	Bez podataka No data
	>0 <=50	5	Vrlo nisko Very low
	>50 <=90	10	Nisko Low
	>90 <=130	15	Srednje Medium
	>130 <=170	20	Visoko High
	>170	25	Vrlo visoko Very high

increase the quality of decision-making. The total level of resilience was calculated based on spatial and temporal coverage of fire departments within the standard 15 minute intervention time. Using GIS, spatial and temporal coverage for emergency response vehicles can be calculated and the results presented visually on a map. Input data for the analysis included a road network model and locations of fire services (ESRI, 2007).

The road network model was calculated in two steps. The first step was to analyse and edit road attributes and geometry data taken from the database of the National Protection and Rescue Administration. The attribute table contained data on speed limits (km/h) and length (km) for every road segment in the network.

Road features are classified in five categories: highways, freeways, state roads, local roads and unclassified roads. Each category includes speed limit information which was updated so that the minimum speed limit on highways was 80 km/h the maximum speed limit on freeways 60 km/h, on state roads 50 km/h on local roads 40 km/h and on unclassified roads 30 km/h.

Before creating a road network model, the road network topology was validated and corrected. The topology was validated based on two rules:

1. Mark locations with line (road) intersections
2. Mark locations line (road) endings

When the topology was created, it was checked for possible violations of the rules. Any violation found was corrected according to a topographic map of the Republic of Croatia (1:25 000).

Once the topology was validated, a road network model was created using the *New Network Dataset* and the resulting model served as a basis for further analysis. This network model contained important traffic information, such as overpasses and underpasses, turning restrictions, and one-way streets. It is important to note that the road network model was only a representation of the real road network.

New Service Area was used to calculate the standard time for intervention by fire brigades. It was necessary to change settings to include locations of fire brigade units, and to change polygon parameters. The result was a polygon layer on the road network model representing the service area that could be reached within a given interval, set to 5, 10 or 15 minutes. *New Service Area* is useful when overlapping a service area polygon with population data, because the total number of residents reachable within a given time interval can be calculated.

Model Builder was used to calculate the service areas of fire brigades in the Republic of Croatia within time intervals of 5, 10 and 15 minutes. *Model Builder* is a visual programming language developed by ESRI for building geoprocessing workflows through object programming. It presents a model of your workflow containing input data, geoprocessing tools and final output results.

After the service zones were calculated in time intervals of 5, 10 and 15 minutes, the next step was to calculate the number of inhabitants and the total surface area covered within a given time interval. The model calculated the total number of inhabitants and total surface area within a 15-minute range of fire service facilities and automatically transferred the data to the service area attribute table for each county and the City of Zagreb.

Make Feature Layer, *Clip*, *Summary Statistic*, *Add Field*, *Calculate Field* and *Delete* were used. *Make Feature Layer* creates a temporary layer file, *Clip tool* extracts the overlapping and intersecting parts of the polygon representing cities and county boundaries, *Summary Statistic* serves for statistical calculations, *Add Field* adds a new column to the table, *Calculate Field* for statistical calculations within an attribute table and *Delete* for erasing wrong data.

4. 3. 2 Fire and explosion resilience analysis

The risk indicators of fire resilience at the national level have not yet been calculated in the Republic of Croatia. Therefore, the authors analysed the road network and spatial distribution of public fire brigades to determine the emergency response service area. To compare counties that differ in size and number of inhabitants, normalization was done according to both criteria, so that the coverage of the population and the area of each county was taken into account (Birkman, 2007). In the Republic of Croatia, the fire and explosion protection system is based on public fire brigades (JVP) and volunteer fire departments (DVD), with centralized spatial distribution. In northwest Croatia, there is a traditional spatial distribution of volunteer fire brigades and an uneven distribution of public fire brigades. The spatial distribution of fire brigades in Istria County is almost ideal compared to Split County, where the entire protection system is amateur (Sutlar and Antolović, 2013). How the system operates was perfectly illustrated in response to a huge fire in the Split area in 2017. Since the spatial distribution of professional units, which forms the basis of fire and explosion

predstavlja bodove (5, 10, 15, 20, 25), pri čemu je 5 najmanja težina, odnosno vrlo nizak stupanj izloženosti, dok je 25 najveća težina, odnosno vrlo visok stupanj izloženosti. Na temelju postavljenih razreda, odnosno dodijeljene težine, određen je stupanj izloženosti za svaku županiju/Grad Zagreb (slika 5).

4. 3. Analiza procjene otpornosti

4. 3. 1. Analiza dohvata unutar standardnog vremena za intervenciju

Upotreba programskih rješenja za izradu prostornih analiza omogućuje donošenje kvalitetnih odluka u procesu razvoja zaštite stanovništva i materijalnih dobara od požara. Jedan od važnih segmenata u tome je prostorni i vremenski dohvat vatrogasnih postrojbi unutar standardnog vremena za intervenciju od petnaest minuta. S pomoću GIS-a možemo izraditi takve prostorne analize i kartografski ih vizualizirati. Za izradu analize potrebno je imati model (simulaciju) prave cestovne mreže (ESRI 2007) i lokacije vatrogasnih postrojbi.

Da bismo mogli stvoriti model cestovne mreže, potrebno je prije toga učiniti dva koraka. U prvom koraku uređujemo podatke koji se nalaze u atributnoj tablici linijskog sloja cesta, preuzetog iz baze podataka DZUS-a. Atributna tablica mora sadržavati podatke potrebne za stvaranje modela cestovne mreže, a to su dozvoljena brzina kretanja vozila izražena u km/h i duljina ceste izražena u kilometrima.

Cestovna mreža podijeljena je u pet kategorija: autoceste, državne ceste, županijske ceste, mjesne ceste i ostale ceste (neklasificirane ceste i petlje). U sloju cesta unutar atributne tablice brzina kretanja vozila uređena je tako da na autocesti minimalna brzina kretanja iznosi 80 km/h, na državnoj cesti 60 km/h, na županijskoj cesti 50 km/h, na lokalnoj cesti 40 km/h, dok na ostalim cestama brzina iznosi 30 km/h.

Sljedeći je korak uređenje topologije sloja cesta. Topologija se uređuje tako da obuhvati dva temeljna uvjeta i to tako da se označe mjesta:

1. gdje se linije (ceste) sijeku
2. gdje je završetak linije (ceste).

Kad se kreira topologija, označena se mjesta provjeravaju i ispravljaju se eventualne pogreške. Za provjeru topologije koristila se topografska karta Republike Hrvatske u mjerilu 1 : 25 000.

Nakon što se topologija uredi, može se programom *New Network Dataset* napraviti model (simulacija) cestovne mreže. Tako dobiveni model služi kao osnova za daljnju analizu. Sadrži bitne informacije o

prometu poput pozicije nadvoznjaka/podvoznjaka, informacije o zabrani polukružnog okretanja ili informacije o jednosmjernim ulicama. Važno je istaknuti da je stvoreni *Network Dataset* samo reprezentacija cestovne mreže.

New Service Area je program s pomoću kojega smo dobili prikaz standardnog vremena za intervenciju vatrogasnih postrojbi. Bilo je potrebno namjestiti postavke, odabrati lokacije vatrogasnih postrojbi (u našem slučaju lokacije sjedišta javnih vatrogasnih postrojbi s ispostavama) i namjestiti parametre izrade poligona. Rezultat je izlazni poligon koji obuhvaća područja na cestovnoj mreži, odnosno linije (ceste) do kojih je moguće doći u zadanom vremenskom intervalu, u ovom slučaju od 5, 10 i 15 minuta. *New Service Area* je vrlo koristan jer se, na temelju izlaznih poligona, može upotrijebiti za računanje broja stanovnika ili površine obuhvaćene u zadanom vremenskom intervalu.

Za izradu servisnih zona javnih vatrogasnih postrojbi na području Republike Hrvatske unutar zadanih intervala od 5, 10 i 15 minuta upotrijebljen je *Model Builder*. To je vizualni programski jezik tvrtke ESRI koji omogućuje da kroz objektno programiranje izradimo tijek obrade podataka.

Nakon što su izrađene servisne zone unutar vremenskih intervala od 5, 10 i 15 minuta, sljedeći je korak računanje broja pokrivenih stanovnika i površina pokrivanja unutar zadanih intervala. Za to smo upotrijebili model koji je automatski izračunao sve potrebne podatke i odmah ih upisivao u atributnu tablicu kako to ne bismo morali posebno raditi za svaku županiju/Grad Zagreb.

Za model su upotrijebljeni *Make Feature Layer*, *Clip*, *Summary Statistic*, *Add Field*, *Calculate Filed* i *Delete*. *Make Feature Layer* je upotrijebljen za privremeno stvaranje sloja, *Clip* za izrezivanje sloja po granicama gradova i općina, *Summary Statistic* za odabir načina računanja polja, *Add Field* za dodavanje novog polja, *Calculate Filed* za računanje vrijednosti polja i *Delete* za brisanje suvišnih slojeva.

4. 3. 2. Procjena otpornosti

Kako u Republici Hrvatskoj ne postoje izračunani skupovi potrebnih pokazatelja za posredan izračun ranjivosti, odlučili smo se koristiti analizom mreže cesta i rasporeda JVP te na temelju toga izračunati zone pokrivanja. U zonama pokrivanja tada su u obzir uzeti broj stanovnika i površina zona unutar županije. Kako bi se mogle uspoređivati županije koje se razlikuju po površini i broju stanovnika, izvršena je normalizacija po oba kriterija tako da su u obzir

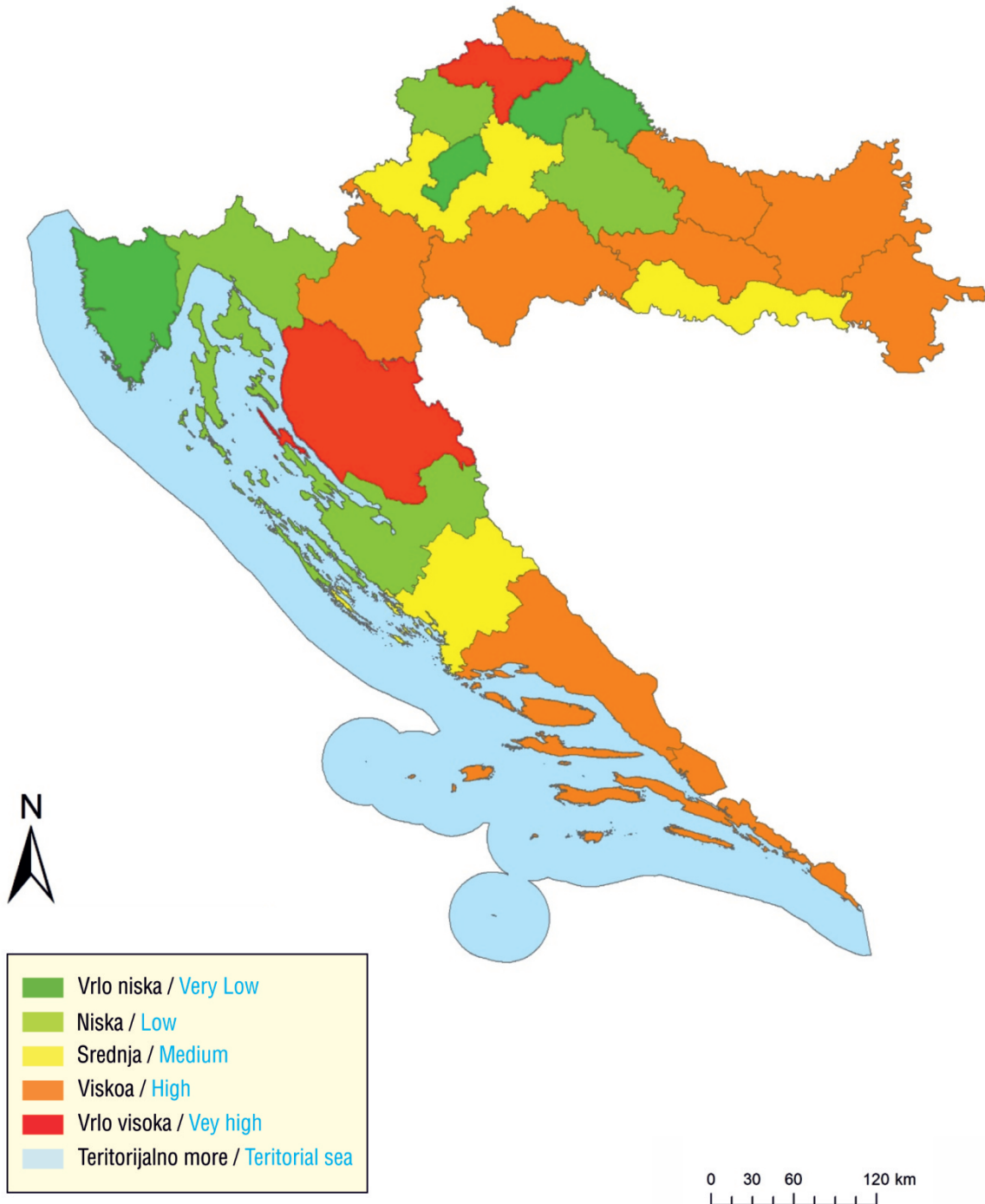


Fig. 6 Fire and explosion resilience analysis, Republic of Croatia.
Slika 6. Procjena otpornosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija.

protection, is a consequence of social, economic, historical and political influences in all counties, the authors suggest that the main indicator of resilience levels in Croatia should be calculated with the absolute and relative coverage of people and areas in each county. While in the previous vulnerability analysis, statistically derived socioeconomic parameters were

mostly used, for the first time, geostatistical methods at the state level were used to perform area and network analysis to calculate the model for resilience.

The resistance levels of the counties and City of Zagreb were transferred to a *Microsoft Excel* table which contained the results of the resilience analysis: the total surface area under protection; the total

Tablica 3. Tablica iz *Microsoft Excela* u kojoj je izračunan stupanj otpornosti.

Table 3 Resilience level of counties in the *Microsoft Excel* table.

Županija / County	Površina pokrivena Javnim vatrogasnom postrojbom Area covered by the professional fire protection system				Pokrivenost stanovništva Javnim vatrogasnom postrojbom Inhabitants area covered by the professional fire protection				Ukupna otpornost Total points	Klasa otpornosti Class of Resilience	Indeks Index
	Površina pokrivanja (km ²) Surface under service area (km ²)	Bodovi (površina pokrivanja) Points (surface-service area)	Postotak pokrivenih površina Surface in percentage	Bodovi (% pokrivenih površina) Points (surface-percentage)	Broj pokrivenih stanovnika Number of covered population	Bodovi (pokrivenost stanovnika) Points (covered population)	Postotak pokrivenih stanovnika Number of covered population (%)	Bodovi (% pokrivenog stanovništva) Points (%)			
Varaždinska Varaždin	244,62	5	19,39	5	80209	5	46,3	5	20	5	
Ličko-senjska Lika-Senj	553,04	10	10,33	5	20567	5	45,42	5	25	5	
Sisačko-moslavačka Sisak-Moslavina	623,91	15	13,97	5	92195	5	55,68	10	35	10	
Karlovačka Karlovac	507,88	10	14,01	5	81435	5	66,99	15	35	10	
Virovitičko-podravska Virovitica-Podravina	549,05	10	27,13	10	49312	5	59,22	10	35	10	
Požeško-slavonska Požega-Slavonija	404,94	10	22,21	10	46825	5	61,17	10	35	10	
Osječko-baranjska Osijek-Baranja	753,59	15	18,14	5	173211	10	57,14	10	40	10	
Vukovarsko-srijemska Vukovar-Srijem	597,50	10	24,34	10	104406	10	58,47	10	40	10	
Splitsko-dalmatinska Split-Dalmacija	263,38	5	5,80	5	250156	15	55,68	10	35	10	
Dubrovačko-neretvanska Dubrovnik-Neretva	503,90	10	28,30	10	86071	5	71,3	15	40	10	
Međimurska Međimurje	302,55	5	41,50	20	66931	5	59,42	10	40	10	
Zagrebačka Zagreb	763,66	15	24,95	10	179675	10	57,54	10	45	15	
Brodsko-posavska Brod-Posavina	471,58	10	23,24	10	101667	10	64,55	15	45	15	
Šibensko-kninska Šibenik-Knin	766,91	15	25,70	10	78167	5	74,14	15	45	15	
Krapinsko zagorska Krapina-Zagorje	690,81	15	56,19	25	94200	5	73,76	15	60	20	
Bjelovarsko-bilogorska Bjelovar-Bilogora	1015,94	25	38,48	15	87400	5	74,89	15	60	20	
Primorsko-goranska Primorje-Gorski Kotar	655,74	15	18,28	5	243312	15	82,96	20	55	20	
Zadarska Zadar	812,53	20	22,28	10	110525	10	66,6	15	55	20	
Koprivničko-križevačka Koprivnica-Križevci	841,94	20	48,15	20	89080	5	78,78	20	65	25	
Istarska Istra	1094,49	25	38,91	15	165733	10	81,48	20	70	25	
Grad Zagreb City of Zagreb	420,93	10	65,63	25	775193	25	98,2	25	85	25	

Zabilješke: / Notes:

	Raspon Class	Klasa otpornosti Class of Resilience	Indeks Index
OTPORNOST / RESILIENCE			Bez podataka No data
Ukupni zbroj izloženost Total sum of exposure	0	0	Vrlo nisko Very low
Broj županija Number of counties	>0 <=31	5	Nisko Low
Prosjeak Average	OTPORNOST RESILIENCE	>31 <=41	Srednje Medium
Standardna devijacija Standard deviation	>41 <=51	15	Visoko High
	>51 <=61	20	Vrlo visoko Very high
	>61	25	

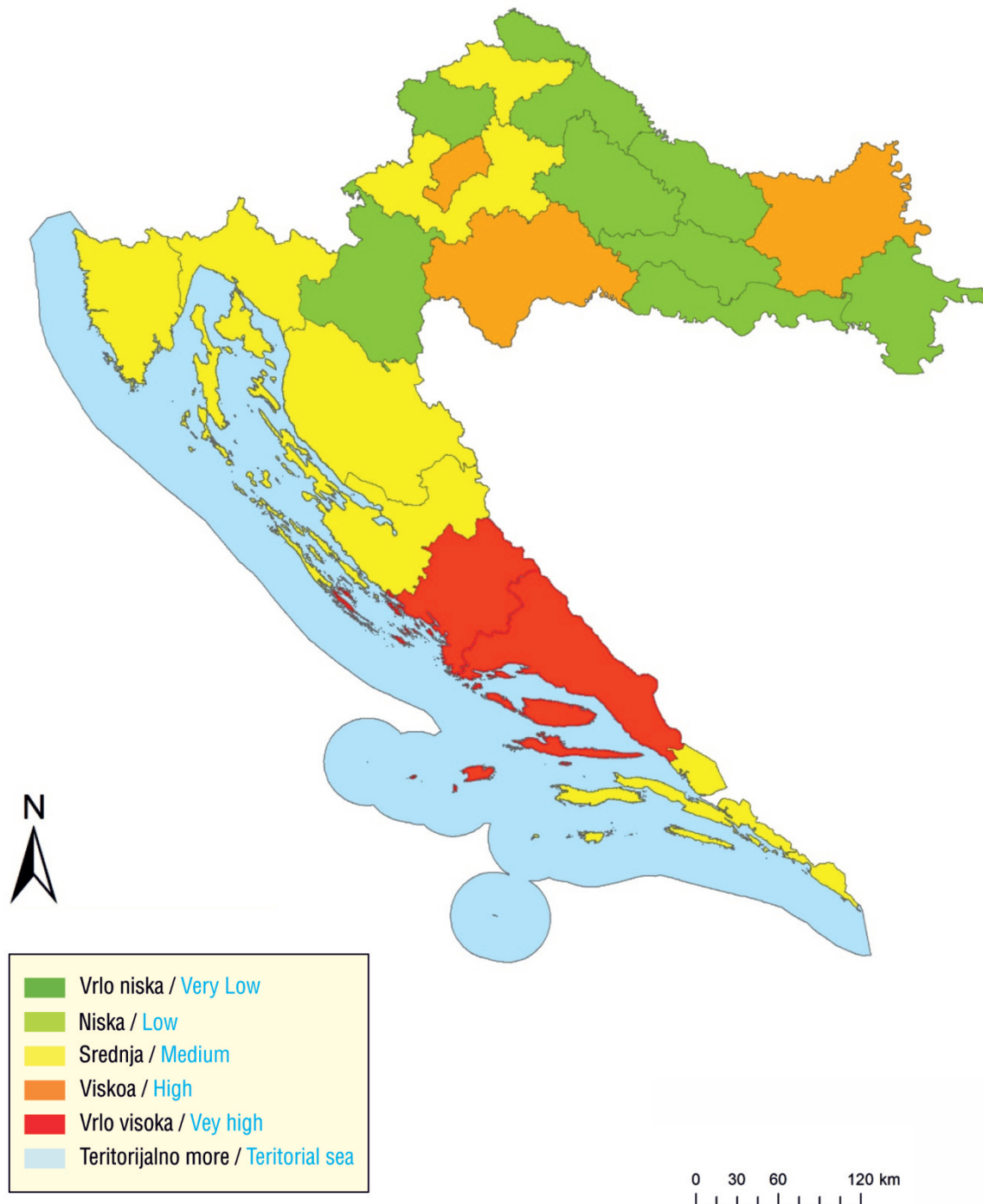


Fig. 7 Fire and explosion risk assessment, Republic of Croatia.
Slika 7. Procjena ugroženosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija.

surface area under protection as a percentage; the number of inhabitants, and the number of inhabitants as a percentage (Table 3). Next, the total resilience level was calculated for each county and the City of Zagreb, based on the sum of points assigned to each category in a new column named ‘Total resilience level’. The level of resistance was determined

Table 4 Fire risk level for counties and the City of Zagreb in a *Microsoft Excel* table. ▶

Tablica 4. Tablica iz *Microsoft Excela* u kojoj je izračunan stupanj ugroženosti. ▶

Županija / County	Opasnost Hazard	Izloženost Exposure	Otpornost Resilience	Ukupna ugroženost Total risk	Klasa ugroženosti Class of Risk	Indeks Index
Krapinsko zagorska Krapina-Zagorje	5	10	20	2,5	10	
Karlovačka / Karlovac	10	10	10	10	10	
Koprivničko-križevačka Koprivnica-Križevci	10	10	25	4	10	
Bjelovarsko-bilogorska Bjelovar-Bilogora	10	10	20	5	10	
Virovitičko-podravska Virovitica-Pođravina	5	10	10	5	10	
Požeško-slavonska Požega-Slavonija	5	10	10	5	10	
Brodsko-posavska Brod-Posavina	5	15	15	5	10	
Vukovarsko-srijemska Vukovar-Srijem	5	10	10	5	10	
Međimurska / Međimurje	5	10	10	5	10	
Zagrebačka / Zagreb	15	20	15	20	15	
Varaždinska / Varaždin	5	15	5	15	15	
Primorsko-goranska Primorje-Gorski Kotar	15	25	20	18,8	15	
Ličko-senjska / Lika-Senj	10	10	5	20	15	
Zadarska / Zadar	15	15	20	11,3	15	
Istarska / Istra	20	20	25	16	15	
Dubrovačko-neretvanska Dubrovnik-Neretva	10	15	10	15	15	
Sisačko-moslavačka Sisak-Moslavina	15	15	10	22,5	20	
Osječko-baranjska Osijek-Baranja	15	20	10	30	20	
Grad Zagreb / City of Zagreb	25	25	25	25	20	
Šibensko-kninska Šibenik-Knin	20	25	15	33,3	25	
Splitsko-dalmatinska Split-Dalmacija	20	20	10	40	25	

Zabilješke: / Notes:

UGROŽENOST / RISK

Ukupni zbroj izloženost Total sum of exposure	313,33
Broj županija Number of counties	21
Prosjek Average	14,92
Standardna devijacija Standard deviation	10,52

Raspon	Class	Klasa ugroženosti Class of Risk	Indeks Index
0		0	Bez podataka No data
<=0		5	Vrlo nisko Very low
>0 <=10	UGROŽENOST RISK	10	Nisko Low
>10 <=20		15	Srednje Medium
>20 <=30		20	Visoko High
>30		25	Vrlo visoko Very high

by weight. Weight represented points (5, 10, 15, 20, or 25), where 5 represented the lowest resilience level and 25 the highest resilience level. Based on the classes, the level of exposure was calculated for each county and the City of Zagreb (Figure 6).

5 Risk Assessment

Risk assessment in the Republic of Croatia was calculated based on the formula presented in the methodological notes. *Microsoft Excel* (Table 4) was used to calculate the fire risk assessment, and the results were presented on a map using GIS.

Risk assessment was calculated based on a formula. The level of risk was determined by weight. Weight represented points (5, 10, 15, 20, and 25), where 5 represented the lowest risk level and 25 the highest risk level. Based on the classes, the level of risk was calculated for each county and the City of Zagreb (Figure 7).

6 Conclusion

The research proposed a methodological model for fire and explosion risk assessment in the Republic of Croatia, based on the available statistical and geospatial data. Geospatial data processing was calculated in GIS and spatial analysis of the data was calculated using *Microsoft Excel*. The results of the research were different levels of hazard impact, exposure and resilience calculated for each county, to determine fire and explosion risk levels together and provide spatial

visualizations of the data on a map. Areas with low coverage were identified as in need of an immediate reaction from the state, in order to protect as many people as possible and increase the coverage of service zones. Previous risk assessments were calculated based on a spatial analysis of hazard impact and exposure, while the vulnerability level was derived from socioeconomic parameters. The authors used all three components in the spatial analysis to calculate the input data for risk assessment. The methodology for calculating fire and explosion risk assessment has not yet been developed at the scientific level, nor has a complete spatial analysis been carried out to identify areas with the highest levels of fire and explosion risks. Therefore, this research has a high application value, because the proposed model would increase the efficiency of emergency services and the protection of people, material and cultural goods. The results of the research contribute to securing the quality of planning and developing emergency response units for all actors in civil and hazard protection.

Data

Data on fire hazard interventions that occurred from 1994 to 2013 were provided by the Ministry of Interior Affairs and were released to the National Protection and Rescue Directorate. Data on critical infrastructure, populations and fire departments were provided by the National Protection and Rescue Directorate.

References / Literatura

- Birkman J (2007) Risk and Vulnerability Indicators at Different Scales, Applicability, Usefulness and Policy Implications, *Environmental Hazards*, Vol. 7, No. 1, 20–31
- Cordona O D (2005) A System of Indicators for Disaster Risk Management in the Americas, <https://www.unisdr.org/2005/HFdialogue/download/tp3-paper-system-indicators.pdf> (Accessed 25 Oct 2016)
- Dilley M, Chen R S, Deichmann U, Lerner-Lam A L, Arnold M, Agwe J, Buys P, Kjevstad O, Lyon B, Yetman G (2005) *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*, World Bank, Vol. 1, No. 5, 23–34
- Držaić D, Kavran M, Antolović A (2014) Određivanje mjesta sezonskog premještanja vatrogasnih postrojbi u Šibensko-kninskoj županiji na temelju analize mreže cesta, *Kartografija i Geoinformacije*, Vol. 13, No. 22, 20–31
- ESRI (2007) GIS for Fire Station Locations and Response Protocol. In: *An ESRI White Paper* <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/gis-for-fire.pdf> (Accessed 25 Oct 2016)
- Magaš D (2013) *Geografija Hrvatske, Meridijani*, Zadar
- Netolicki A, Blažević T, Antolović A (2012) Višekriterijska analiza rizika od požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji, *Kartografija i Geoinformacije*, Vol. 11, No.17, 5–24
- Sutlar Ž, Antolović A (2013): *Crvena knjiga-izvješće o vatrogastvu*, Državna uprava za zaštitu i spašavanje
- United Nations (2009) *Disaster Risk Reduction in the United Nations*. In: *International Strategy for Disaster Reduction*, https://www.unisdr.org/files/9866_DisasterRiskReductionintheUnitedNat.pdf (Accessed 25 Oct 2016)
- Vlada Republike Hrvatske (2004) Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, *Narodne novine*, 110/2004, Zagreb

uzeti i postotni udjeli pokrivenosti stanovništva i površine županije (Birkman 2007). U Republici Hrvatskoj sustav se zaštite od požara i eksplozija temelji na javnim vatrogasnim postrojbama i središnjim dobrovoljnim vatrogasnim društvima koji su nejednoliko raspoređeni. U sjeverozapadnoj Hrvatskoj prevladava tradicionalni raspored dobrovoljnih vatrogasnih društava uz nejednolik raspored JVP-a. U Istri je raspored idealno postavljen, dok se u Splitsko-dalmatinskoj županiji očituje amaterizacija sustava (Sutlar i Antolović 2013). Amaterizacija sustava dovodi do gubitka sposobnosti što je bilo posebno vidljivo u splitskom požaru 2017. godine. Kako je raspored profesionalnih javnih vatrogasnih postrojbi na kojima se temelji zaštita od požara i eksplozija posljedica društvenih, ekonomskih, povijesnih i političkih datosti pojedine županije, autori predlažu da se zone pokrivanja s apsolutnom i relativnom pokrivenošću stanovništva i prostora uzmu kao pokazatelj otpornosti sustava. Dok se u dosadašnjim procjenama za određivanje ranjivosti posredno koristio skup statistički izvedenih socioekonomskih pokazatelja, autori po prvi put koriste izravno geostatističke metode analize prostora i analize mreža za računanje otpornosti.

Stupanj otpornosti županija i Grada Zagreba izrađen je u završnoj tablici *Microsoft Excela* u koju su uneseni rezultati analize procjene otpornosti, odnosno površina pokrivanja, postotak pokrivanja, pokrivenost stanovništva te postotak pokrivenosti stanovništva (tablica 3). Nakon toga za svaku je županiju i Grad Zagreb izračunana ukupna otpornost tako da su bodovi iz svake grupe podataka zbrojeni u novom stupcu „Ukupna otpornost“. Stupanj otpornosti određen je na temelju težine. Težina predstavlja bodove (5, 10, 15, 20, 25), gdje je 5 najmanja težina, odnosno vrlo nizak stupanj izloženosti, dok je 25 najveća težina, odnosno vrlo visok stupanj izloženosti. Na temelju postavljenih razreda, odnosno dodijeljene težine, određen je stupanj otpornosti za svaku županiju/Grad Zagreb (slika 6).

5. Procjena ugroženosti

Procjena ugroženosti Republike Hrvatske izračunana je na temelju prethodno postavljene formule. Za računanje je upotrijebljena tablica u *Microsoft Excelu* (tablica 4), dok su rezultati kartografski prikazani s pomoću programa za prostornu analizu, geostatističku analizu i analizu mreža.

Prvi je korak u određivanju stupnja ugroženosti računanje bodova ugroženosti na temelju postavljene formule. Stupanj ugroženosti određen je na temelju težine. Težina predstavlja bodove (5, 10, 15, 20, 25),

gdje je 5 najmanja težina, odnosno vrlo nizak stupanj izloženosti, dok je 25 najveća težina, odnosno vrlo visok stupanj izloženosti. Na temelju postavljenih razreda, odnosno dodijeljene težine, određen je stupanj ugroženosti za svaku županiju/Grad Zagreb (slika 7).

6. Zaključak

Provedenim je istraživanjem na temelju dostupnih podataka napravljen prijedlog metodologije za izradu procjene ugroženosti od požara i eksplozija za Republiku Hrvatsku. Provedene su prostorne analize u GIS-u i analiza podataka na temelju odabrane metodologije izrade procjene ugroženosti. Dobiveni rezultati procjena opasnosti, izloženosti i otpornosti vrednovani su te kartografski prikazani. Naposlijetku je određen stupanj ugroženosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija. Određivanjem stupnja ugroženosti Republike Hrvatske od požara i eksplozija prepoznate su jedinice područne (regionalne) samouprave u kojima je potrebna reakcija državnih čelnika u cilju zaštite što većeg broja stanovnika kako bi se površina pokrivenosti proširila na onaj prostor jedinica područne (regionalne) samouprave koji nije zaštićen.

Do sada su se procjene ugroženosti izrađivale upotrebom prostornih analiza (opasnost, izloženost), dok se ranjivost računala posredno iz socioekonomskih pokazatelja. Kako bi došli do potrebnih podataka za računanje ugroženosti, autori po prvi put za sve tri komponente rabe prostorne analize.

Na znanstvenoj razini do sada nije izrađena metodologija određivanja procjene ugroženosti od požara i eksplozija pa nije ni provedena cjelovita prostorna analiza koja bi omogućavala prepoznavanje ugroženih prostora. Stoga ovaj rad ima vrlo veliku aplikativnu vrijednost jer je njime dan model kako se prostornim analizama mogu odrediti područja jedinica područne samouprave u kojima je potrebno osigurati veću zaštitu stanovnika, materijalnih i kulturnih dobara te okoliša. Uz to, doprinosi boljem i kvalitetnijem odlučivanju za sve aktere u planiranju, razvoju i djelovanju na području zaštite građana.

Podatci

Podatci o zabilježenim požarima su od Ministarstva unutarnjih poslova dani na korištenje Državnoj upravi za zaštitu i spašavanje.

Podatci o kritičnoj infrastrukturi, stanovništvu i vatrogasnim postrojbama dolaze iz Državne uprave za zaštitu i spašavanje.