

UNIVERZITET U BEOGRADU
ŠUMARSKI FAKULTET
KATEDRA ZAŠTITE ŠUMA

**Ministarstvu Poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede
Upravi za šume**

IZVEŠTAJ

Projekat:

PROGNOZIRANJE OPASNOSTI I RANA DETEKCIJA POŽARA NA PODRUČJU REPUBLIKE SRBIJE

Ugovor br.: 401-00-1713/2019-10

Dr Slobodan Milanović

Beograd, 26.10.2020.

ISTRAŽIVAČI:

1. Dr Slobodan Milanović, vanredni profesor (ŠF-KZŠ)
2. Ana Mihalović, dipl. meteorolog (RHMZ)
3. Nenad Marković, dipl. inž. šum. (JP SRBIJAŠUME)
4. Dr Slađan Milanović, naučni savetnik (IMI- Biomedicinski inženjering i biofizika)
5. Dr Dragan Pamučar, vanredni profesor (Univerzitet odbrane)
6. Dr Ljubomir Gigović, vanredni profesor (Univerzitet odbrane)

Beograd, 26.10.2020.

RUKOVODILAC PROJEKTA

DEKAN ŠUMARSKOG FAKULTETA

dr Slobodan Milanović, van. prof.

M.P.

dr Ratko Ristić, red. prof.

Opšti podaci o projektu

Informacije o podnosiocu prijave projekta	
Naziv institucije:	Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet
Adresa:	Kneza Višeslava 1, 11000 Beograd
PIB:	101833051
Matični broj:	07009291
Broj računa:	840-1878666-42

Naziv projekta:	Prognoziranje opasnosti i rana detekcija požara na području Srbije
-----------------	--

Tip projekta:	☐ Edukacija i promocija ☒ Razvojno istraživački ☐ Ostali projekti
---------------	---

RUKOVODILAC PROJEKTA	
Prezime i ime:	Dr Slobodan Milanović
Telefon:	011- 3053882
Mobilni telefon:	+381 63 888 6119
e-mail:	slobodan.milanovic@sfb.bg.ac.rs
Funkcija u organizaciji:	Rukovodilac Centra za istraživanje šumskih požara, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet
Napomena:	
PROJEKAT ODOBRILO (ODGOVORNO LICE)	
Prezime i ime:	Dr Ratko Ristić
Funkcija u organizaciji:	Dekan

PROJEKTNI TIM:			
R. br.	Ime i prezime, zvanje	Potpis	Angažovanje (istraživač/ meseci)
1.	Dr Slobodan ¹ Milanović, van. prof. (ŠF-KZŠ)		4
2.	Ana Mihalović, dipl. meteorolog. (RHMZ)		2
3.	Nenad Marković, dipl. inž. šum. (JP SŠ)		4
4.	Dr Slađan ² Milanović, naučni savetnik (IMI- Biomedicinski inženjering i biofizika)		4
5.	Dr Dragan Pamučar, van. prof. (Univerzitet odbrane)		3
6	Dr Ljubomir Gigović, van. prof. (Univerzitet odbrane)		3

Predlog dinamike sprovođenja projekta od momenta potpisivanja ugovora	
Vremenski period potreban za početak realizacije projekta:	15 dana
Vremenski period potreban za završetak projekta:	6 meseci
Najkasniji rok za početak aktivnosti u projektu (upisati datum):	15/10/2019
Vreme trajanja projekta:	6 meseci
Da li je projekat nastavak prošlogodišnjeg? (upisati da ili ne)	da

Predlog iznosa sredstava za finansiranje projekta (budžet projekta)	
Iznos ukupnog budžeta projekta (u DIN):	2,206,560.11
Iznos dela sredstava za 1. godinu projekta (u DIN):	
Iznos dela budžeta projekta koji se finansira iz sredstava za zaštitu i unapređenje šuma (ukoliko je obezbeđeno sufinansiranje) (u DIN):	

Sadržaj

OPŠTI PODACI O PROJEKTU	1
1 UVOD	2
2. OPIS PROJEKTA	2
REZULTATI ISTRAŽIVANJA	5
A. „STATIČKA“ KARTA OPASNOSTI POJAVE POŽARA ZA PODRUČJE SRBIJE	5
A1. MATERIJAL I METODE ZA IZRADU STACIONARNE KARTE	5
A.2. REZULTATI STATIČKIH MODELA VEROVATNOĆE POJAVE POŽARA	23
A.2.1 ŠUMSKA PODRUČJA NA GEOPROSTORU ISTOK	23
A.2.2 ŠUMSKA PODRUČJA NA GEOPROSTORU ZAPAD	25
A.2.3 ŠUMSKA PODRUČJA NA GEOPROSTORU VOJVODINA	27
B. OPTIMIZACIJA POZICIJA KAMERA I RUTA DRONOVA ZA RANU DETEKCIJU POŽARA	30
B. 1. METODE ZA OPTIMIZACIJU	30
B.2.1 REZULTATI KARTOGRAFSKA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA - ŠUMSKA PODRUČJA NA GEOPROSTORU ISTOČNE SRBIJE	39
B.2.2 KARTOGRAFSKA I GEOSTATISTIČKA ANALIZA - ŠUMSKA PODRUČJA NA GEOPROSTORU ZAPADNE SRBIJE	44
B.2.3 REZULTATI KARTOGRAFSKE I GEOSTATISTIČKE ANALIZA - ŠUMSKA PODRUČJA NA GEOPROSTORU VOJVODINE	50
C. IZRADA MODELA ZA PROCENU OPASNOSTI OD POŽARA KAO OSNOVA ZA „DINAMIČKU“ KARTU OPASNOSTI OD POŽARA ZA PODRUČJE SRBIJE	57
MODELI ZA PROCENU OPASNOSTI OD POŽARA KAO OSNOVA ZA DINAMIČKU KARTU OPASNOSTI OD POŽARA ZA TERITORIJU SRBIJE	57
D. IZRADA BAZE PODATAKA SVIM RELEVANTNIM PODACIMA PRIKUPLJENIM OD POČETKA ISTRAŽIVANJA	63
Ahitektura sistema za praćenje pojave šumskih požara	63

1 Uvod

2. Opis projekta

Opis trenutnog stanja. Šumski požari predstavljaju najdestruktivniji vid devastacije šumskih ekosistema. U vrlo kratkom vremenskom periodu mogu da nestanu velike površine pod šumom sa katastrofalnim posledicama po životnu sredinu. Pored direktnih šteta usled uništene drvene mase, bivaju narušene i sve ostale funkcije šume pa se ukupna šteta mnogostruko uvećava. Nakon požara, vrlo često beležimo eskalaciju drugih destruktivnih faktora, kao što su prenamnožanja insekata i biljnih bolesti, koji dodatno destabilizuju opožarene i neopožarene površine, čime se površina bez šume uvećava. Smanjenje površina pod šumom povećava opasnost od bujičnih tokova u brdskim predelima i poplava u nizijama. Statistički podaci pokazuju da se učestalost požara, kao i ukupna opožarena površina, povećava iz godine u godinu. Rast opasnosti i šteta od požara se može dovesti u vezu sa klimatskim promenama. S obzirom na klimatske scenarije, koji predviđaju rast prosečnih temperatura od 4-6°C do kraja ovog stoleća, smanjenje ukupne količine padavina i njihovu neravnomernu distribuciju tokom godine sa dugim periodima suše tokom leta, može se očekivati dodatno povećanje učestalosti požara i povećanje opožarenih površina na području Srbije. S obzirom da u Srbiji ne postoji sistem prognoziranja opasnosti od požara, izgradnja jednog ovakvog sistema se nameće kao imperativ.

Istraživanjima koja su sprovedena u periodu 2017-2019. godine izvršena je analiza postojećih sistema za prognozu opasnosti od požara u svetu. Potom su analizirani domaći resursi neophodni za primenu pojedinih sistema na osnovu čega je izabran kanadski FWI sistem kao osnova za prognoziranje opasnosti od požara. Retrospektivnom analizom požara u periodu 2012-2018. izvršeno je prikupljanje relevantnih podataka za testiranje i kalibraciju izabranog sistema. Pored FWI i njegovih komponenti testirani su i drugi abiotički, biotički i antropogeni faktori koji utiču na pojavu i ponašanje požara nakon čega je izvršeno njihovo rangiranje po značaju. Tokom 2018. i 2019. godine kreirana je „statička“ karta verovatnoće pojave požara za sledeća šumska područja: Severnokućajsko, Južnokućajsko, Timočko, Moravsko, Jablaničko, Topličko i Rasinsko. Za isti prostor je kreiran dinamički model koji omogućuju određivanje verovatnoće pojave požara na dnevnoj osnovi i u rezoluciji 1 ×1 km. Nakon analize postojećih sistema za ranu detekciju opasnosti od požara kao analiza domaćih resursa neophodnih za primenu pojedinih sistema date su sugestije za primenu video nadzora u kombinaciji sa bespilotnom letelicama koje bi mogle da nadziru područja koja nisu pokrivena video nadzorom u vreme povišene opasnosti od požara. Tokom 2018-2019. godine a na osnovu „statičke“ karte opasnosti od požara, ali i drugih relevantnih parametara izvršena je optimizacija lokacija za postavljanje kamera za video nadzor. Za prostore koji nisu pokriveni kamerama projektovane su rute za video nadzor dronovima, koji bi se aktivirali po potrebi a na osnovu dinamičkog modela za određivanje verovatnoće pojave požara na dnevnom nivou.

Obrazloženje značaja projektnih aktivnosti. Da bi se predupredile štete po šumu ali i po čitavo društvo, neophodno je izgraditi savremeni sistem zaštite šuma od požara kojim bi se štetne posledice svele na najmanju moguću meru. Ovaj sistem mora da omogućiti prognozu opasnost od požara. Na osnovu prognoze moguće je vršiti alokaciju ljudskih i materijalnih resursa neophodnih za brzo i efikasno gašenje požara iz područja nižeg u područja sa višim rizikom. U područjima sa povišenom opasnošću od požara intenzivira se osmatranje i omogućuje rana detekcija nastalih požara, što sve za posledicu ima smanjenje površina zahvaćenih požarom. Izrada ovakvog sistema bi omogućila svim

subjektima koji su uključeni u kontrolu požara ili su pogođeni negativnim posledicama da bolje planiraju svoje resurse kako bi štete svele na najmanju moguću meru.

Procena uticaja projekta na razvoj sektora. Sve mere koje se preduzimaju sa ciljem da se smanje štete do kojih dolazi usled delovanja, biotičkih, abiotičkih i antropogenih faktora omogućuju normalno funkcionisanje šumarstva i na taj način daju indirektan doprinos razvoja sektora. Požari kao najdestruktivniji izazivač šteta u šumi svake godine odnose u nepovrat na stotine i hiljade hektara naših šuma. Realizacijom ovog projekta napraviće se prvi značajan korak u sistematskom rešavanju ovog problema tako što će se definisati način na koji će se pristupiti vštiti prognoziranje verovatnoće pojave požara i rane detekcije nastalih požara.

Održivost rezultata i efekata projekta. Očekivani rezultati omogućuju realizaciju naredne faze ovog projekta koja bi trebalo da dovede do razvoja i implementacije sistema za prognozu opasnosti od šumskih požara na teritoriji cele države, što bi trebalo trajno da reši ovaj nedostatak u sektoru šumarstva.

Efekti projekta na sektor šumarstva su indirektni i ogledaju se u smanjenju šteta i troškova tokom gašenja i sanacije površina stradalih od požara. Kao ilustraciju navodimo podatke iz studije Svetske banke pod nazivom „Study on Economic Benefits of RHMS of Serbia”, gde se navodi se da je samo tokom. 2007. godine registrovano je 258 šumskih požara na površini od 33.000 hektara rastinja (16.000 hektara pod šumama), pri čemu su ovi požari izazvali štetu od oko 40 miliona evra a da je za sanaciju potrebno 24 miliona evra, kao i da indirektna šteta nije procenjivana. Imajući u vidu evidentne klimatske promene i činjenicu da kao posledicu gotovo svake 5 godine imamo povećanu učestalost šumskih požara, kao na primer 2002, 2007 i 2012. godine mogu se očekivati slične štete onim zabeleženim 2007. godine. Prognoziranje opasnosti od šumskih požara omogućiće alokaciju ljudskih resursa i tehničkih sredstava za gašenje požara iz oblasti nižeg rizika u oblasti sa povišenim rizikom što će omogućiti brzu reakciju i smanjenje opožarenih površina.

Predlogom projekta definisana su četiri cilja:

1. Izrada „statičke“ karte opasnosti od požara za područje Srbije

Za izradu „statičke karte“ opasnosti od požara pored istorijskih podataka o pojavi požara na teritoriji Srbije, analiziraće se i orografski podaci (nagib, ekspozicija, nadmorska visina), tip šumske vegetacije (četinari, lišćari, mešovite šume, pašnjaci, šikare i šibljac) antropogeni faktori (gustina populacije, distanca do naselja, distanca do puta) i drugi relevantni faktori koje će izdvojiti statistička analiza (logistička regresijai Random Forest metoda mašinskog učenja) kao i u slučaju analiziranih šumskih oblasti iz izveštaja za 2018-2019. godinu. Karakteristika svih ovih podataka je da se ne menjaju u vremenu i prostoru ili se menjaju jako sporo, te ih možemo nazvati statičkim, pa otuda i naziv ove karte koja predstavlja jedan od ciljeva istraživanja. Kako se ne bi u potpunosti zanemario uticaj vremenskih prilika na pojavu požara, nakon izrade modela za procenu opasnosti od požara, primenom istog, ugrađen je i uticaj DC – indeks suše, komponenta FWI u statičku kartu.

2. Izrada modela za procenu opasnosti od požara kao osnova za „dinamičku“ kartu opasnosti od požara za područje Srbije

Istraživanjima sprovedenim tokom 2017. kao i u periodu oktobar 2018 - mart 2019. godine formirana je solidna osnova za izgradnju modela za procenu opasnosti od požara. Izvršeno je rangiranje svih značajnih faktora koji utiču na pojavu požara za sledeća šumska područja Topličkog okruga primenom logističke regresije. Idenična analiza je primenjena na više šumskih oblasti u istočnom i južnom delu Srbije što nam je omogućilo izdvajanje najznačajnijih faktora za pojavu požara, koji ne moraju biti isti kao i za područje Topličkog okruga, usled ranije utvrđenih specifičnih razlika među regionima u pojavi i ponašanju požara. Ovaj model nam je omogućio povezivanje statičkih elemenata kao što su tip vegetacije, orografski faktori i antropogeni uticaj sa FWI, koji se menja u vremenu i prostoru za preostali deo Srbije.

3. Projektovanje mreže kamera za ranu detekciju požara za teritoriju Srbije

Nakon izrade statičke karte opasnosti od požara izdvojena su područja u okviru jednog regiona Srbije sa povećanom opasnošću od požara. Takva područja biće predmet dalje analize i na tim područjima će se projektovati mreža kamera za osmatranje i ranu detekciju požara. Za područja koja usled kupiranosti terena nisu pokrivena kamerama projektovaće se rute za nadletanje bespilotnim letelicama.

- 4. Izrada baze podataka svim relevantnim podacima prikupljenim od početka istraživanja** U bazi podataka će biti skladišteni svi prikupljeni podaci od početka istraživanja poput: istorijski podaci o požarima iz prethodnog perioda (lokacija, tip vegetacije, veličina opožarene površine, ekspozicija, nagib, vrednosti FWI komponenti, distance do puta, naselja, itd. odnosno svi relevantni podaci za nastanak i širenja požara). U bazi će se takođe nalaziti statički (nepromenljivi) podaci koje predstavljaju očitane vrednosti iz DEM-a (LAT, LONG, ekspozicija, nagib, tip vegetacije, distance do puta, pruge i drugih saobraćajnica, naselja, vodotokova, kao i pripadnost geografskoj, administrativnoj i šumarskoj oranzacionoj jedinici (JP/NP, ŠG, ŠU, GJ, Odsek, Odeljenje) za mrežu 1 X 1 km na nivou Srbije za period 2012-2019. godine. Napraviće se automatska procedura koje promenljive podatke kao što je FWI i njegove komponente računa za svaku tačku mreže 1 X 1 km i smesta u posebnu strukturu baze, kako na osnovu istorijskih podataka tako i za podatke za tekući dan. Na osnovu ovih vrednosti za FWI i njegove komponente napraviće se interpolirane karte FWI i njegovih komponenti koje će se posebno čuvati. Na kraju će se napraviti karte opasnosti od pojave požara na osnovu rezultata modela koji je najbolje predviđao pojavu požara. Takve karte generisane za svaki dan će se takođe čuvati radi budućih testiranja uspešnosti modela predviđanja pojave požara.

Rezultati istraživanja

A. „Statička“ karta opasnosti pojave požara za područje Srbije

U pripremi modela na osnovu koga je izrađena ova karta korišćeni su orografski, antropogeni i vegetacijski elementi koji variraju u prostornoj ali ne i u vremenskoj ravni ili je ta promena veoma spora. Korišćen je i FWI i njegove komponente, faktori čiji uticaj na pojavu požara varira u prostoru i vremenu ali je njihova vremenska varijacija uprosečavanjem prevedena u statički faktor. Izvršena je analiza FWI i komponenti [DC] za duži vremenski period, kako bi se definisali prosečni godišnji uslovi stanja gorivog materijala za određenu prostornu jedinicu. U tu svrhu generisane su vrednosti FWI i komponenti za period od 2012. do 2018. godina kako bi se obuhvatili svi mogući uslovi. U model, na osnovu koga je se izraditi statička karta opasnosti od pojave požara ugrađena je pored već pomenutih elemenata i prosečna vrednost DC za ovaj period. Izrada statičke karte za područje Srbije omogućuje se strateško planiranje ljudskih i materijalnih resursa za gašenje požara. Ova karta je poslužila i kao osnov za projektovanje mreže kamera za video nadzor u svrhu rane detekcije požara.

A1. Materijal i metode za izradu stacionarne karte

Retrospektivna analiza požara u istraživanom području za period 2012-2018

Iz ranije prikupljenog seta podataka o požarima za prostor Centralne Srbije i period 2012-2016. godina, izdvojeni su podaci koji su se odnosili na požare koji pripadaju istraživanom području. Ovim podacima su pridruženi i podaci o požarima iz 2017 i 2018.. godine koji su pripadali odgovarajućem području.

Cilj 1. Izrada „statičke“ karte opasnosti od požara za Centralnu Srbiju i AP Vojvodinu

Osnovni cilj Projekta u delu GIS obrade podataka je definisanje površina koje su po nekim geoprostornim kriterijumima do sada bile najugroženije od požara, a zatim i računanje verovatnoća ugroženosti od požara ostatka ispitivane teritorije. U tom cilju izvršena je

- 1) Retrospektivna analiza požara u periodu 2012-2018. godina, koja obuhvata:
 - Prikupljanje podataka o šumskih požara u periodu 2012.-2018. godina
 - Formiranje poligona i kvadratne mreže 1x1 km.
 - Generisanje topografskih elemenata
 - Generisanje podataka o tipovima vegetacije
 - Generisanje podataka o antropogenom uticaju
 - Generisanje podataka o kanadskom indeksu opasnosti od požara – Fire Weather Index-u (FWI) i indeksu suše [Drought code –DC]
- 2) Izrada modela verovatnoća pojave požara na poligonima mreže 1x1 km.

Prikupljanje podataka o šumskim požarima

Iz baze podataka koja se ažurira u Generalnoj direkciji JP „Srbijašume“, JP „Vojvodinašume“ i na osnovu podataka prikupljenih iz ostalih preduzeća koje gazduju šumama na ispitivanom području, izvučen je set podataka o požarima po godinama sa atributima prikazanim u tabeli 1.

Na osnovu koordinata o lokacijama požara, formirani su tačkasti slojevi požara za svaku od navedenih godina, sa gore navedenim podacima u tabelama atributa. Ovom slojevima, upotrebom odgovarajućih GIS alata, pridružen je niz novih atributa preklapanjem sa odgovarajućim rasterskim i/ili vektorskim slojevima.

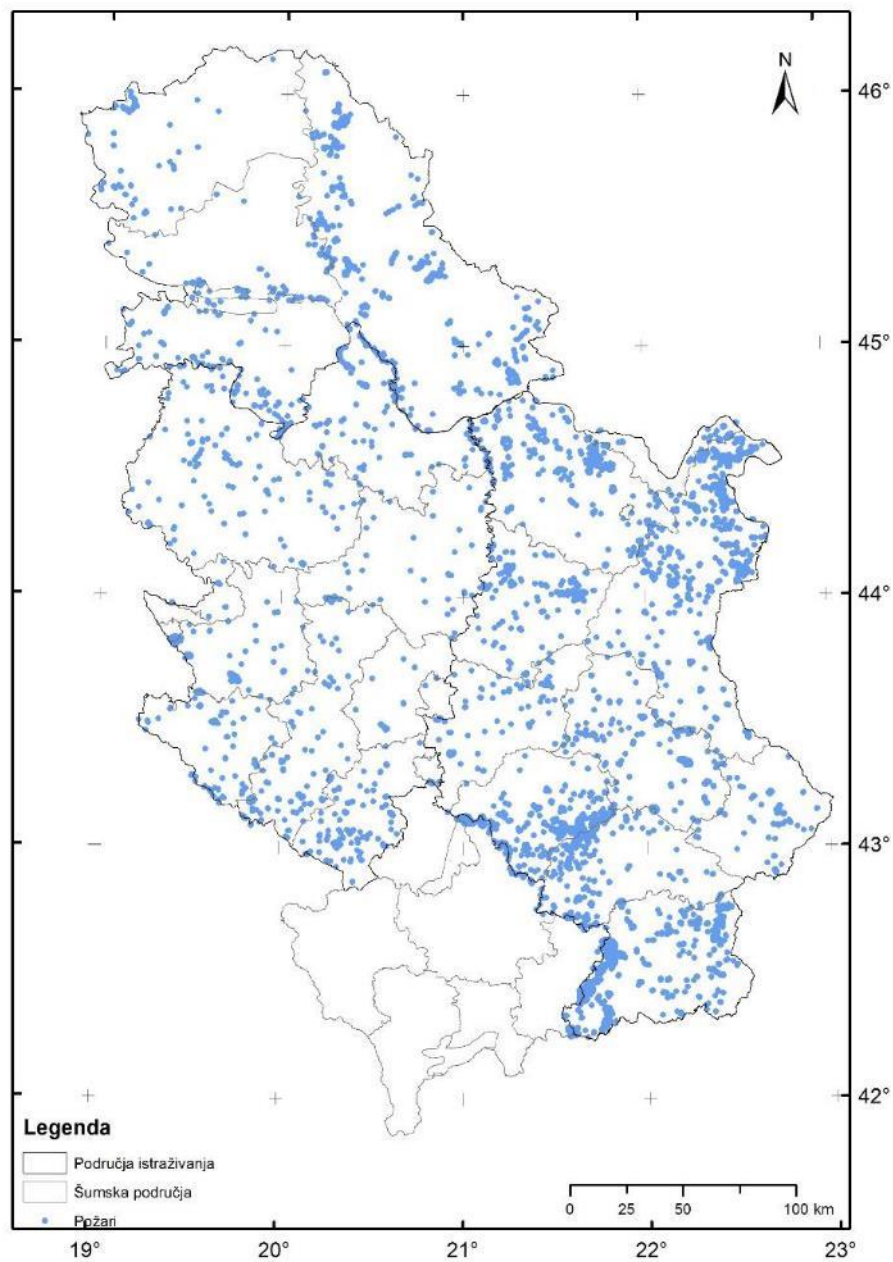
Tabela 1: Spisak atributa korišćenih za retrospektivnu analizu požara i njihov opis

Naziv atributa u bazi podataka	Opis atributa
GOD	Godina
ID_P	ID požara
OPOŽARENA_POVRŠINA	Opožarena površina
ŠUM_GAZ	Šumsko gazdinstvo
ŠUM_UPR	Šumska uprava
GJ_Naziv	Naziv gazdinske jedinice
GJ	Šifra gazdinske jedinice
GisOdsek	Šifra odseka
Odeljenje	Odeljenje
Odsek	Odsek
uzrok	Uzrok požara
vrsta	Vrsta požara
DATUM_pojave_požara	Datum pojave požara
DATUM_gašenja_požara	Datum gašenja požara
TROŠKOVI_GAŠENJA_POŽARA	Troškovi gašenja požara
Br_gasioca_SRBIJASUME	Broj gasioca iz JP Srbijašume
Br_gasioca_MUP	Broj gasioca iz MUP-a
Br_gasioca_OSTALI	Broj gasioca ostalo
Ukupno_gasilaca	Ukuno gasilaca
Vlasništvo	Vlasništvo
Poreklo	Poreklo
StrukturaPovrsine	Struktura površine
OKRUG	Okrug
PO	Politička opština
KO	Katastarska opština
Matični_broj_naselja	Matični broj naselja
Broj_stanovnika	Broj stanovnika
Broj_domaćinstava	Broj domaćinstava
X	X koordinata požara u Gaus-Krigerovoj projekciji
Y	Y koordinata požara u Gaus-Krigerovoj projekciji
X_Lat	X koordinata požara u WGS 1984 projekciji
Y_Lon	Y koordinata požara u WGS 1984 projekciji

Modeli za prognožiranje opasnosti, sa podacima o požarima koji su prikupljeni od korisnika šuma, nisu dali zadovoljavajuću tačnost tako da smo pristupili prikupljanju podataka o požarima iz drugih izvora.

Podaci o lokacijama požara dobijeni su iz NASA-inog sistema za informacije o požarima za upravljanje resursima (FIRMS), koji distribuira informacije u gotovo realnom vremenu Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sa platformi Terra i Aqua i prostornom rezolucijom od 1 km. Svaka MODIS lokacija požara predstavlja središte piksela veličine $1 \times 1 \text{ km}^2$ koji je algoritam označio

da sadrži jedan ili više požara unutar piksela. Samo lokacije sa poverenjem većim od 80%, za period od januara 2001. do decembra 2018. godine, uzeti su u razmatranje za dalju analizu, jer u nekim slučajevima proizvod potcenjuje pojavu požara (Nhongo et al., 2019 i ovde citirane reference).



Slika 1 Lokacije požara za period 2012-2018. u istraživanom području

Statistička analiza prikupljenih podataka

Tabela 2. Rezultati statističke analize prikupljenih podataka po regionima istraživanja

Vrsta analiziranih podataka	Istok	Zapad	Vojvodina
Broj Požara	1911	615	479
Šume lišćara [m ²]	442382.5 ^{**††}	335056.8 ^{***º}	159128.6 ^{††ºº}
Šume četinarara [m ²]	4443.8 ^{**}	46588.8 ^{***º}	320.7 ^{ºº}
Mešovite šume [m ²]	8098.1 ^{**}	41986.1 ^{***º}	2269.3 ^{ºº}
Prirodni travnjaci [m ²]	58986.9 ^{††}	40555.8 ^{ºº}	224481.5 ^{††ºº}
Šikare i šubljac i [m ²]	195469.4 ^{††}	173391.8 ^{ºº}	126021.6 ^{††ºº}
Retko rastinje [m ²]	1501.8 ^{**}	15583.8 ^{***º}	0.0 ^{ºº}
Ukupna površina pod šumom [m ²]	710882.4 ^{**††}	653163.2 ^{***º}	512221.8 ^{††ºº}
Prosečna udaljenost od naseljenog mesta [m]	2234.4 ^{**††}	1827.6 ^{***º}	3456.1 ^{††ºº}
Prosečna udaljenost od puta [m]	450.5 ^{**††}	511.5 ^{***º}	628.7 ^{††ºº}
Prosečna udaljenost od železnice [m]	11535.8 ^{††}	12232.7 ^{ºº}	5682.8 ^{††ºº}
Prosečna udaljenost od vodene površine [m]	480.4 ^{††}	459.9 ^{ºº}	773.2 ^{††ºº}
Prosečna gustina populacije	19.2 ^{**}	54.1 ^{**}	22.1
Prosečna udaljenost od obradivog zemljišta [m]	5214.6 ^{***††}	7820.3 ^{***º}	256.2 ^{††ºº}
Prosečna udaljenost od poljoprivrednog zemljišta [m]	477.5 ^{**}	396.4 ^{**}	422.6
Prosečan nagib [º]	9.9 ^{**††}	10.5 ^{***º}	1.2 ^{††ºº}
Prosečna nadmorska visina [m]	550.4 ^{**††}	627.1 ^{***º}	86.0 ^{††ºº}
Prosečna površina na severnoj strani [m ²]	252975.6 ^{**††}	281269.8 ^{***º}	276205.9 ^{††ºº}
Prosečna površina na istočnoj strani [m ²]	224291.3 ^{**}	196208.7 ^{**}	207469.4
Prosečna površina na južnoj strani [m ²]	330258.7 ^{**††}	307900.4 ^{***º}	277746.1 ^{††ºº}
Prosečna površina na zapadnoj strani [m ²]	191852.4 ^{††}	202390.2	212006.1 ^{††}
Prosečna ravna površina [m ²]	2255.5 ^{**††}	11481.5	28522.3 ^{††ºº}

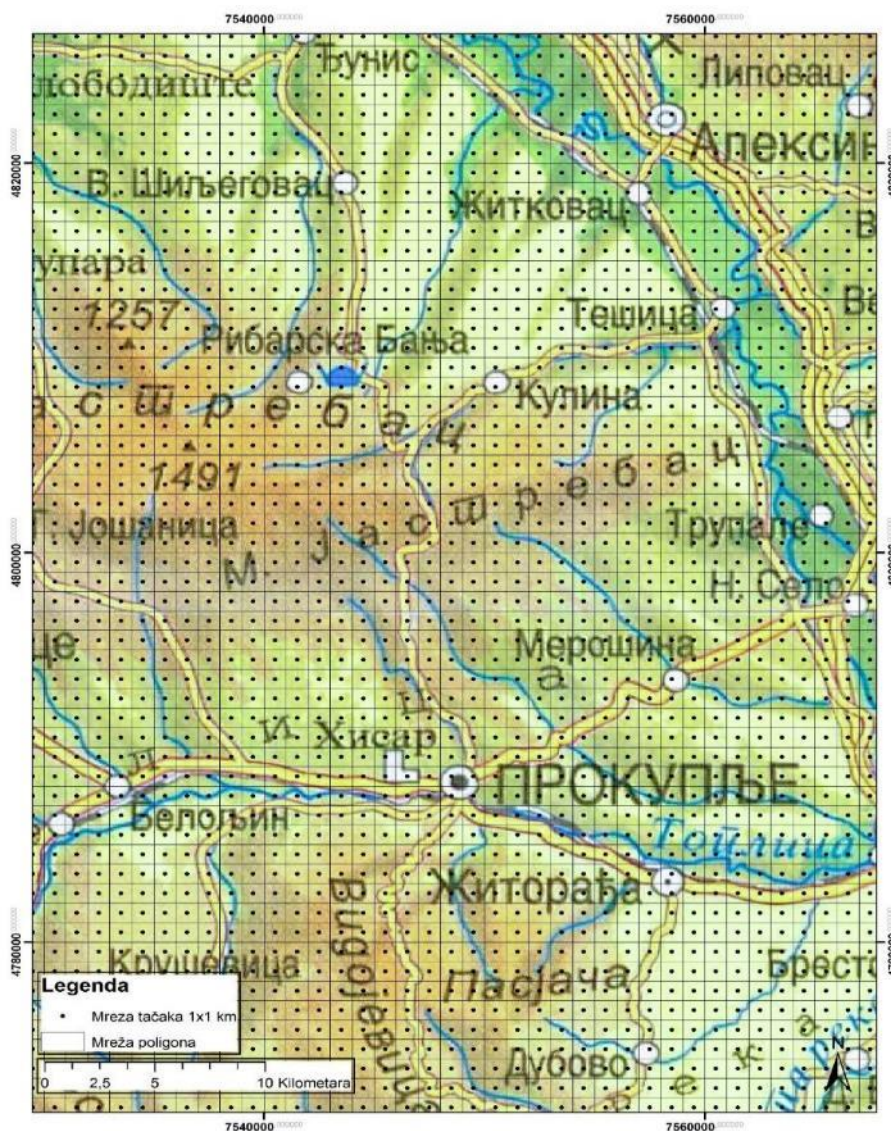
Istok – Zapad, * p<0.05 i ** p<0.01; Istok – Vojvodina, † p<0.05 i †† p<0.01; Zapad – Vojvodina, º p<0.05 i ºº p<0.01

Izvršeno je poređenje tri grupe regiona spram broja požara kao i a biotičkih i abiotičkih faktora relevantnih za pojavu požara. Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da postoje velike razlike u vrednostima prediktora požara između analiziranih regiona, tako da je bilo logično očekivati da

korišćenje jednog seta varijabli neće dati modele jednakog kvaliteta u drugim regionima, što je kasnije i potvrđeno modelovanjem verovatnoće pojave požara.

Formiranje poligone i kvadratne mreže 1x1 km

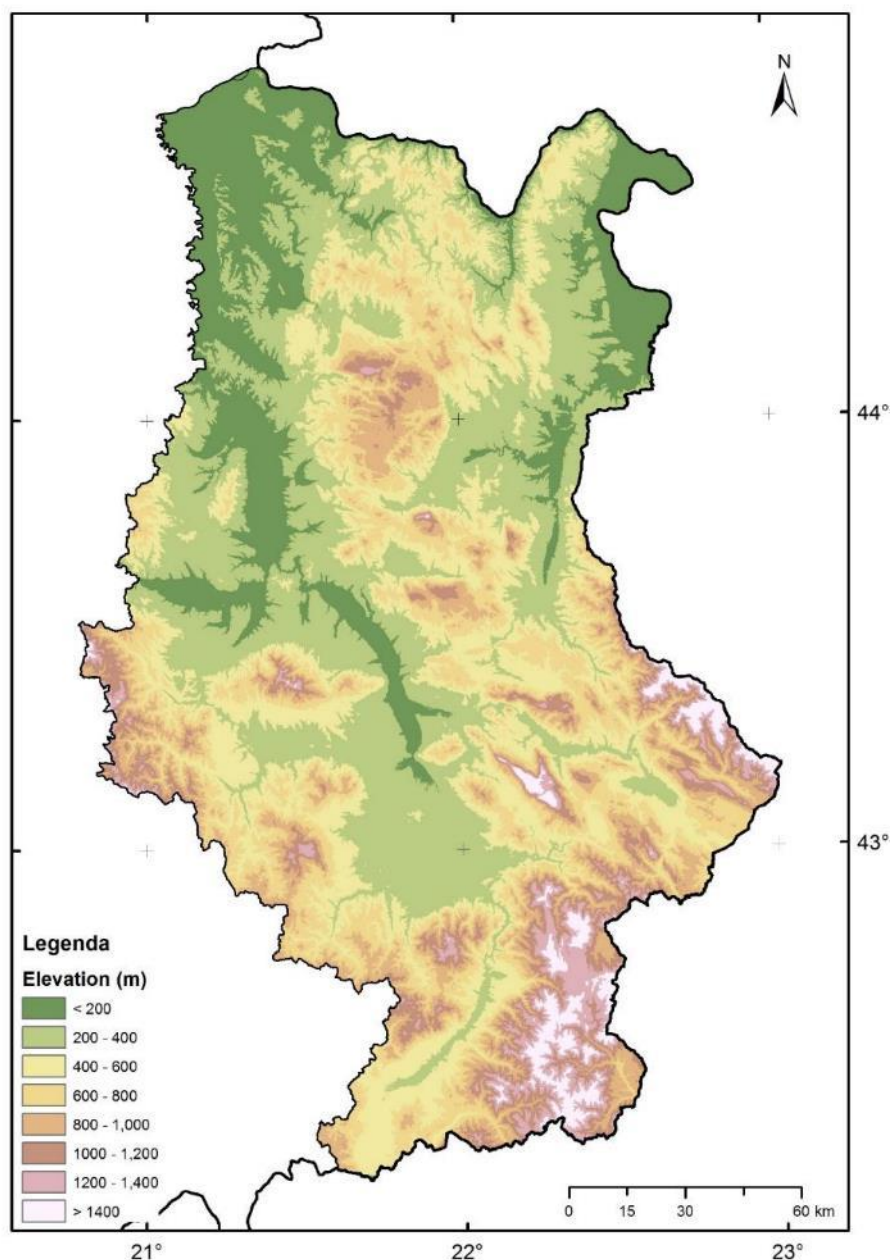
U istoj geobazi, formiran je sloj – mreža poligona 1km x 1km preko cele teritorije Republike Srbije, sa centroidama u preseku dijagonala kvadrata čije se koordinate naslanjaju na ranije formirane mreže ICP, nacionalne inventure šuma i mreže 2x2 km, korišćene u ranijim istraživanjima unapređenja zaštite šuma od požara. Ovako su dobijena još dva sloja – tačkasti sloj centroida kvadratne mreže i poligoni sloj - kvadratna mreža, sa tabelama atributa iste strukture (slika 2).



Slika 2. Mreža tačaka i kvadratna mreža gustine 1x1 km

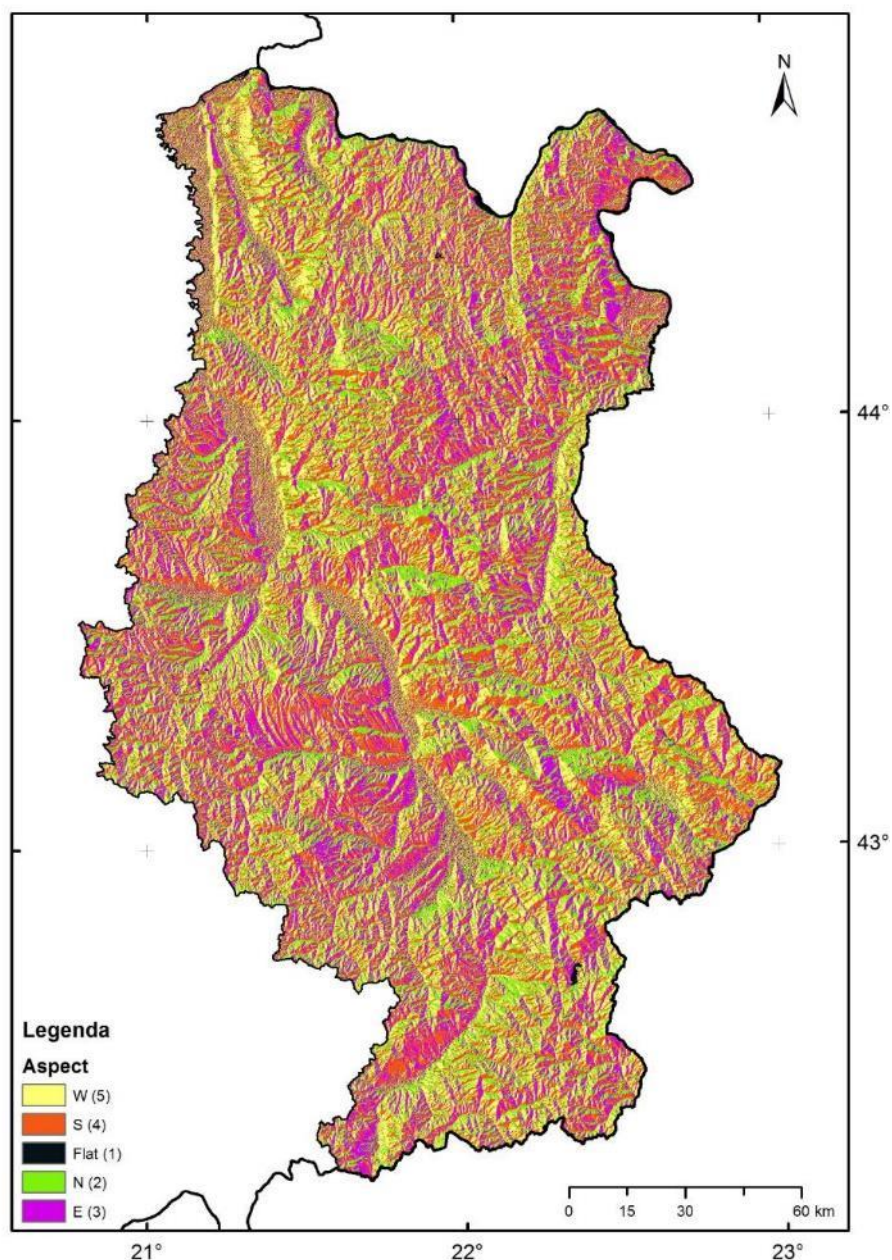
Generisanje topografskih elemenata

Za generisanje topografskih elemenata korišćen je digitalni elevacioni model terena (DEM) preciznosti tri lučne sekunde (3 ArcSEC) koji je javno dostupan na serveru USGS (United States Geological Survey) (slika 3). Iz ovog rasterskog sloja koji sadrži podatke o nadmorskoj visini svakog piksela, primenom odgovarajućih GIS alata kreirani su rasteri **ekspozicije** (slika 4) i **nagiba** (slika 5).



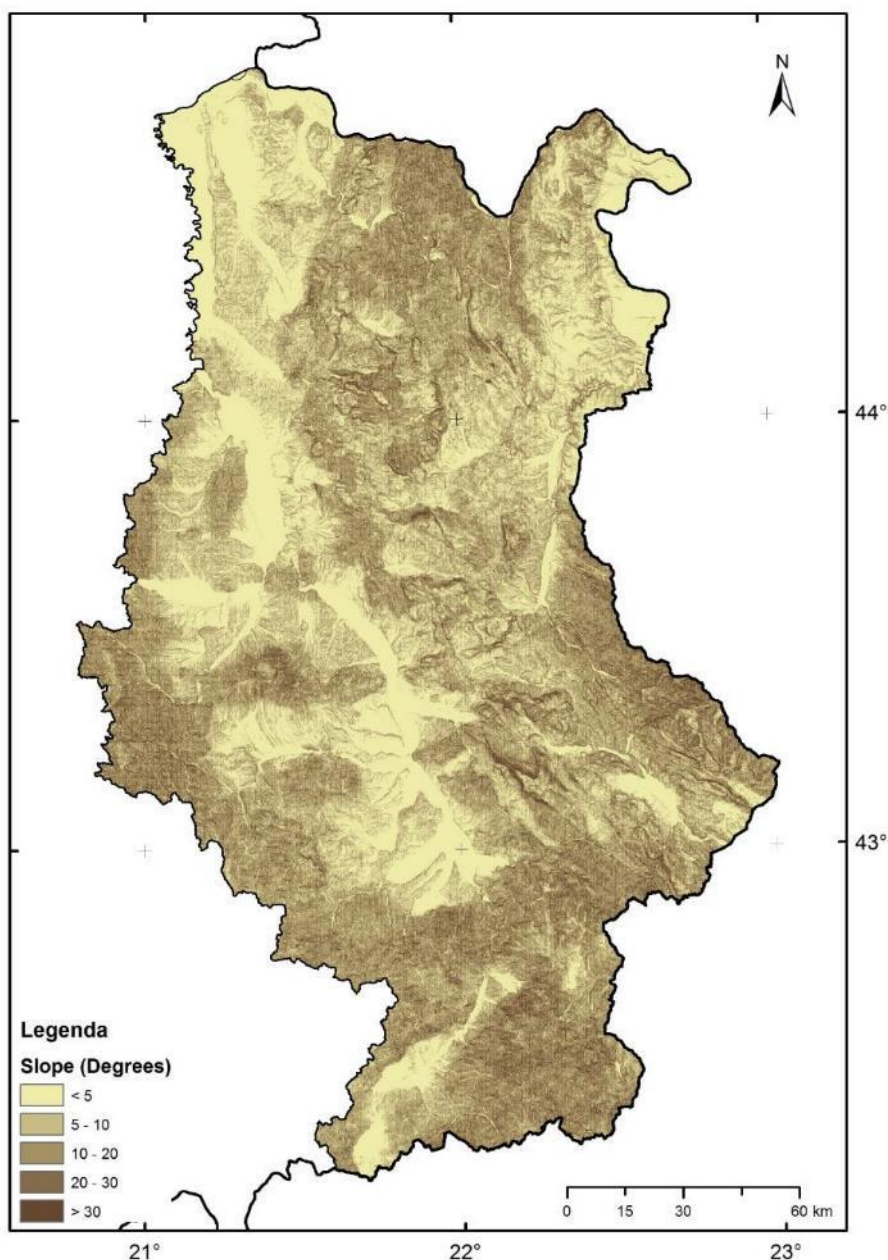
Slika 3. Digitalni elevacioni model 3 ArcSEC

U procesu kreiranja rasterskog sloja ekspozicija, a svaku ćeliju (piksel) digitalnog elevacionog modela računat je intenzitet promene vrednosti piksela u odnosu na vrednosti koje imaju susedni pikseli. U osnovi, maksimalna promena u nadmorskoj visini po distanci između piksela i njegovih osam suseda određuje smer najstrmijeg nagiba tog piksela.



Slika 4. Raster ekspozicije

U procesu kreiranja rasterskog sloja nagiba identifikovan je smer nagiba piksela rastera digitalnog elevacionog modela pri maksimalnom intenzitetu promene vrednosti piksela u odnosu na vrednosti koje imaju njemu susedni pikseli i može se shvatiti kao određivanje smer nagiba. Izlazne vrednosti koje dobijaju pikseli rezultujućeg rastera su zapravo azimuti. Ravne površine dobijaju vrednosti -1. U daljem postupku ovi azimuti mogu biti grupisani u željeni broj strana sveta (N, E, S, W ili N, NE, E...).



Slika 5. Raster nagiba

Dodela vrednosti topografskih elemenata objektima slojeva požara i objektima poligonih i tačkastih slojeva mreže 1x1 km

U daljem postupku bilo je potrebno dodeliti vrednosti nadmorske visine, ekspozicije i nagiba za svaki već registrovani požar, svaku tačku formirane mreže, i svaki objekat kvadratne mreže.

Kada su u pitanju tačkasti slojevi (slojevi požara i mreže tačaka), pridruživanje vrednosti je bilo moguće izvršiti ekstrakovanjem vrednosti piksela ovih rastera u koji tačka pada.

Što se tiče sloja mreže poligona 1x1 km, topografski elementi dodeljeni objektima ovog sloja su u daljoj obradi korišćeni isključivo kao alfanumerički podaci, pa je bilo dovoljno formirati tabelu u kojoj je za svaki kvadrat izračunata statistika za vrednosti piksela koji se preklapaju sa konkretnim kvadratom, korišćenjem odgovarajućeg GIS alata, koji računa osnovne statističke pokazatelje za zone koje definiše

drugi sloj geoprostornih podataka – u ovom slučaju kvadrati mreže 1x1 km – sa kojim se rasterski sloj preklapa.

U izlaznoj tabeli, za svaki red sa šifrom zone koja odgovara šifri u tabeli atributa, dati su rezultati osnovne statistike i to: minimum, maksimum, opseg, srednja vrednost, standardna devijacija, medijana i još neki manje standardni parametri.

Generisanje podataka o tipovima vegetacije

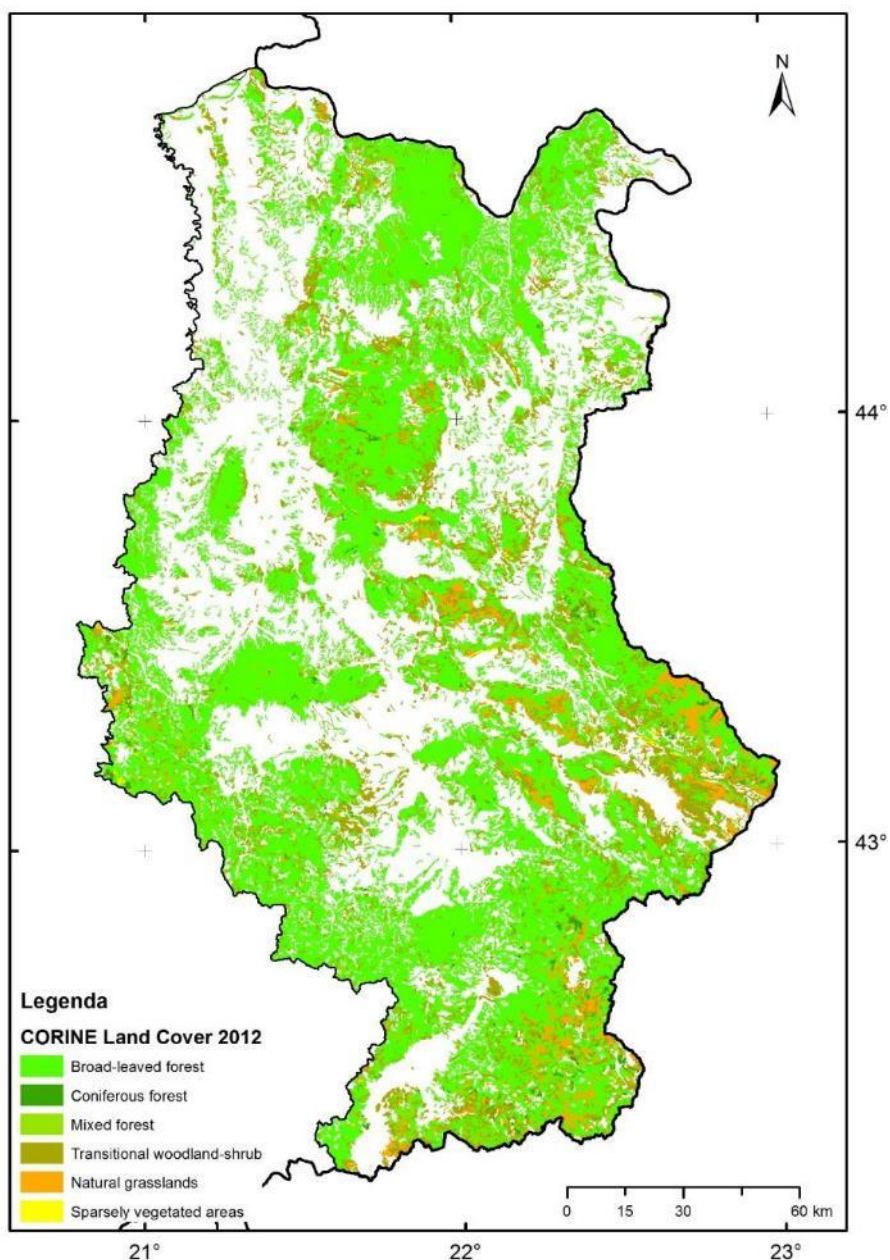
Za generisanje podataka o tipovima vegetacije korišćeni su podaci CORINE-e 2012 i podaci iz geobaze o gazdinskim jedinicama JP „Srbijašume“.

Presekom slojeva požara, mreže tačaka i mreže poligona sa slojem (slojevima) iz CORINE i geobaze o gazdinskim jedinicama dobijeni su podaci o tipu vegetacije za svaku lokaciju požara i svaku lokaciju mreže tačaka dok je za svaki kvadrat mreže izračunata površina pojedinih klasa CORINE-e, (slika 7). Svi objekti ili delovi objekata dobijeni presekom, iz svih ulaznih slojeva, upisani su u rezultujući sloj, pri čemu svaki objekat u rezultujućem sloju nasleđuje sve podatke iz tabela atributa iz svih ulaznih slojeva.

Poligoni sloj o tipovima vegetacije u konačnoj verziji prilagođen je CORINE klasifikaciji, a za presek su izfiltrirani samo objekti klasa zemljišnog pokrivača prikazanih u tabeli 3.

Table 3. Spisak klasa zemljišnog pokrivača koji su uzeti u obzir za presek

CLC_CODE	LABEL1	LABEL2	LABEL3
311	Forest and semi natural areas	Forests	Broad-leaved forest
312	Forest and semi natural areas	Forests	Coniferous forest
313	Forest and semi natural areas	Forests	Mixed forest
321	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands
324	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Transitional woodland-shrub
333	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Sparsely vegetated areas



Slika 6. Presek slojeva požara, kvadratne i tačkaste mreže

Generisanje podataka o antropogenom uticaju

Podaci o antropogenom uticaju koji su pridruživani svakoj lokaciji požara, svakoj tački mreže i svakom kvadratu mreže 1x1 km su:

- distanca do naselja
- distanca do puta
- distanca do železničke pruge
- gustina populacije
- distanca do poljoprivrednog zemljišta

Slojevi požara, mreže tačaka i mreže kvadrata preklapljeni su sa vektorskim slojevima naselja, puteva železničkih pruga, gustine populacije i slojem CORINE klasifikacije u kome su filtrirani samo objekti klasifikovani kao poljoprivredno zemljište. iz ovih preklapanja ustanovljene su najkraće distance

požara, tačaka mreže 1x1 km i kvadrata mreže 1x1 km do naselja, puteva, železničkih pruga i poljoprivrednog zemljišta.

Generisanje podataka o kanadskom indeksu opasnosti od pojave šumskih požara – Fire weather Index-u (FWI)

Kanadski sistem procene opasnosti od pojave šumskih požara (The Canadian Forest Fire Danger Rating System - CFFDRS) razvija se u Kanadi od 1968. godine. Deo sistema CFFDRS, kanadski indeks opasnosti od pojave šumskih požara (Canadian Forest Fire Weather Index - FWI), je u operativnoj upotrebi širom Kanade od 1971. godine (Turner et al., 1978).

Svrha FWI sistema je da objasni efekte prethodnih i trenutnih meteoroloških uslova na šumski gorivi materijal i šumske požare. Sistem koristi meteorološke elemente i pojave, temperaturu vazduha, relativnu vlažnost vazduha, brzinu vetra i 24-časovnu količinu padavina izmerene oko podneva po lokalnom vremenu (merenja u 12 UTC). Ove vrednosti se koriste da se predvidi maksimum uslova za gorenje šumskog materijala koji se dešava tokom najtoplijeg dela dana, oko 16 časova po lokalnom vremenu (de Groot, 1987).

FWI sistem se sastoji od šest komponenti: tri pokazatelja vlažnosti šumskog goriva i tri pokazatelja ponašanja požara:

- **Pokazatelj vlažnosti finog goriva (Fine Fuel Moisture Code - FFMC)** predstavlja sadržaj vlažnosti u prostirci i drugom finom gorivu u sloju do dubine 1-2 cm.
- **Pokazatelj vlažnosti srednjeg goriva (Duff Moisture Code - DMC)** predstavlja sadržaj vlažnosti slabo kompaktnih organskih slojeva umerene dubine, 5-10 cm. Pošto se ovi slojevi nalaze ispod sloja finog goriva, brzina vetra ne utiče na vlažnost srednjeg goriva. Na sadržaj vlažnosti srednjeg goriva utiče količina padavina veća od 1.5 mm.
- **Pokazatelj vlažnosti krupnog goriva (Drought Code - DC)** je indikator sadržaja vlažnosti u dubokim, kompaktnim organskim slojevima, 10-20 cm dubine. Brzina vetra i relativna vlažnost vazduha ne utiču na vlažnost krupnog goriva zbog dubine sloja goriva. Na sadržaj vlažnosti srednjeg goriva utiče količina padavina veća od 2.8 mm.
- **Indeks početnog širenja (Initial Spread Index - ISI)** predstavlja kombinovani uticaj brzine vetra i pokazatelja vlažnosti finog goriva i ukazuje na očekivanu brzinu širenja požara nakon njegovog izbijanja.
- **Indeks ukupnog goriva (Buildup Index - BUI)** je kombinacija pokazatelja vlažnosti srednjeg i krupnog goriva i predstavlja ukupnu raspoloživu količinu goriva dostupnu požaru koji se širi. Često se koristi za preduzimanja mera za sprečavanje i gašenje požara.
- **Indeks opasnosti od pojave šumskog požara (Fire Weather Index - FWI)** je kombinacija indeksa početnog širenja i indeksa ukupnog goriva. Ovaj indeks je numerički pokazatelj potencijalnog intenziteta vatre u standardnom tipu goriva. Ukazuje na intenzitet vatre kombinovanjem stope širenja požara sa ukupnom količinom goriva.

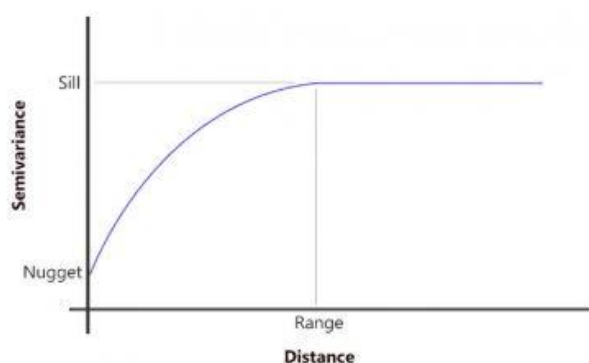
Podaci o komponentama FWI sistema dobijeni su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda za svaki datum pojave požara od 2012. do 2017. godine za 24 meteorološke stanice na teritoriji Republike Srbije. Podaci su objedinjeni u odvojene geobaze po godinama (2012 – 2017), pri čemu su formirani tačkasti slojevi meteoroloških stanica na osnovu priloženih koordinata meteoroloških stanica i to za svaki datum pojave požara. Dakle tačkastih slojeva meteoroloških stanica je bilo koliko i datuma pojave požara jer su za svaki sloj u njegovoj tabeli atributa smešteni podaci o šest komponenti FWI sistema.

Da bi se vrednosti FWI sistema (po datumima) dodelile objektima slojeva požara, mreže tačaka i kvadratne mreže 1x1 km, bilo je potrebno generisati rastere dobijene interpolacijom podataka dostupnih za meteorološke stanice po datumima. Za interpolaciju je korišćena metoda Kriging-a.

Interpolacija

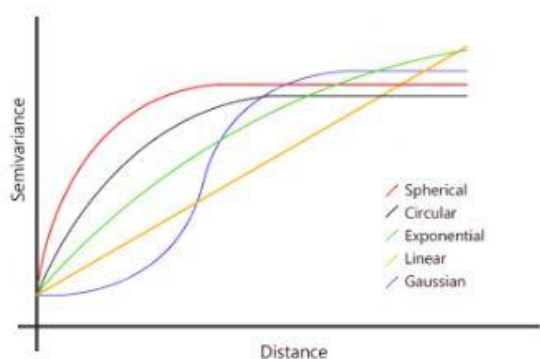
Kriging predstavlja jednu od tehnika prostorne interpolacije podataka i sam po sebi je posebna i široka tema. Za razliku od nekih drugih metoda prostorne interpolacije, kao što je npr. Inverse Distance Weighted (IDW) tehnika, kriging daje i verovatnoću procene interpolacije, preko varijanse interpolovanog rastera.

Tehnika interpolacije krigingom zasniva se na tzv. semivariogramu koji, pojednostavljeno rečeno, meri autokorelaciju jer grafički prikazuje varijansu svih parova podataka prema njihovoj međusobnoj udaljenosti. Polazi se od pretpostavke da su objekti bliži jedni drugima u većoj vezi i imaju manju semi-varijansu, dok udaljeni objekti imaju veću semi-varijansu. Pri određenoj vrednosti udaljenosti korelacija (autokorelacija) prestaje da postoji. To se grafički može predstaviti na sledeći način (Slika 7).



Slika 7. Semivariogram

Semivariogram može imati različite oblike u zavisnosti od promene semi-varijanse sa povećanjem udaljenosti objekata. Na osnovu izgleda semivariograma (sferični, kružni, eksponencijalni, onaj koji se približava gausovoj krivoj ili linearni tip semivariograma), može se izabrati više tipova matematičkog izravnavanja (Slika 8).



Slika 8. Različiti tipovi semivariograma

Pre primene metode Ordinary Kriging-a, podaci moraju da zadovolje neke polazne kriterijume kao i kod drugih statističkih metoda:

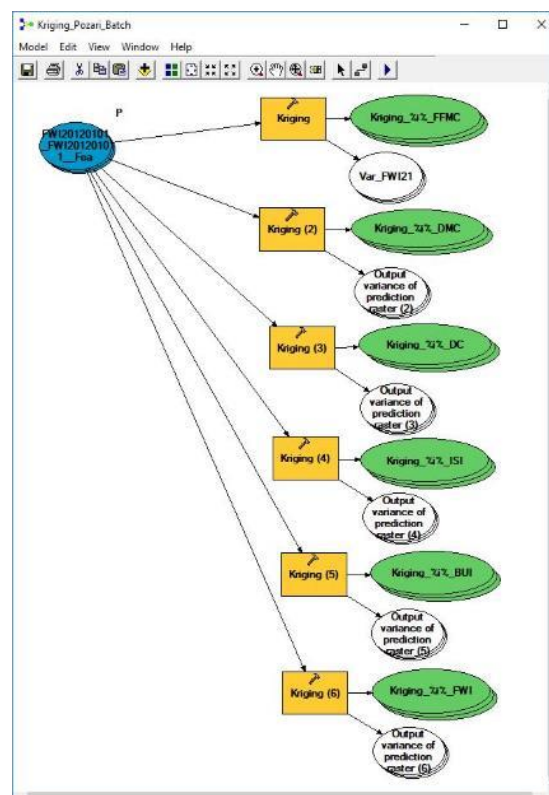
- distribucija podataka mora da se približava normalnoj distribuciji
- podaci moraju da budu stacionarni (da se lokalna varijansa ne menja drastično preko ispitivane površine)
- da podaci nemaju trend, odnosno da nema sistematske promene podataka na ispitivanoj površini

Analizom podataka izabrana je tehnika Ordinary Kriginga i sferični tip semivariograma za interpolaciju tačkastih slojeva dobijenih za sve datume.

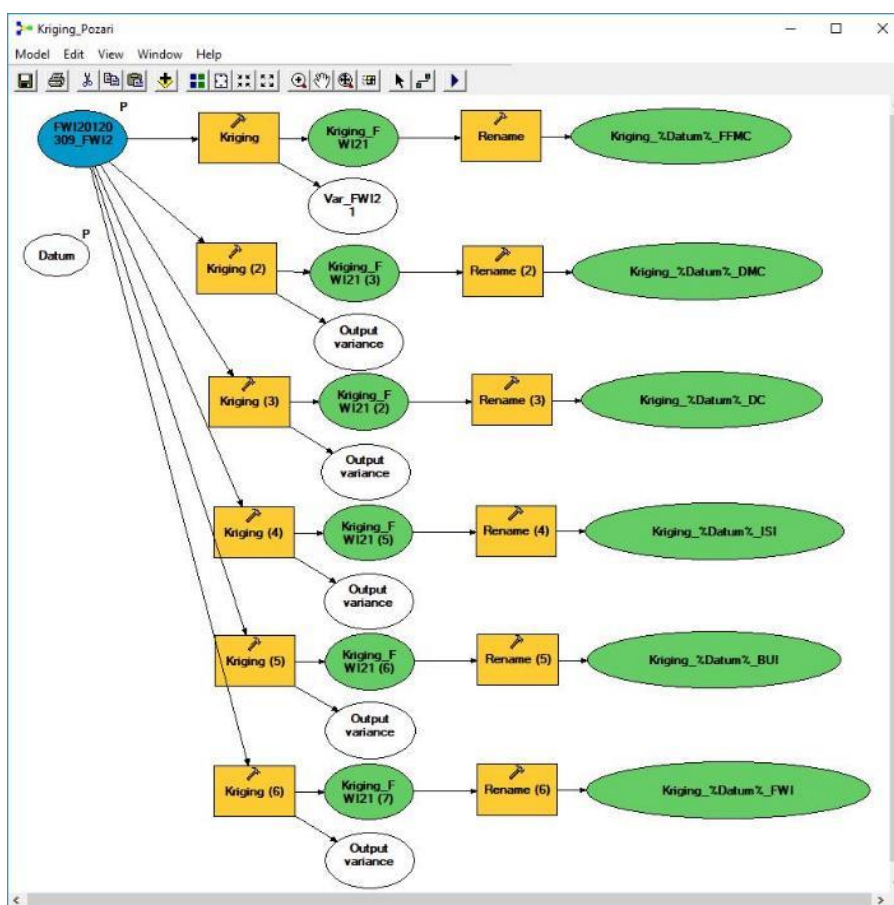
S obzirom da je interpolacija vršena za sve komponente FWI sistema (FFMC, DMC, DC, ISI, BUI i FWI) za sve datume pojave požara (470 datuma), sam postupak interpolacije je bilo neophodno automatizovati. U tom cilju iskorišćenja je mogućnost pravljenja modela u tzv Model builder-u kombinacijom već postojećih alata. Na sledećoj slici prikazan je model u modu za kreiranje, kojim se automatizuje interpolacija za više unetih slojeva po više promenljivih (Slika 9).

U parametarsku varijablu na krajnjoj levoj strani šeme unose se slojevi za interpolaciju. Aktiviranjem modela ne dobija se prozor za unos podataka, već model automatski obrađuje i upisuje podatke na već određeno mesto, dodajući rezultujućim rasterima redom brojeve onim redom kako su promenljive ubačene. Za slučaj da je potrebno obraditi samo jedan ulazni sloj, ili da se želi obrađivati sloj po sloj, pri čemu se rezultujućim rasterima dodeljuju imena na osnovu unetog datuma, izrađen je još jedan model čija je šema prikazana na slici 10.

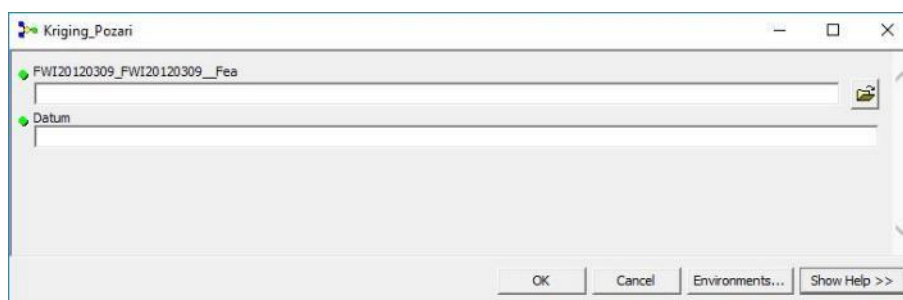
Kao što se na slici vidi, ovde postoji još jedna parametarska varijabla -Datum – dakle, potrebno je uneti datum čija vrednost će biti uneta u naziv rezultujućih rastera dobijenih interpolacijom. Ovde se u jednom koraku vrši interpolacija jednog unetog sloja po svih šest parametara FWI sistema. Aktiviranjem alata dobija se prozor za unos podataka prikazan na slici 11. Primer rezultata interpolacije prikazan je na slici 12.



Slika 9. Kreiranje modula za automatizaciju interpolacije tehnikom kriginga



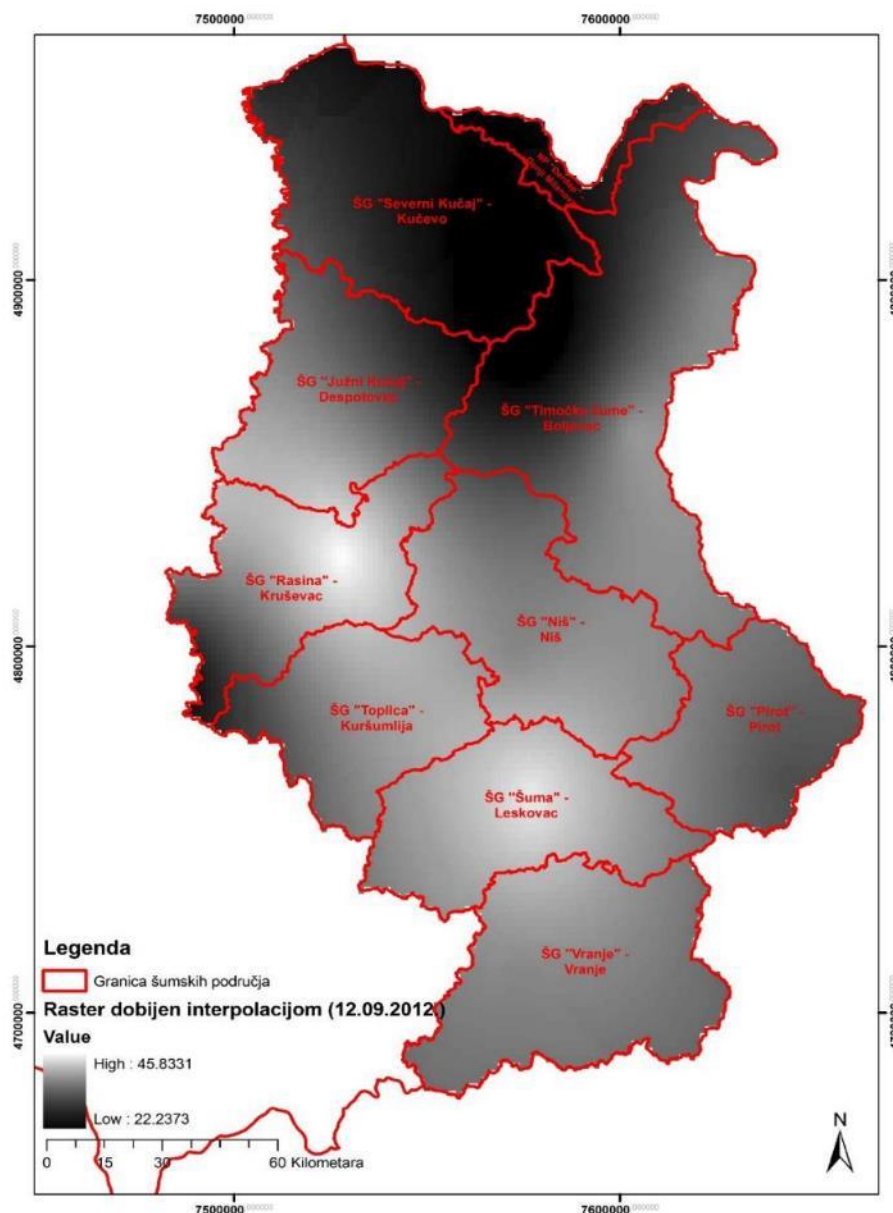
Slika 10. Kreiranje modula za automatizaciju interpolacije tehnikom kriginga uz reimenovanje rezultutjućih rastera



Slika 11. Moodul za automatizaciju interpolacije tehnikom kriginga uz reimenovanje rezultutjućih rastera – prozor za unos podataka

U daljem postupku, preklapanjem slojeva požara i sloja tačaka mreže 1x1 km sa rasterskim slojevima dobijenim interpolacijom, svakoj lokaciji požara i svakoj tački mreže, pridruživan je podatak (Extract Values to Points) o šest komponenti FWI sistema, po datumima. Na ovaj način tabele atributa slojeva požara i mreže tačaka 1x1km proširene su i za podatke FWI sistema.

Sloj poligona mreže 1x1 km takođe je preklopljen sa rasterkim slojevima dobijenim interpolacijom i primenom alata zonalne statistike (Zonal Statistics as Table), a za svaki kvadrat mreže dobijeni su statistički podaci (minimum, maksimum, opseg, srednja vrednost, standardna devijacija, suma i medijana) za vrednosti FWI sistema po datumima pojave požara.



Sloka 12. Rezultujući raster dobijen tehnikom interpolacije - krigingom

Ovako dobijeni podaci korišćeni su u daljim statističkim analizama i formiranju modela zavisnosti pojave požara od različitih orografskih, antropogenih i ostalih ispitivanih uticaja. Računanje verovatnoće pojave požara za svaki kvadrat mreže 1x1 km vršeno je na osnovu podataka obrađenih tehnikama geoprocesiranja i statističkih metoda.

Pre uključivanja varijabli u modele za prognoziranje verovatnoće pojave požara vršeno je ispitivanje kolineranosti. Za svaku potencijalnu varijablu je određivan koeficijent tolerancije i faktor inflacije (VIF) koji su prikazani u tabeli 5, kao i Spearman's rho koeficijent korelacije koji su prikazani u grafikonu 1.

Varijable sa Spearman's Rho koeficijentom manjim od 0.7, $VIF \leq 10$ and koeficijentom tolerancije < 0.1 (Dormann, et al. 2013), su razmazane kao potencijalne za uključivanje u model. U prvom koraku, ukupna površina pod šumom (TFA) je isključena kao varijabla za modelovanje, zbog visokog koeficijenta korelacije sa blizinom poljoprivrednog zemljišta (NDAgL), kao što se može videti

u grafikonu 1. Sve ostale varijable su zadovoljavale uslov da je $VIF \leq 10$ i koeficijent tolerancije < 0.1 i kao takve su uzimane u obzir prilikom izgradnje budućih modela.

Table 4. Nezavisno promenljive koje su krišćene za modelovanje verovatnoće pjava požara sa prikazanim koeficijentima tolerancije i faktorima inflacije varjabli (VIF).

Varijable	Šifra	Izvor	Koeficijnt tolerancije	VIF
vegetacija				
Šume lišćara	BF	Corine 2012	0.243	4.121
Šume četinarara	CF		0.862	1.160
Mešovite šume	MF		0.817	1.224
Pašnjaci	NG		0.473	2.114
Šikare i šibljiaci	TWS		0.403	2.482
Sparsely vegetated area	SVA		0.938	1.066
¹ površina pod šumom	TFA			
anropogeni				
Distanca do naselja	DisM	CIESIN	0.635	1.576
Distanca do puta	DisRo	CIESIN	0.895	1.117
Distanca do železnice	DisRa	CIESIN	0.817	1.224
Gustna populacije	PopD	CIESIN	0.872	1.147
Distanca do obradivog zemljišta	NDAL	Corine 2012	0.988	1.012
Distanca do poljoprivrednog zemljišta	NDAGL		0.618	1.619
topografski				
Distanca do vodenih površina	DisW	Corine 2012	0.554	1.804
Nagib*	SD.C		0.623	1.606
Ekspozicija*	A.C4	DEM	0.469	2.132
² Nadmorska visina*	E.C2		0.991	1.009
kimatiski				
Indeks suše-komponentna FWI	DC	RHMZ	0.732	1.365

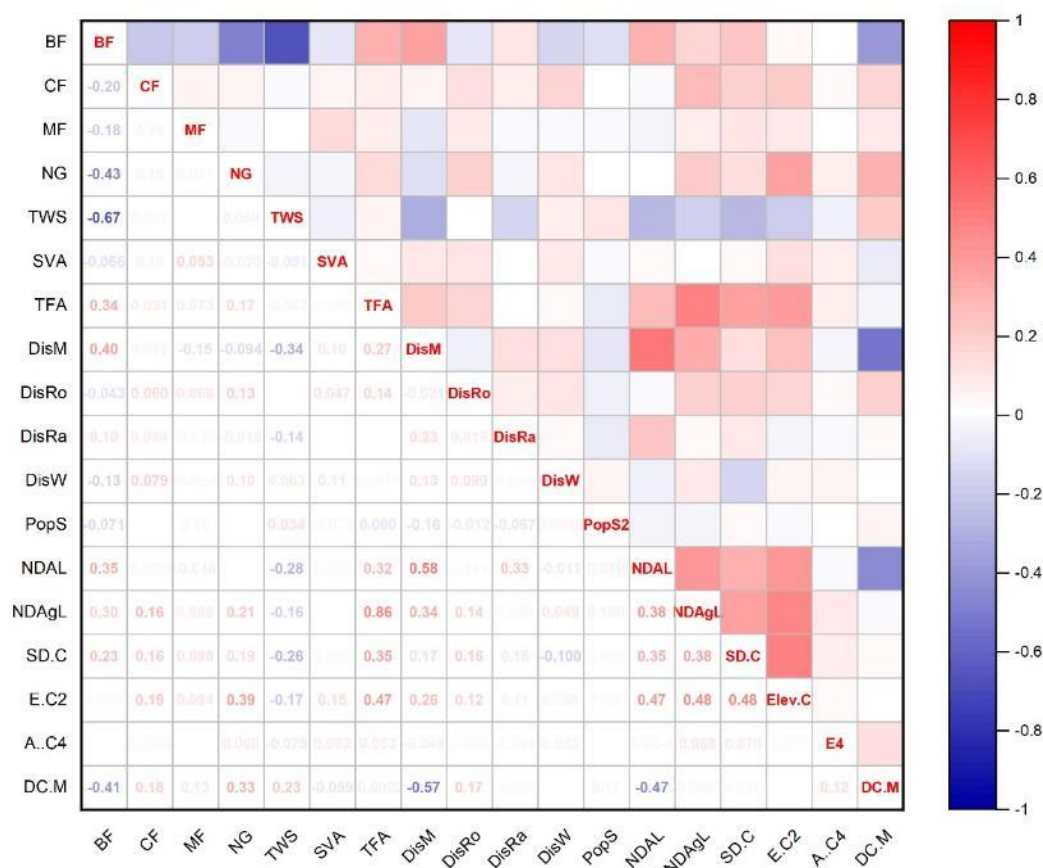
¹isključena iz dalje analize zbog visokog Spearman's rho koeficijenta korelacije sa NDAGL

²uključena kao kriterijum za mečovanje u Propensity score matching analizi i zbog toga isključena iz dalje analize kao varijabla

*kategorijske varijable

Predikcija požara

Kako bi se procenila verovatnoća pojave požara za svaku od ovako definisanih površina (1x1 km), korišćeni su retrospektivni podaci o pojavi požara (broj požara na svakoj od površina u periodu 2012-2018), retrospektivni podaci za DC (godišnji DC za svaku površinu, računat kao prosečna vrednosti mesečnih DC), kao i različiti biotički i abiotički faktori kao što su: tip vegetacije, nadmorska visina, udaljenost od puta, udaljenost od vodene površine, udaljenost od naseljenog mesta, broj stanovnika kao i blizina poljoprivrednog zemljišta itd. Kako bi se konstruisao model za procenu verovatnoće pojave požara na osnovu podataka o pojavi požara u periodu od 2012. do 2018. sproveden je dvostepeni postupak.



Slika 13. Spearman's rho koeficijent korelacije za sve potencijalne varijable

U provom koraku korišćen je metod uparivanja najslabijih površina na kojima se dogodio požar i onih na kojima nije na teritoriji istočne Srbije. Ovo uparivanje urađeno je sa ciljem identifikovanja ključnih faktora koji pod istim uslovima utiču pozitivno na pojavu požara a kao metod je korišćen Propensity score matching sa maksimalno 5% odustpanja. Zatim se nad ovako selektovanim parovima lokacija sprovodi Random Forest metoda mašinskog učenja koja za cilj ima da pokaže uspešnost diskriminacije lokacija na one na kojima se požar desio i one na kojima požara nije bilo (opšti pokazatelj podesnosti modela; engl. hit & miss ratio), kao i uspešnost predikcije lokacija na kojima su se požari desili (engl. positive hit), uspešnost predikcije lokacija na kojima se požari nisu desili (engl. negative hit), očekivanje da će se na nekoj lokaciji desiti požar a tu požara nije bilo (engl. positive miss), i očekivanje da se na nekoj lokaciji neće desiti požar uprkos tome što je to lokacija na kojoj se požar desio (engl. negative miss). Svaki od ovih parametara uzet je u obzir prilikom evaluacije različitih modela.

Nakon kreiranja parova ćelija sa požarima i bez požara, ovaj set je podeljen na dva jednaka dela od kojih je prvi korišćen za treniranje modela a drugi za validaciju dobijenih modela za predikciju verovatnoće pojave požara za sva tri područja: a) jugoistočni deo Centralne Srbije, b) zapadni deo Centralne Srbije i c) AP Vojvodina]. Kao kriterijum za uparivanje korišćena je nadmorska visina.

Modeli za prognoziranje verovatnoće pojave požara kreirani su Random Forest metodom koja se ubraja u tehnike mašinskog učenja [Machine learning-ML], kao jedna od grana veštačke inteligencije [Artificial intelligence-AI]. Ova metoda se može koristiti u regresionoj analizi ali i za klasifikaciju. Kao i logistička regresija ova metoda je pogodna za prognoziranje binarnih ishoda na osnovu kombinacije

kategorijskih i kontinuiranih prediktora. Uključivanjem i isključivanjem pojedinih varijabli bira se kombinacija koji ima najveći prediktivni potencijal na osnovu seta za treniranje i validaciju modela. Primenom izabranih varijabli kreira se algoritam koji se primenjuje na čitavom setu podataka određujući verovatnoću pojave požara za svaku ćeliju veličine 1 x 1 km na istraživanom području. Na osnovu dobijenih verovatnoća metodom percentila definisane su sledeće klase koje su primenjene tokom mapiranja, i to – percentil 40 – niska verovatnoća pojave požara; percentil 46 do 65 – umerena verovatnoća pojave požara; percentil 66 do 85 – visoka verovatnoća pojave požara; i percentil 86 do 95 – veoma visoka verovatnoća pojave požara; i konačno percentil 95 i više ekstremno visoka verovatnoća pojave požara

A.2. Rezultati statičkih modela verovatnoće pojave požara

A.2.1 Šumska područja na geoprostoru Istok

Na osnovu opisanih metoda konstruisan je model za predikciju požara u istočnom delu Srbije, gde je kao kriterijum za uparivanje korišćena nadmorska visina, a kao prediktori koji sa najvećom preciznošću identifikuju lokacije na kojima se dogodio požar uključeni su relativna zastupljenost različitih tipova vegetacije, udaljenost od puta, udaljenost od naselja, i gustina populacije, indeks suše. Ovaj model pokazao je uspešnost predikcije požara od 77.6%, odnosno tačno je identifikovao 754 lokacije na kojima se dogodio požar u setu za treniranje.

Table 5. Klasifikacija lokacija sa požarom i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za treniranje

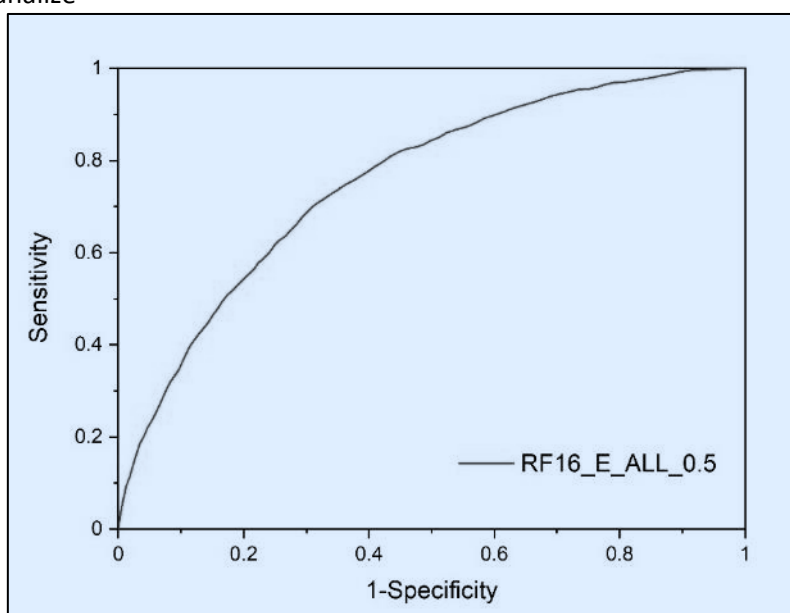
		predikcija		%
		nije požar	požar	
opservirano	nije požar	10263	4389	70.0
	požar	218	754	77.6

U setu za validaciju modela uspešnost predikcije je bila nešto niža i iznosila je 72.0 %, odnosno tačno je identifikovao 676 lokacije na kojima se dogodio požar.

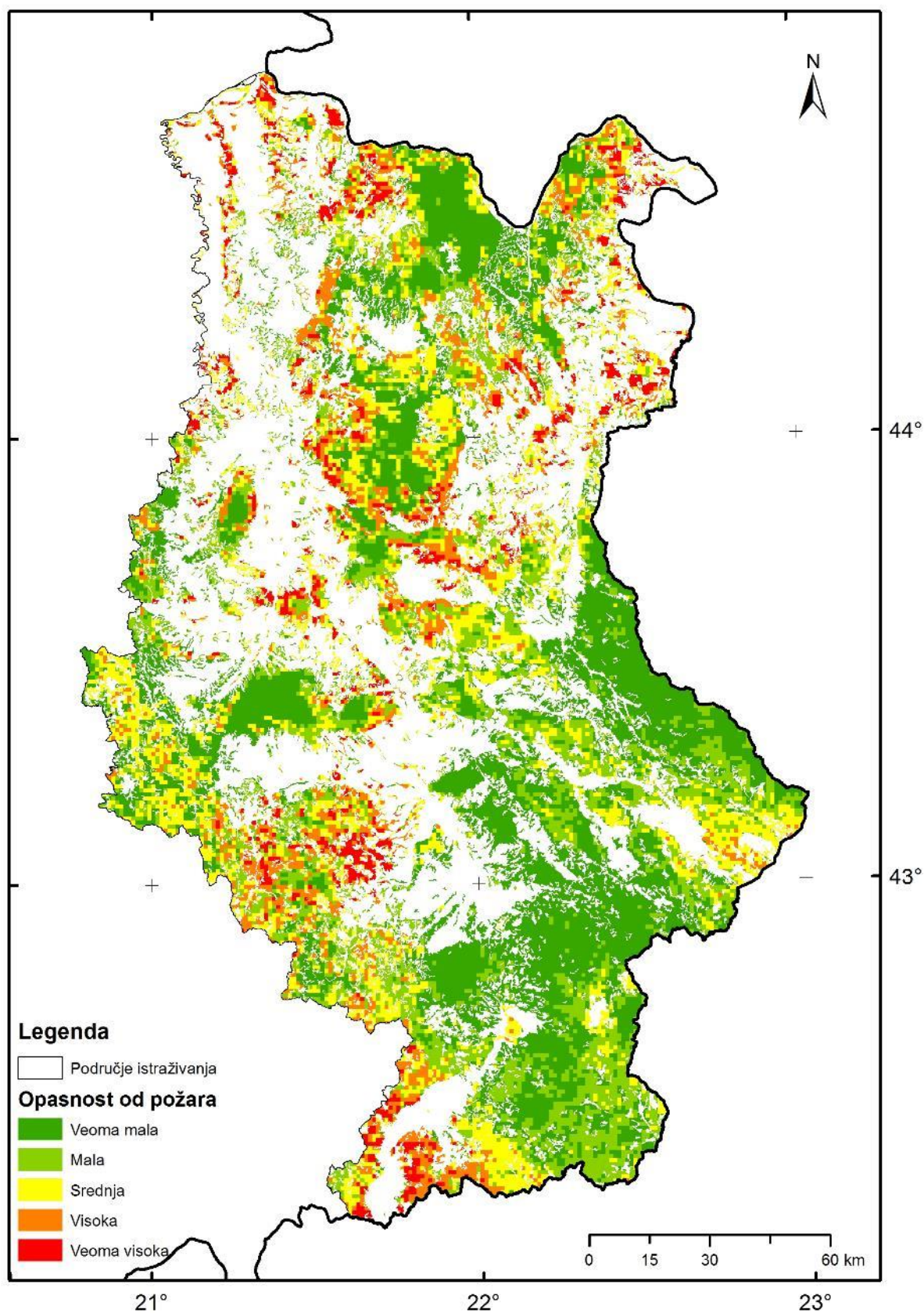
Table 6. Klasifikacija lokacija sa i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za validaciju modela

		predikcija		%
		nije požar	požar	
opservirano	nije požar	9866	4555	68.4
	požar	263	676	72.0

Na osnovu ROC analize



Slika 14. ROC kriva za istočni deo Srbije



Slika 15. Karta verovatnoće pojave požara za istraživano područje Istok

A.2.2 Šumska područja na geoprostoru Zapad

Za predikciju požara u zapadnom delu Srbije, kao kriterijum za uparivanje korišćena nadmorska visina, a kao prediktori koji sa najvećom preciznošću identifikuju lokacije na kojima se dogodio požar uključeni su relativna zastupljenost različitih tipova vegetacije, udaljenost od puta, udaljenost od naselja, i gustina populacije i indeks suše. Za razliku od modela korišćenog za istočno područje isključen je samo jedan prediktor [SVA]. Ovaj model pokazao je uspešnost predikcije požara od 81.1%, odnosno tačno je identifikovao 241 lokaciju na kojima se dogodio požar u setu za treniranje.

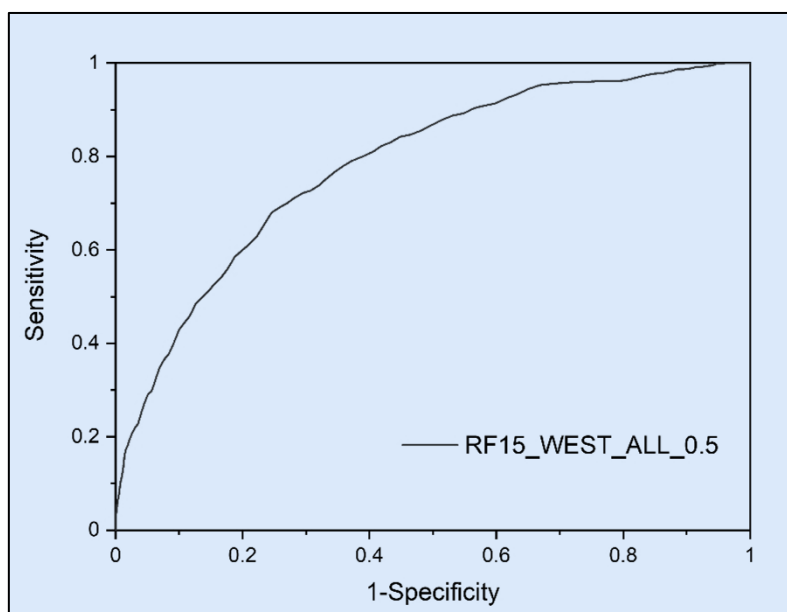
Table 7. Klasifikacija lokacija as i bez požra na osnovu predikcije statičkog modela na setu za treniranje modele

		predikcija		%
		nije požar	požar	
	nije požar	9475	3146	75.1
opservirano	požar	56	241	81.1

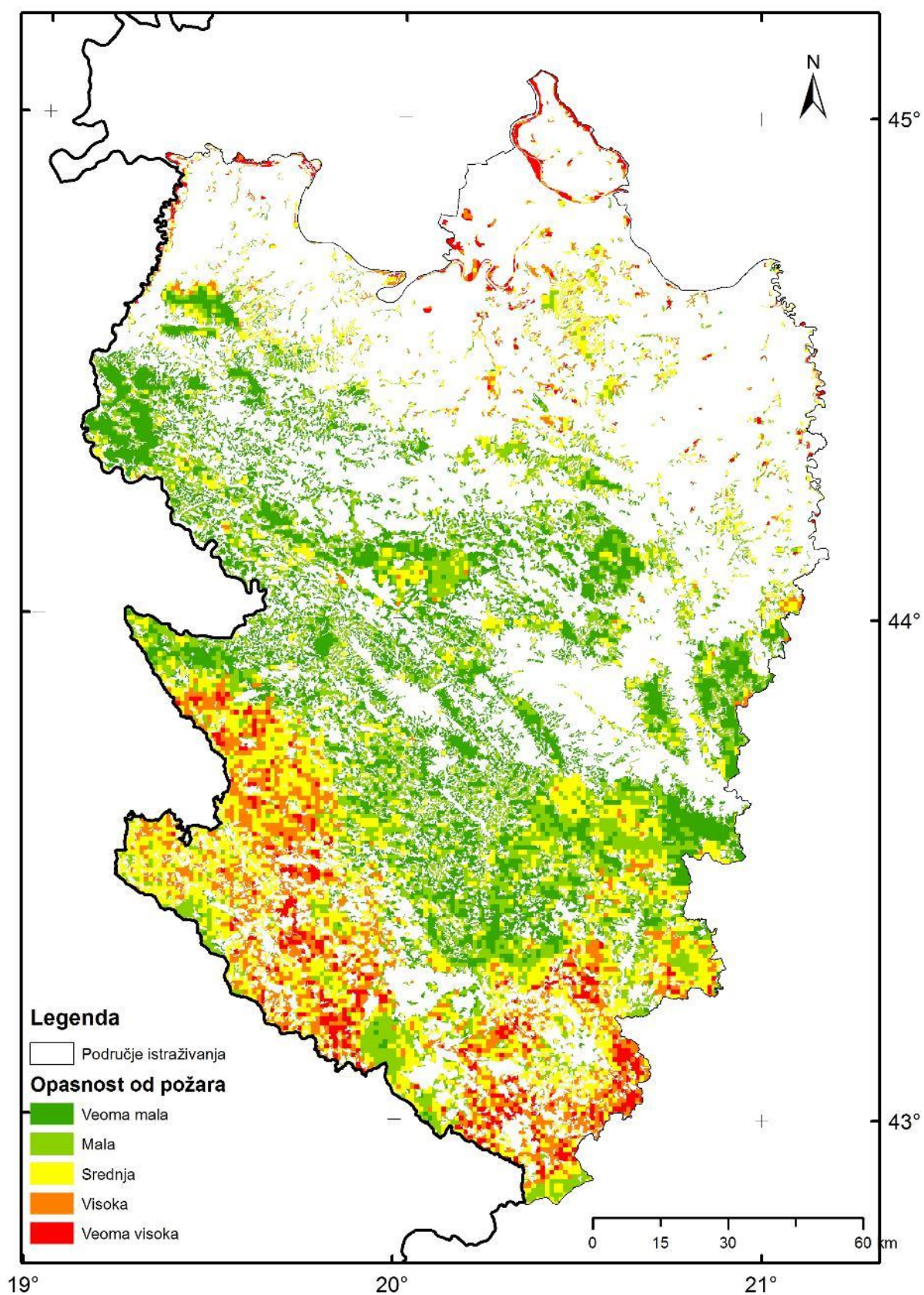
U setu za validaciju modela uspešnost predikcije je bila nešto niža i iznosila je 73.0 %, odnosno tačno je identifikovao 232 lokacije na kojima se dogodio požar.

Table 8. Klasifikacija lokacija as i bez požra na osnovu predikcije statičkog modela na setu za validaciju modela

		predikcija		%
		nije požar	požar	
	nije požar	8911	3949	69.3
opservirano	požar	86	232	73.0



Slika 16. ROC kriva za zapadnii deo Srbije



Slika 17. Karta verovatnoće pojave požara za istraživano područje Zapad

A.2.3 Šumska područja na geoprostoru Vojvodina

Za predikciju požara Vojvodini, kao i u u zapadnom delu Srbije, kao kriterijum za uparivanje korišćena nadmorska visina, a kao prediktori koji sa najvećom preciznošću identifikuju lokacije na kojima se dogodio požar uključeno je duplo manje prediktora nego u slučaju šumskih područja na istoku Srbije. Ovaj model pokazao je uspešnost predikcije požara od 97.2%, odnosno tačno je identifikovao 316 lokaciju na kojima se dogodio požar u setu za treniranje.

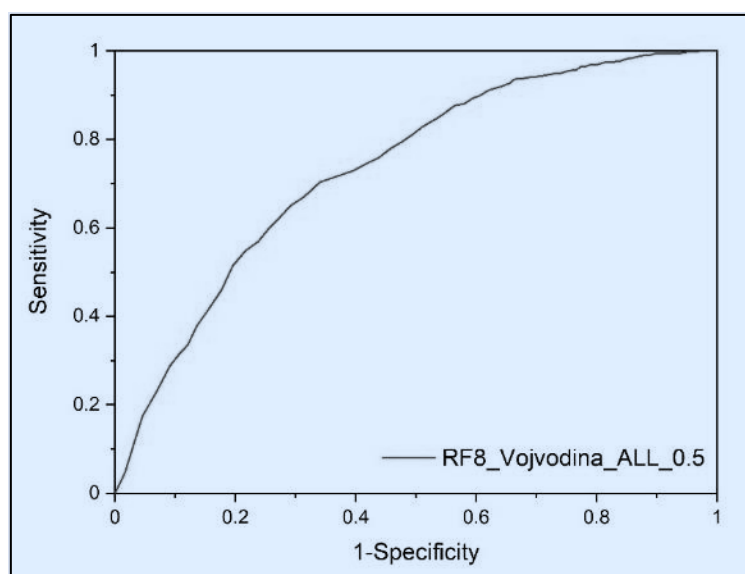
Table 9. Klasifikacija lokacija as i bez požra na osnovu predikcije statičkog modela na setu za treniranje modele

		predikcija		%
		nije požar	požar	
opservirano	nije požar	12283	2598	82.5
	požar	9	316	97.2

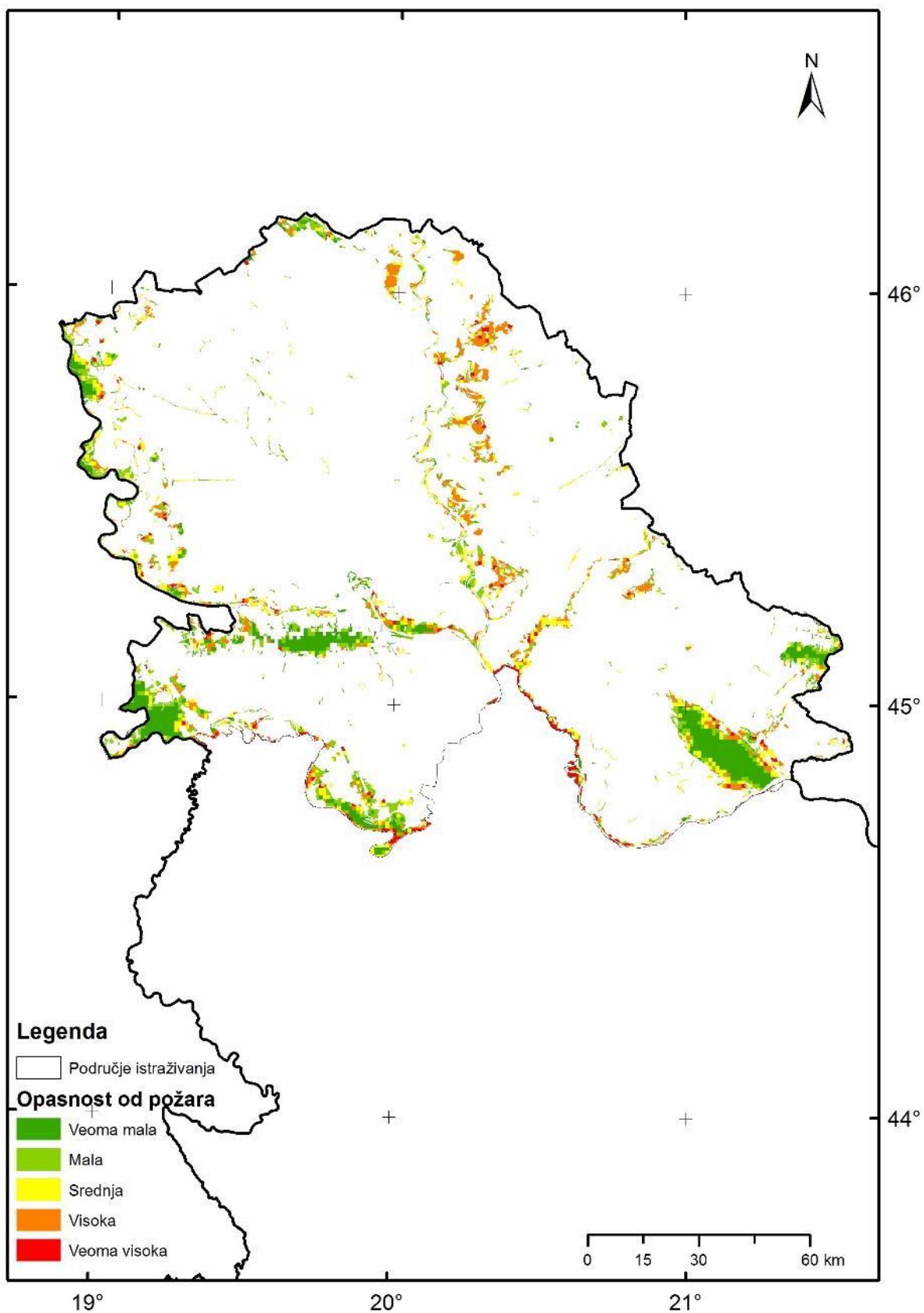
U setu za validaciju modela uspešnost predikcije je bila nešto niža i iznosila je 91.0 %, odnosno tačno je identifikovao 238 lokacija na kojima se dogodio požar.

Table 10. Klasifikacija lokacija as i bez požra na osnovu predikcije statičkog modela na setu za validaciju modela

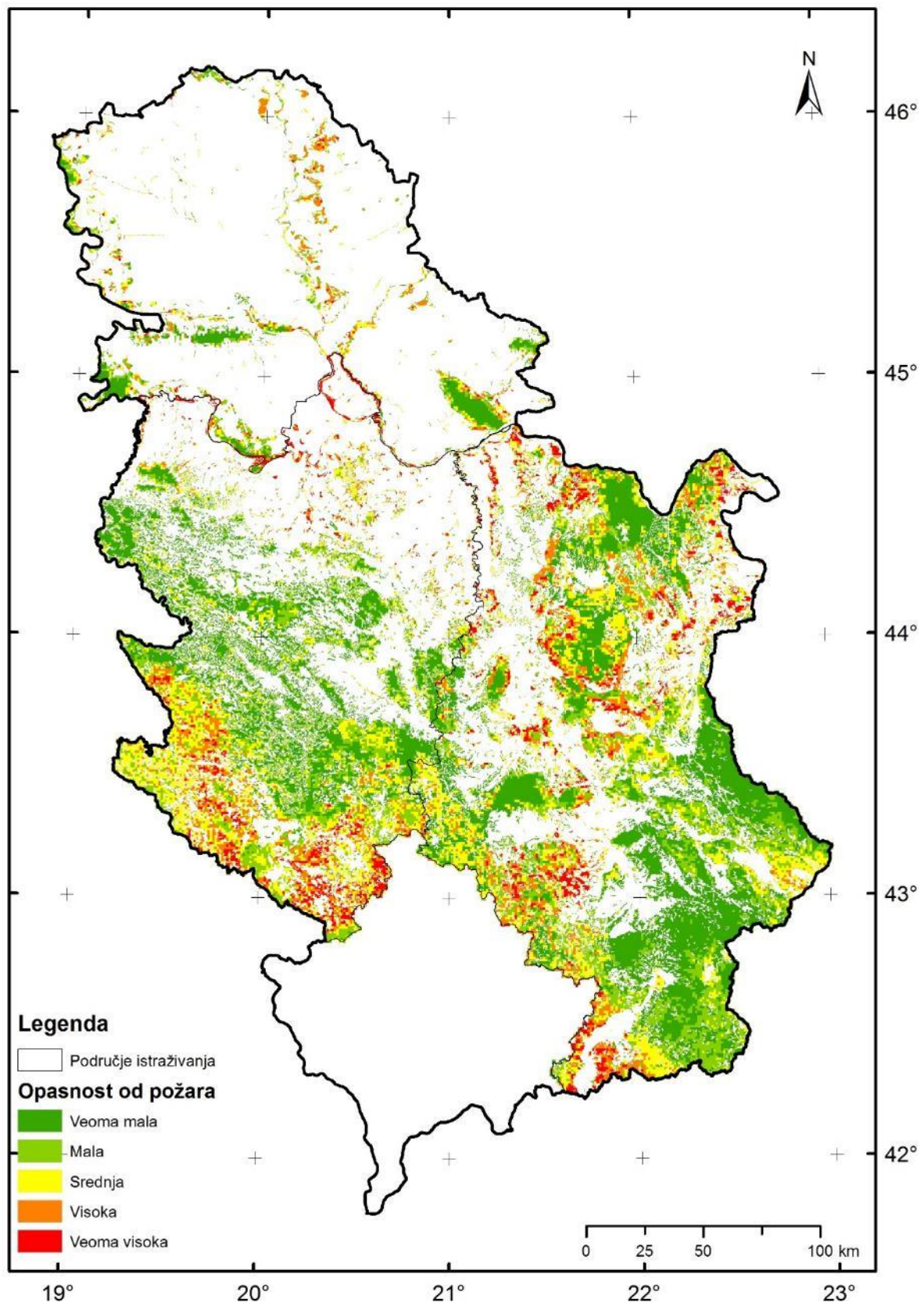
		predikcija		%
		nije požar	požar	
opservirano	nije požar	5291	1089	82.9
	požar	13	138	91.4



Slika 18. ROC kriva za područje Vojvodine



Slika 19. Karta verovatnoće pojave požara za istraživano područje Vojvodine



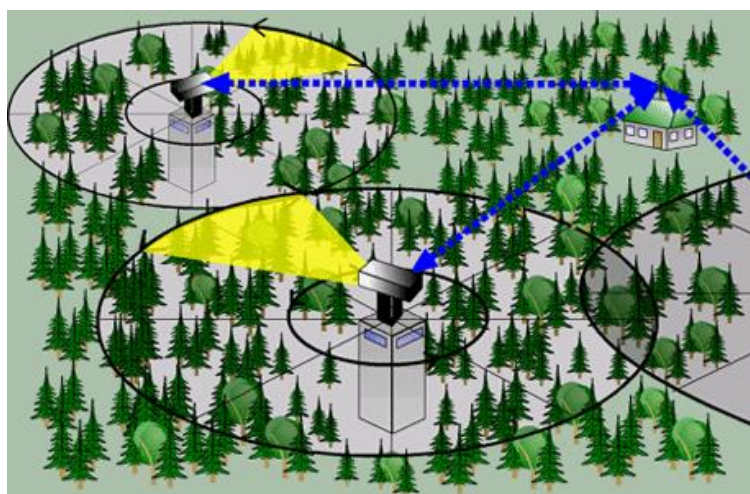
Slika 20. Karta verovatnoće pojave požara za područja Centralne Srbije i Vojvodine

B. Optimizacija pozicija kamera i ruta dronova za ranu detekciju požara

Projektovanje mreže kamera za ranu detekciju požara za teritoriju Srbije

Na osnovu „statičke karte“ opasnosti od požara projektovana je mreža kamera za ranu detekciju požara. Mreža kamera je projektovana samo za područja sa izraženom opasnošću od požara koja je definisana stacionarnim kartama. Analize različitih video sistema su pokazale da, bez obzira na pouzdanost softvera koji se koristi za automatsku detekciju požara, čovek treba da bude taj koji donosi odluku o tome da li se radi i pravom šumskom požaru ili lažnom alarmu. Za delove teritorije, koja usled kupiranosti terena nije pokrivena video kamerama, projektovane su rute za nadzor bespilotnim letelicama koje imaju zadatak da u periodu visoke opasnosti od požara, koja je definisana „dinamičkom kartom“, detektuju pojavu požara u realnom vremenu. Pored detekcije požara, video nadzor može poslužiti i u druge svrhe, kao što je sprečavanje bespravnih seča, monitoring divljači, detakcija drugih vidova šteta u šumi ali i za druge svrhe van domena šumarskog sektora.

U monitoringu šumskih požara veliki naponi se ulažu u rano otkrivanje požara koje se tradicionalno zasniva na ljudskim osmatračima. Razvojem savremenih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT) veliki broj država je uveo sisteme automatskog protivpožarnog video nadzora koji se zasniva na daljinskom upravljanju kamerama postavljenim na osmatračke lokacije (Slika 1). U odnosu na tradicionalne metode osmatračke službe, ovakav sistem ima veliki broj tehničkih prednosti. Zemaljski automatski protivpožarni sistemi mogu biti zasnovani na termokamerama (skupa tehnologija) ili na video kamerama osetljivim u vidljivom delu spektra, što je ekonomski prihvatljivo. U cilju punog iskorišćenja ovakvih protivpožarnih sistema potrebno je pravilno definisati njihove osmatračke lokacije.



Slika 21. Sistem automatskog protivpožarnog video nadzora šumskog područja

B. 1. Metode za optimizaciju

U ovom delu prikazane su dve varijante primene višekriterijumskog MABAC (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) i FUCOM (FULL CONSistency Method) GIS modela za određivanje osmatračkih lokacija kamera na području Srbije. Prva varijanta definisanja lokacija kamera zasniva se na selekciji i iskorišćenju postojećih RATEL antenskih stubova i druga varijanta podrazumeva validaciju

efiksanosti osmatračkih lokacija izabranih po varijanti 1 i dopunu novim „Peak“ osmatračkim lokacijama.

Varijanta 1

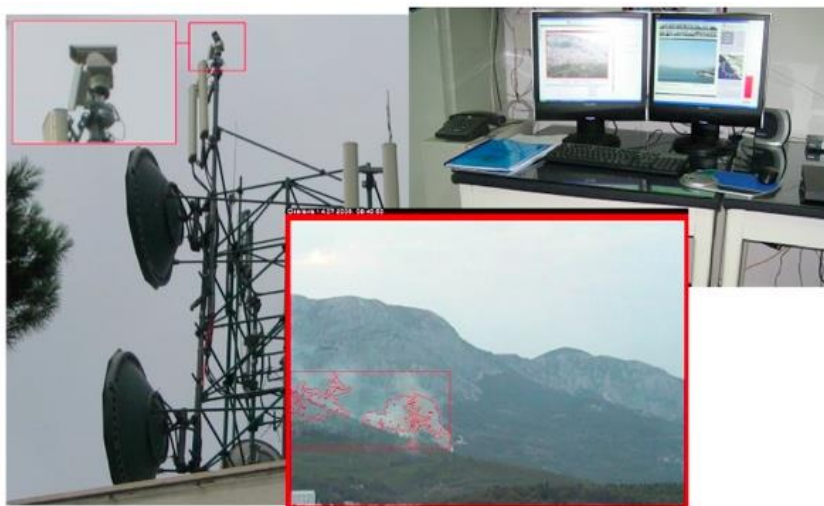
Višekriterijumski GIS FUCOM model za izbor lokacija kamera po varijanti 1, je razvijen uz pomoć sledećih kriterijuma evaluacije:

- karta verovatnoće pojave požara
- gustina šuma
- distanca od naseljenih mesta
- distanca od komunikacija
- nagib reljefa
- nadmorska visina
- zakrivljenost reljefa
- visina RATEL antenskog stuba

Model se realizuje se kroz više koraka:

1) Prikupljanje podataka: Ovaj korak omogućava unos, prihvatanje i transformaciju prostornih i tematskih podataka u digitalni oblik. Unošenjem u GIS, svaki od kriterijuma predstavljen je prostorno definisanim vektorskim ili rasterizovanim mapama, čiji slojevi predstavljaju različite kriterijume koji imaju različite opsege ili skale vrednosti. Za istraživanje prostornih parametara korišćeni su različiti izvori prostornih podataka. Većina njih je globalno i slobodno dostupna:

- Metapodaci pokrivenosti šumom korišćeni su High Resolution Layer: Tree Cover Density (TCD) 2015 rezolucije 20x20 metara, izvora European Environment Agency - copernicus@eea.europa.eu. Pristup podacima zasnovan je na principu punog, otvorenog i slobodnog pristupa koji je utvrđen Uredbom (EU) br. 1159/2013 o Kopernikusu i informacijama od 12. jula 2013. godine.
- GIS skupovi podataka korišćenje zemljišta, vodene površine i urbana područja preuzeti su sa besplatne mape CORINE Land Cover (CLC). Ažuriranja su napravljena 2000., 2006., 2012. i 2018. Sastoji se od popisa pokrivača zemljišta u 44 klase. CLC koristi minimalnu jedinicu za mapiranje (MMU) od 25 hektara (ha) za površinske pojave i minimalnu širinu od 100 m za linearne pojave.
- Podaci o nagibu, aspektu i visini generisani su pomoću algoritama 3D Analyst sadržanih u softveru ArcGis iz digitalnog modela nadmorske visine (DEM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Topografski podaci visoke rezolucije generisani iz NASA-ine Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Podaci dolaze u zipovanim SRTMHGT datotekama u rezoluciji od 1 arcsecond (30 m) u projekciji geografske širine / dužine (EPSG: 4326), preuzete sa NASA servera.
- GIS baza RATEL antenskih stubova (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge).
- OpenStreetMap (OSM) je korišćen za određivanje putne infrastrukture i naselja. Skup podataka za puteve generisan od OSM podataka koje je izradio VFP prema UNSDI-T standardima. Podaci se ažuriraju u gotovo realnom vremenu sa OSM servera i uključuju sva najnovija ažuriranja. Vremenska linija podataka OSM je 2020.



Slika 22. Osmatrački sistem zasnovan na lokacijama RATEL antenskih stubova

2) Postupak modelovanja metapodataka u GIS i generisanje mapa kriterijuma urađen je u okviru ArcGIS Desktop 10.6 softverskog paketa firme ESRI. S obzirom da su podaci različitog formata vrši se standardizacija podataka u jedinicama koje se mogu uporediti. Skupovi podataka su standardizovani primenom Fuzzy koncepta na kontinuiranoj skali u zavisnosti od izabrane funkcije pripadnosti. Operativna osnova na osnovu preuzete mape verovatnoće pojave od požara je raster rezolucije 1x1km. Za vrednovanje podobnost atributa korišćena je kontinuirana skala u opsegu od 0 do 1, gde je 0 isključiva, a 1 najpogodnija vrednost kriterijuma u odnosu na povoljnost izbora lokacije za kamere. Za standardizaciju je u odnosu na izabranu funkciju članstva za svaki kriterijum korišćen algoritam Fuzzy Membership Spatial Analyst Tools u okviru ArcGIS Desktop 10.6.

3) Na osnovu usvojenih kriterijuma, primenom višekriterijumskog modela izračunavaju se težinski koeficijenti kriterijuma evaluacije na osnovu kojih se GIS modelovanjem izrađuje indeksna mapa pogodnosti lokacija za postavljanje šumskih kamera na području zapadne Srbije. Primenom FUCOM metodologije formiran je nelinearni model (1).

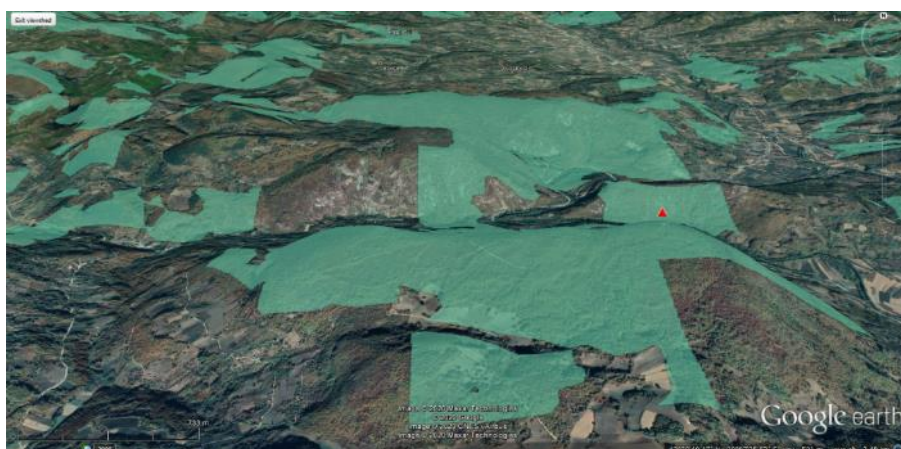
$$\begin{aligned}
 &\min \chi \\
 &s.t. \begin{cases} \left| \frac{w_1}{w_8} - 2.01 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_8}{w_3} - 1.24 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3}{w_5} - 1.047 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5}{w_4} - 1.049 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_6} - 1.052 \right| \leq \chi, \\ \left| \frac{w_6}{w_2} - 1.141 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2}{w_7} - 1.076 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_1}{w_3} - 2.49 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_8}{w_5} - 1.30 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.10 \right| \leq \chi, \\ \left| \frac{w_5}{w_6} - 1.10 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_2} - 1.20 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_6}{w_7} - 1.23 \right| \leq \chi, \\ \sum_{j=1}^8 w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Rešavanjem modela (1) dobijeni su težinski koeficijenti kriterijuma:

Kriterijum	Tež. koef.
C1 - verovatnoća pojave požara	0.279
C2 - gustina šuma	0.085
C3 - distanca od naseljenih mesta	0.112
C4 - distanca od komunikacija	0.102
C5 - nagib reljefa	0.107
C6 - nadmorska visina	0.097
C7 - zakrivljenost reljefa	0.079
C8 - visina RATEL antenskog stuba	0.139

4) Četvrti korak podrazumeva agregaciju mapa kriterijuma, primenom WLC (Weighted Linear Combination) koja je integrisana u Spatial Analyst Tools. Na taj način, množe se težine kriterijuma, dobijenih kao rezultat FUCOM metode, sa fuzzy skorom ćelija svakog kriterijuma i kao rezultat se generiše konačna mapa pogodnosti za lokacije kamera. Na bazi usvojenih kriterijuma, dobija se mapa pogodnosti lokacija za postavljanje šumskih kamera, koja se predstavlja u indeksnom vrednosnom opsegu od 0 do 1. Veće vrednosti ćelija karakterišu prostor koji je povoljniji za lokaciju kamera. Brisanje usamljenih vrednosti rasterskih ćelija se vrši primenom Majority Filtera u okviru Spatial Analyst alata.

5) Na osnovu indeksne mape pogodnosti i dostupne baze mreže RATEL (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge) antenskih stubova vrši se njihovo indeksiranje i odabir najoptimalnijih lokacija RATEL antenskih stubova za postavljanje kamera. Selektuju se samo stubovi koji se nalaze u šumskom području udaljeni 300 m od puteva i 1000 m od naselja. U daljem postupku, vrši se preklapanje preuzetih RATEL georeferenciranih lokacija antenskih stubova sa mapom pogodnosti lokacija za postavljanje šumskih kamera pri čemu je svakoj lokaciji pridruživani podatak (Extract Values to Points) sabran sa težinskim indeksom visine stuba. Na ovaj način tabela stubova dobija vrednost atributa indeksa pogodnosti.



Slika 23. Vizuelizacija sprovedene analize vidljivosti šume na lokalnom nivou Google Earth Pro

Za konačne lokacije selektuju se RATEL antenski stubovi sa najvišim indeksnim vrednostima u izolovanim područjima poluprečnika od 10 do 20 km. Vizuelna provera uspešnosti izbora lokacija na lokalnom nivou se vrši korišćenjem Google Earth Pro ili sličnog softvera.

Na osnovu primenjenog modela u području Srbije se indetifikuju RATEL lokacije antenskih stubova pogodnih za postavljanje kamere. U posebnoj geobazi podataka, datoj u Prilogu, eksportuje se poseban sloj tačkastih lokacija antenskih stubova, sa tabelom atributa (Tabela 1).

Table 11. Atributi parametara osmatranja u geobazi tačkastih lokacija kamera

Naziv atributa	Opis atributa
FID	Redni broj u tabeli
SHAPE	Oblik geometrije (Point)
OBJECTID	Redni broj objekta RATEL
X	X koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
Y	Y koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
Z	Nadmorska visina
LATITUDE	Decimalni zapis koordinate geografske širine
LONGITUDE	Decimalni zapis koordinate geografske dužine
OFFSETA	Visina pozicije kamere u odnosu na tlo
OFFSETB	Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo
AZIMUTH1	Početni azimut osmatranja kamere
AZIMUTH2	Krajnji azimut osmatranja kamere
VERT1	Maksimalni verikalni ugao osmatranja kamere
VERT2	Minimalni verikalni ugao osmatranja kamere
RADIUS1	Minimalni radijus osmatranja kamere
RADIUS2	Maksimalni radijus osmatranja kamere
Forest_Area	Površina šumskog područja u dijametru osmatranja km ²
Visibility_Area	Površina vidljivog šumskog u dijametru osmatranja km ²
Efekat	Procenat vidljivog dela od ukupnog šumskog područja

6) U završnom koraku, određuju se zone vidljivosti područja sa izdvojenih lokacija RATEL antenskih stubova na osnovu Digitalnog Modela Terena (DMT). U analizi zona vidljivosti varijante 1 su usvojena sledeća topografska i tehnička ograničenja kamere (slika 2):

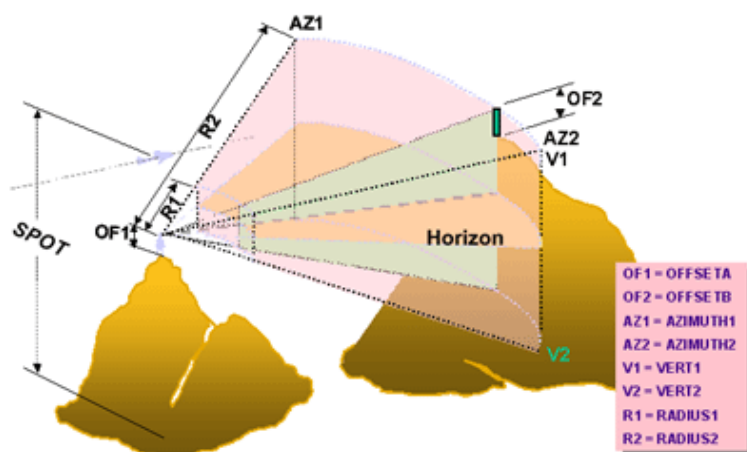
- Visina pozicije kamere u odnosu na tlo je definisana visinom RATEL antenskih stubova;

- Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo je 0 m;
- Radijus osmatranja: minimalno 0 m, maksimalni 20 km;
- Zona horizontalnog osmatranja je 360°;
- Zona vertikalnog osmatranja je od -90° do 90°.

Napomena: U konačnoj analizi moguće je za svaku tačku uneti posebne topografsko-tehničke uslove snimanja prema odabranom modelu i visini kamere.

Primenom integrisanog algoritma Viewshed ili Visibility Spatial Analyst Tools, generiše se raster za operativno područje rezolucije 30x30 metara sa ćelijama vrednosti od 0 do n. Vrednosti ćelije rastera koje imaju vrednost 0, predstavljaju ćelije rastera koje nisu vidljive ni sa jedne lokacije kamere, dok vrednost od 1 do n označava ukupan broj kamera sa kojih se vidi data ćelija rastera.

Ekstrakcijom poligona šumskih područja sa rasterom vidljivosti (Extract Mask) generiše se raster vidljivosti šumskog područja sa RATEL izdvojenih lokacija antenskih stubova.



Slika 24. Parametri koji se koriste za analizu vidljivosti u ArcGIS-u

Rezultatima ove analize treba dodati da su osmatračke stanice za kamere određivane na 1.000 m od urbanih sredina i 300 m od regionalnih i magistralnih komunikacija zbog činjenice da se na tim prostorima usled prisustva ljudi vrlo brzo uočavaju šumski požari. Na takva područja gravitira oko 10% ukupnih šuma u zapadnoj Srbiji.

Varijanta 2

Druga varijanta izbora lokacija za kamere podrazumeva validaciju RATEL osmatračkih lokacija po varijanti 1 i dopunu novim „Peak“ osmatračkim lokacijama.

Postupak se realizuje se kroz više koraka:

1) Primenom funkcija Buffer i Overlay izvršena je validacija osmatračkih potencijala RATEL lokacija. U tom cilju, za svaku RATEL lokaciju po varijanti 1, u okviru dijametra osmatranja od 20 km izračunate su

ukupne površine šumskih područja koje se mogu osmotriti sa lokacije i izračunate su površine njihovih vidljivih delova. Osmatrački potencijali RATEL lokacija su izraženi u procentima efikasnosti (Ef) i dat u tabelarnim atributima lokacija (Prilog 1)

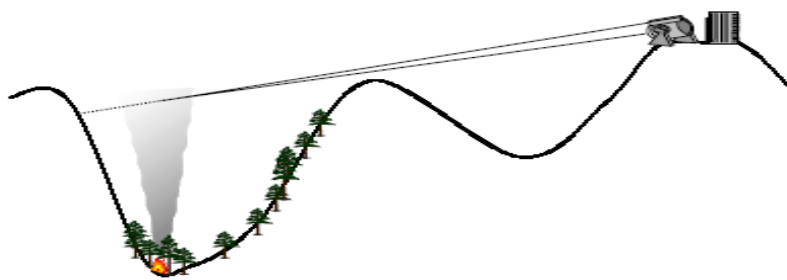
$$Ef = \text{Visibility_Area} / \text{Forest_Area} * 100 (\%)$$

2) U sledećem koraku se vrši eliminacija lokacija sa lošim procentom efikasnosti. U njihovim zonama osmatranja primenom „peak“ funkcije definišu se nove „Peak lokacije“ za postavljanje šumskih kamera. Racionalizacija RATEL lokacija podrazumeva i primenu tehničke standadizacije visine za postavljanje šumskih kamera na minimalno 35 m. To podrazumeva potrebnu nadogradnju RATEL antenskih stubova koji ne zadovoljavaju taj uslov, što je ekonomski racionalnije od izgradnje posebnih „peak“ stubova.

3) U završnom koraku, određuju se zone vidljivosti područja po taktičko-tehničkim uslovima i postupku opisanom u varijanti 1.

Definisanje ruta za dronove

Primena dronova u prevenciji šumskih požara ima sve veću primenu u praksi. Dronovi se koriste na raščlanjenom području kada zbog geografije terena kamere ne mogu da precizno da odrede poziciju požara. Bepilotni vazduhoplovi slanjem telemetrijskih podataka sa slikom u nadzorni centar, mogu vrlo precizno i efikasno da tačno detektuju površinu koja je zahvaćena vatrom. U isto vreme slaće podatke o brzini, pravcu, smeru vetra i geografsku širinu i dužinu terena koji je zahvaćen vatrom.



Slika 25. Uticaj konfiguracije terena na vidljivost kamera

Za pravilno korišćenje bespilotnih vazduhoplova u monitoringu šumskih požara potrebno je definisati rute dronova. U ovom delu na osnovu usvojenih evaluacionih kriterijuma primenom GIS FUCOM višekriterijumske tehnike definisane su rute dronova za delove šumskog područja koje nije moguće osmotriti sa Zemlje. Parametar optimizacije je minimizacija rastojanja uz istovremenu pokrivanja nevidljivog dela šumskog područja sa visokim stepenom ugroženosti od požara

Višekriterijumski FUCOM- model za izbor ruta dronova, je razvijen uz pomoć sledećih kriterijuma evaluacije:

- vidljivost šumskog područja sa lokacija kamera
- verovatnoća pojave požara
- distanca od naseljenih mesta
- distanca od komunikacija
- distanca od dalekovoda

Model se realizuje se kroz više koraka:

1) U prvom koraku ponavljaju se radnje i postupci unosa podataka i njihove standardizacije koji su objašnjeni u predhodnoj fazi. Operativna podloga je raster rezolucije 30x30 m.

2) Određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma evaluacije za izbor ruta dronova.

$$\begin{aligned}
 &\min \chi \\
 &s.t. \begin{cases} \left| \frac{w_1}{w_2} - 1.205 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2}{w_3} - 2.112 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3}{w_5} - 1.202 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5}{w_4} - 1.020 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_6} - 1.172 \right| \leq \chi, \\ \left| \frac{w_1}{w_3} - 2.54 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2}{w_5} - 2.54 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.23 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5}{w_6} - 1.20 \right| \leq \chi, \\ \sum_{j=1}^6 w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Rešavanjem modela (2) dobijeni su težinski koeficijenti kriterijuma:

Kriterijum	Tež. krit.
C1 - Vidljivost sa lokacija kamera	0,318
C2 - Verovatnoća pojave požara	0,264
C3 - Distanca od naseljenih mesta	0,125
C4 - Distanca od komunikacija	0,102
C5 - Distanca od dalekovoda	0,104
C6 - Nagib	0,087

3) Izrada otežavajuće mape podrazumeva agregaciju slojeva korišćenjem WLC (Weighted Linear Combination). Postupak je opisan u predhodnoj fazi. Izvršenom agregacijom, dobijen je „Cost_map“ raster, koji je predstavljen u vrednosnom opsegu od 0 do 1. Manje vrednosti ćelija karakterišu prostor koji je optimalniji za putanju drona. Ovaj korak podrazumeva i Standard Deviation defazifikaciju korišćenjem funkcije Reclassify na osnovu koje se svakom pikselu definiše indeks klase pogodnosti za lokaciju kamera (1 do 10). Brisanje usamljenih vrednosti rasterskih ćelija se vrši primenom Majority Filtera u okviru Spatial Analyst alata.

4) Sledeći korak podrazumeva primenu algoritma The Cost Distance, Cost Back Link i Cost Path funkcija sadržanog u Spatial Analyst Tools ArcGIS, kojim se izračunavaju najoptimalnije rute dronova između određenih početnih i krajnjih tačaka leta drona. Algoritam Cost Path putanje sa najmanje troškova

pronalazi putanju koja akumulira najmanje 'troškova' od izvora do odredišta. Na opisani način se definišu rute drona na području Srbije.

U posebnoj geobazi podataka, datoj u Prilogu, izdvajaju se slojevi ruta drona, sa tabelom atributa sledeće strukture:

Table 12. Atributi parametara osmatranja u geobazi linijskih ruta osmatranja

Naziv atributa	Opis atributa
FID	Redni broj u tabeli
SHAPE	Oblik geometrije (Polyline)
OBJECTID	Broj rute
LENGHT	Dužina rute u km
X_START	X koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
Y_START	Y koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
X_END	X koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
Y_END	Y koordinata lokacije u UTM WGS84 projekciji
OFFSETA	Visina pozicije kamere u odnosu na tlo
OFFSETB	Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo
AZIMUTH1	Početni azimut osmatranja kamere
AZIMUTH2	Krajnji azimut osmatranja kamere
VERT1	Maksimalni verikalni ugao osmatranja kamere
VERT2	Minimalni verikalni ugao osmatranja kamere
RADIUS1	Minimalni radijus osmatranja kamere
RADIUS2	Maksimalni radijus osmatranja kamere

U analizi zona vidljivosti drona su usvojena sledeća topografska i tehnička ograničenja drona:

- Visina pozicije kamere u odnosu na tlo 300 m;
- Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo 0 m;
- Radijus osmatranja: minimalno 0 m, maksimalni 5 km;
- Zona horizontalnog osmatranja je 360°;
- Zona vertikalnog osmatranja je od -20° do -90° ;
- Maksimalna dužina rute 50 km.

Napomena: Topografska i tehnička ograničenja drona su promenljiva.

5) Primenom integrisanog algoritma Visibility, Spatial Analyst Tools, generisan je raster vidljivosti dronom, rezolucije 30x30 metara sa ćelijama vrednosti od 0 do 1. Vrednosti ćelije rastera koje imaju vrednost 0, predstavljaju ćelije rastera koje nisu vidljive ni sa jedne od ruta drona, dok vrednost od 1

označava ćelije koja se vide sa ruta drona. Ekstrakcijom rastera šumskih područja sa rasterom vidljivosti (Extract Mask) generiše se raster vidljivosti šumskog područja dronom.

6) Završni korak predstavlja sumiranje rastera (Map algebra) vidljivosti šumskog područja (varijanta 1 i varijanta 2) i rastera vidljivosti ruta dronom. Rezultujući rasteri ukazuju na šumska područja koja su vidljiva prema varijanti 1 i sa putanje dronova i koja su vidljiva prema varijanti 2 i sa putanje dronova.

B.2.1 Rezultati kartografska i geostatistička analiza - Šumska područja na geoprostoru istočne Srbije

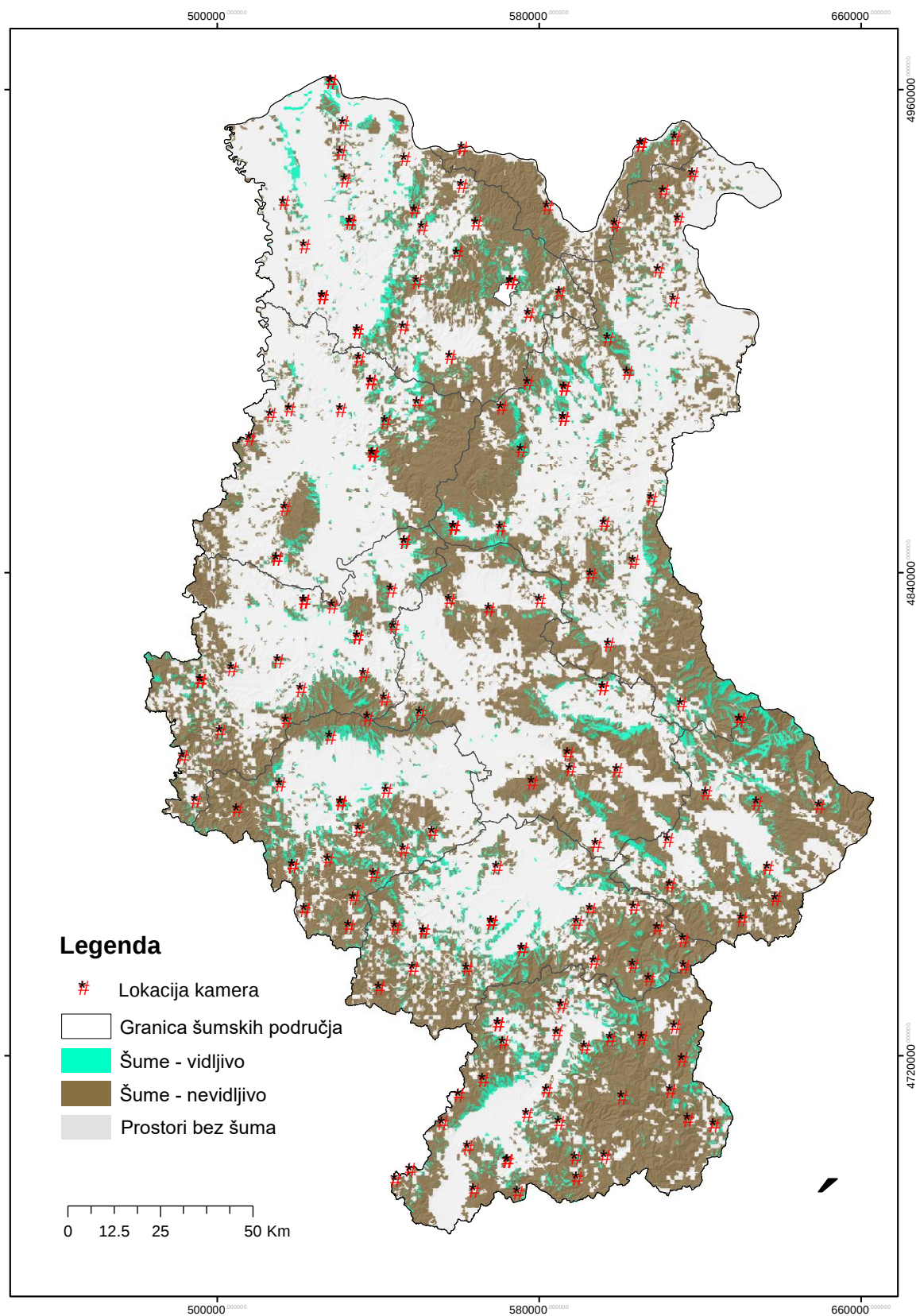
Po varijanti 1 od ukupno 14.413 km² šumskih površina u istočnoj Srbiji, vidljivo je samo 1.703 km² šumskog područja (12%). Od šuma sa stepenom pete kategorije ugroženosti 22,5% je vidljivo od sa predloženih lokacija.

Table 13. Vidljive površine po zonama ugroženosti od požara na području istočne Srbije

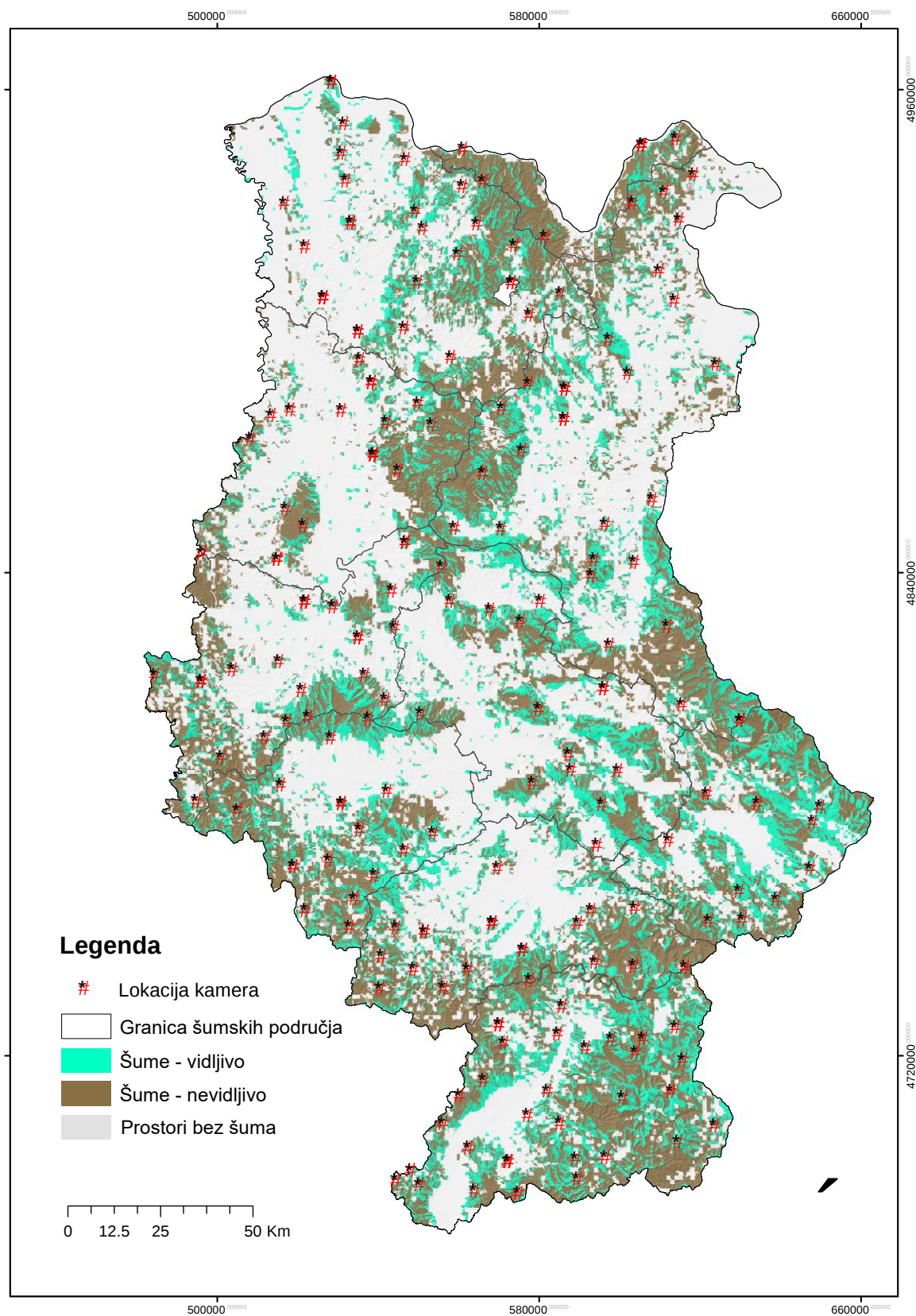
Zona ugroženosti	Indeks verovatnoće pojave od požara	Ukupno šuma (km ²)	VARIJANTA 1 (KAMERE)		VARIJANTA 2 (KAMERE)		VARIJANTA 1 (DRON)		VARIJANTA 2 (DRON)	
			vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%
1	0,0-0,4	8387.6	884.8	10.5	2900.1	34.6	2513.6	30.0	4209.3	50.2
2	0,4-0.65	3866.2	485.9	12.6	1626.4	42.1	1029.6	26.6	2044.1	52.9
3	0,65-0.85	1460.5	203.4	13.9	643.9	44.1	398.9	27.3	792.1	54.2
4	0,85-0.95	483.9	80.3	16.6	229.9	47.5	136.1	28.1	270.1	55.8
5	0,95-0.1.0	214.4	48.2	22.5	118.9	55.5	52.7	24.6	122.7	57.2
		14412.6	1702.6	11.8	5519.2	38.3	4130.9	28.7	7438.3	51.6

Analizom vidljivosti po Varijanti 2, vidljivo je 5.519 km² šumskog područja istočne Srbije (38%) i 55% šumskog područja pete kategorije ugroženosti.

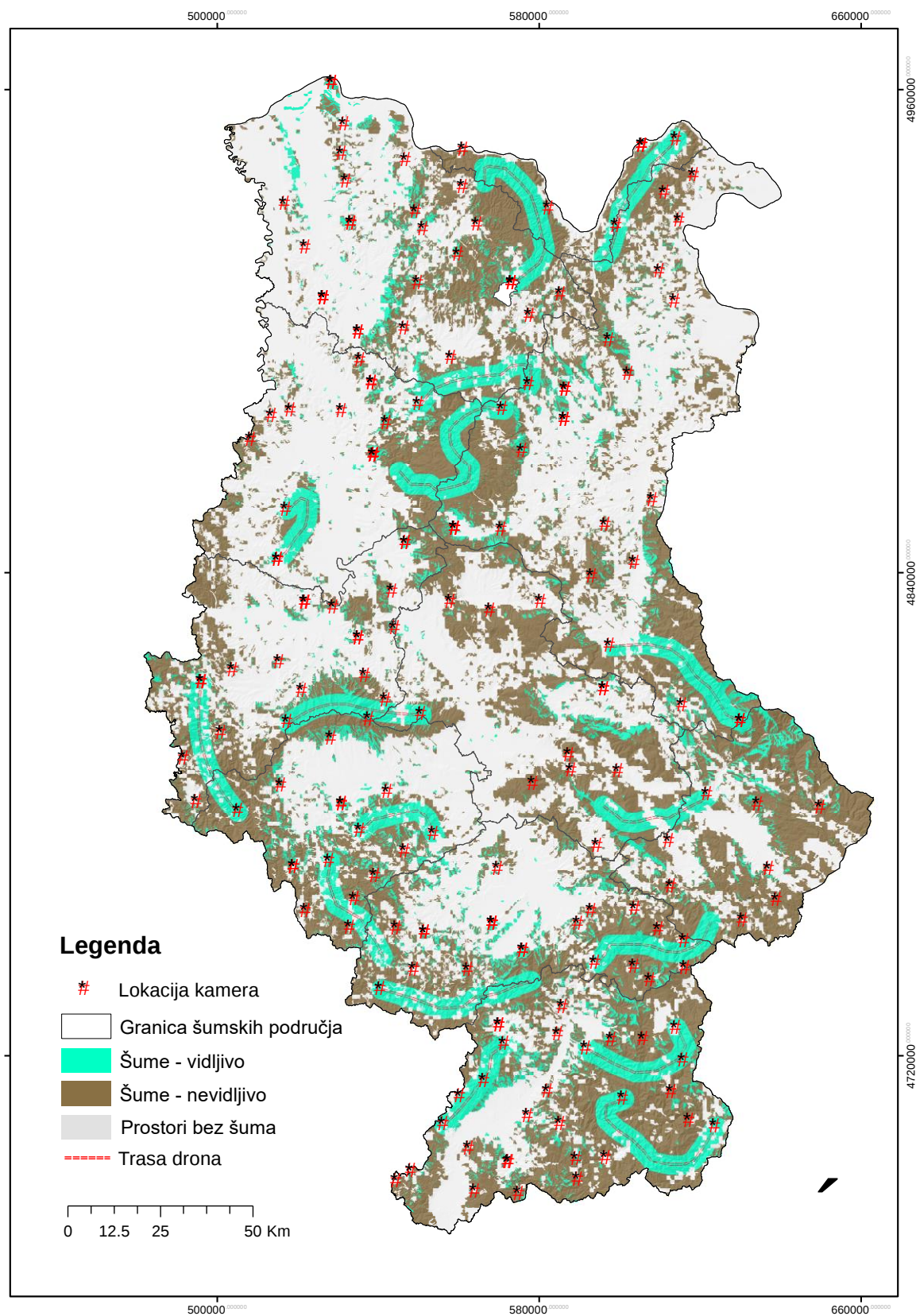
Sa RATEL lokacija kamera po Varijanti 1 i ruta drona vidljivo je 4.131 km² (29%) šumskog područja i sa trasa drona i osmatračkih lokacija kamera po Varijanti 2 vidljivo je 7.438 km² (52%) šumskog područja istočne Srbije.



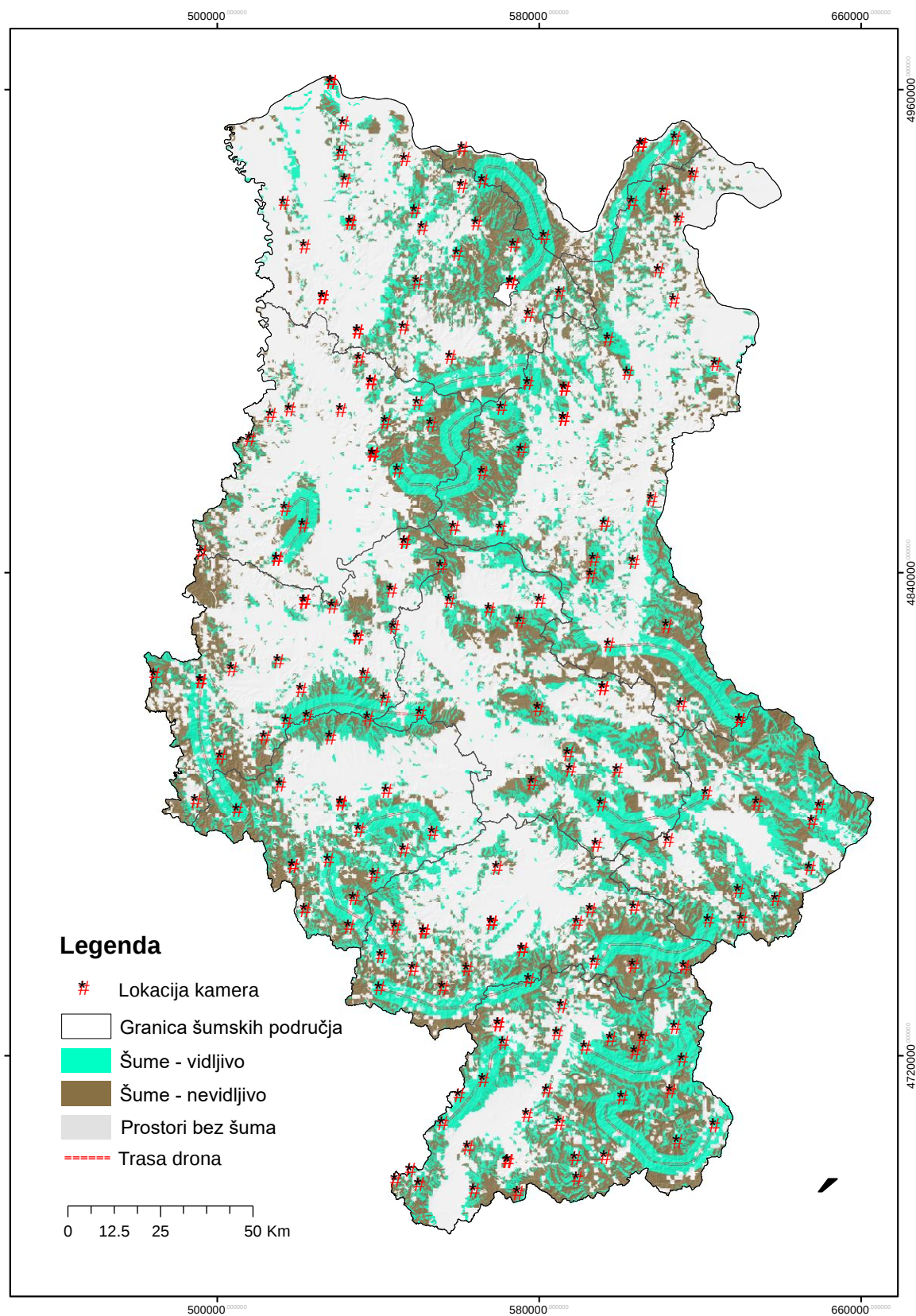
Slika 26. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, varijanta 1



Slika 27. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, varijanta 2



Slika 28. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, dron - varijanta 1



Slika 29. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, dron - varijanta 2

Table 14. Geostatistička analiza vidljivosti šumskog područja istočne Srbije

R. br.	Ime područja	Šumsko gazdinstvo	Ukupno šuma (km ²)	VARIJANTA 1 (KAMERE)		VARIJANTA 2 (KAMERE)		VARIJANTA 1 (DRON)		VARIJANTA 2 (DRON)	
				vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%
1	Južnomoravsko	"Vranje"	2371.5	225.2	9.5	930.1	39.2	739.7	31.2	1307.7	55.1
2	Jablaničko	"Šuma"	1412.4	186.8	13.2	486.9	34.5	480.8	34.0	743.4	52.6
3	Nišavsko	"Pirot"	1474.5	166.4	11.3	668.7	45.4	241.4	16.4	716.9	48.6
4	Topličko	"Toplica"	1271.8	186.3	14.6	476.0	37.4	429.7	33.8	671.0	52.8
5	Moravsko	"Niš"	1433.4	125.5	8.8	682.2	47.6	238.9	16.7	751.3	52.4
6	Južnokučajsko	"Južni Kučaj"	937.8	96.3	10.3	278.6	29.7	360.1	38.4	492.3	52.5
7	NP Đerdap	"Đerdap"	480.3	9.7	2.0	78.6	16.4	252.1	52.5	282.9	58.9
8	Timičko	"Timičko šume"	2463.1	287.5	11.7	935.9	38.0	614.1	24.9	1202.4	48.8
9	Rasinsko	"Rasina"	1114.2	132.3	11.9	359.9	32.3	317.8	28.5	492.8	44.2
10	Severnokučajsko	"Severni Kučaj"	1497.1	271.0	18.1	603.1	40.3	430.2	28.7	742.9	49.6
11	NNB Debeli Lug	"Debeli Lug"	20.2	8.8	43.3	9.9	49.0	12.7	62.6	11.5	56.7

B.2.2 Kartografska i geostatistička analiza - Šumska područja na geoprostoru zapadne Srbije

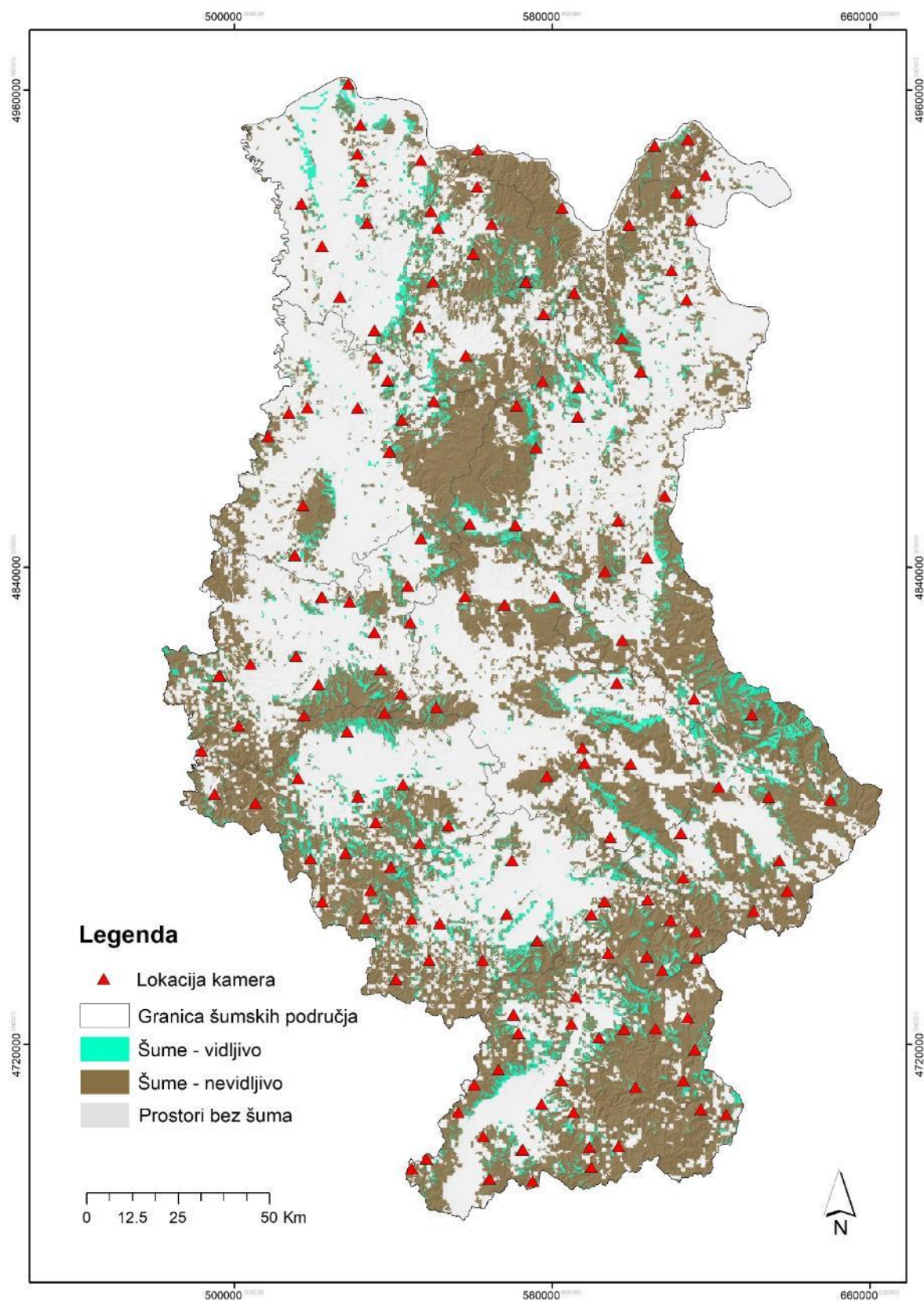
Sa izdvojenih RATEL lokacija stubova za postavljanje kamera po varijanti 1 od ukupno 8652 km² šumskih površina u Vojvodini, vidljivo je 3427 km² šumskog područja (40%). Uočava se da je 1/4 šuma sa stepenom pete kategorije ugroženosti od požara vidljivo sa predloženih lokacija.

Table 15. Vidljive površine po zonama ugroženosti od požara na području zapadne Srbije

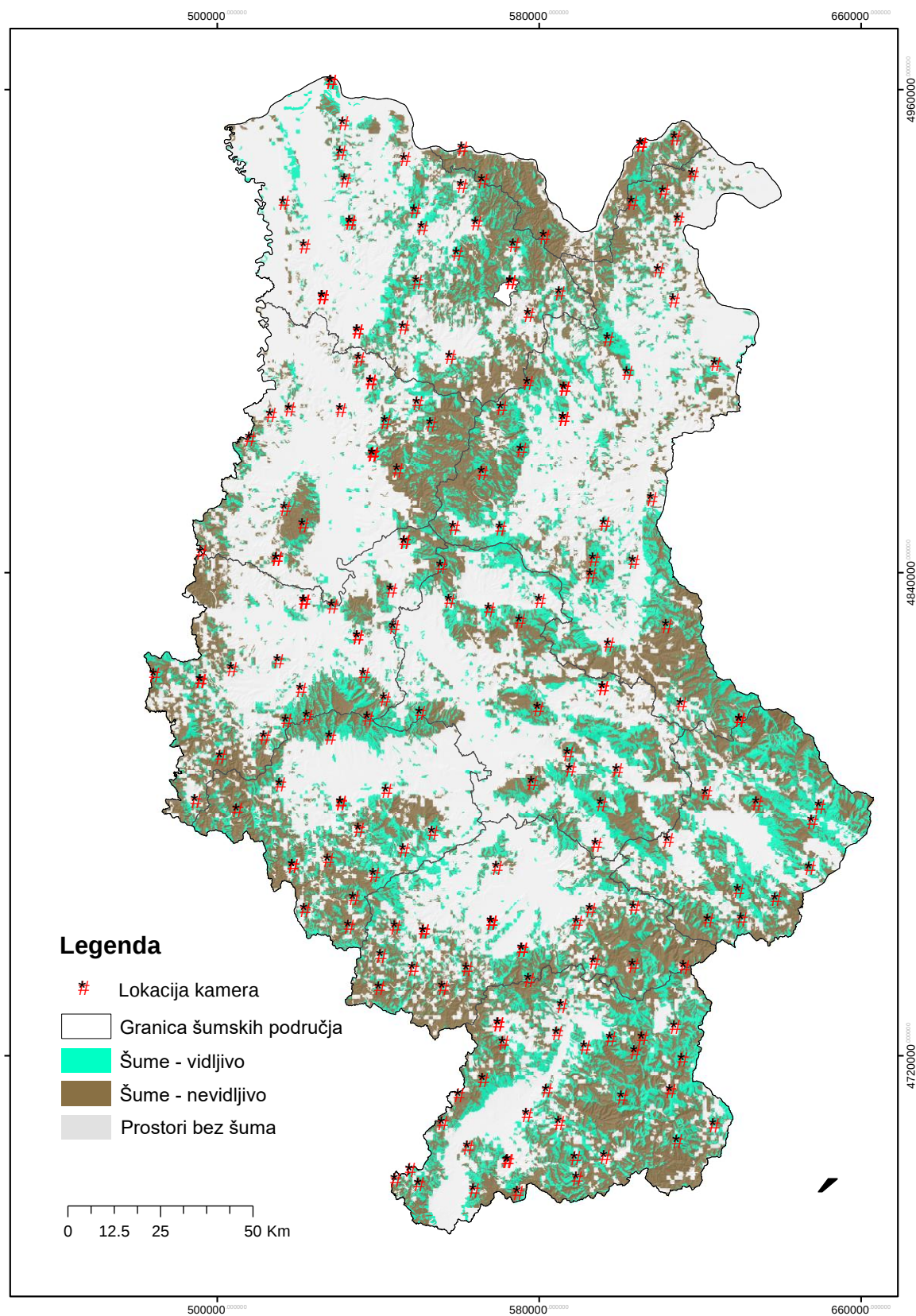
Zona ugroženosti	Indeks verovatnoće pojave od požara	Ukupno šuma (km ²)	VARIJANTA 1 (KAMERE)		VARIJANTA 2 (KAMERE)		VARIJANTA 1 (DRON)		VARIJANTA 2 (DRON)	
			vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%
1	0,0-0,4	4320.4	1692.1	39.2	1903.4	44.1	2163.3	50.1	2352.3	54.4
2	0,4-0.65	3463.4	1384.7	40.0	1521.7	43.9	1826.9	52.7	1950.1	56.3
3	0,65-0.85	769.7	317.7	41.3	345.7	44.9	423.7	55.0	448.1	58.2
4	0,85-0.95	75.1	26.3	35.0	27.3	36.4	32.7	43.5	33.5	44.6
5	0,95-0.1.0	23.3	5.8	24.9	5.9	25.3	6.5	27.9	6.7	28.8
		8651.9	3,426.6	39.6	3804	44.0	4453.1	51.5	4790.7	55.4

Analizom vidljivosti šumskog područja po Varijanti 2, vidljivo je 3.804 km² šumskog područja zapadne Srbije (44%). Takođe, vidljivo je 25,3% šuma pete kategorije ugroženosti.

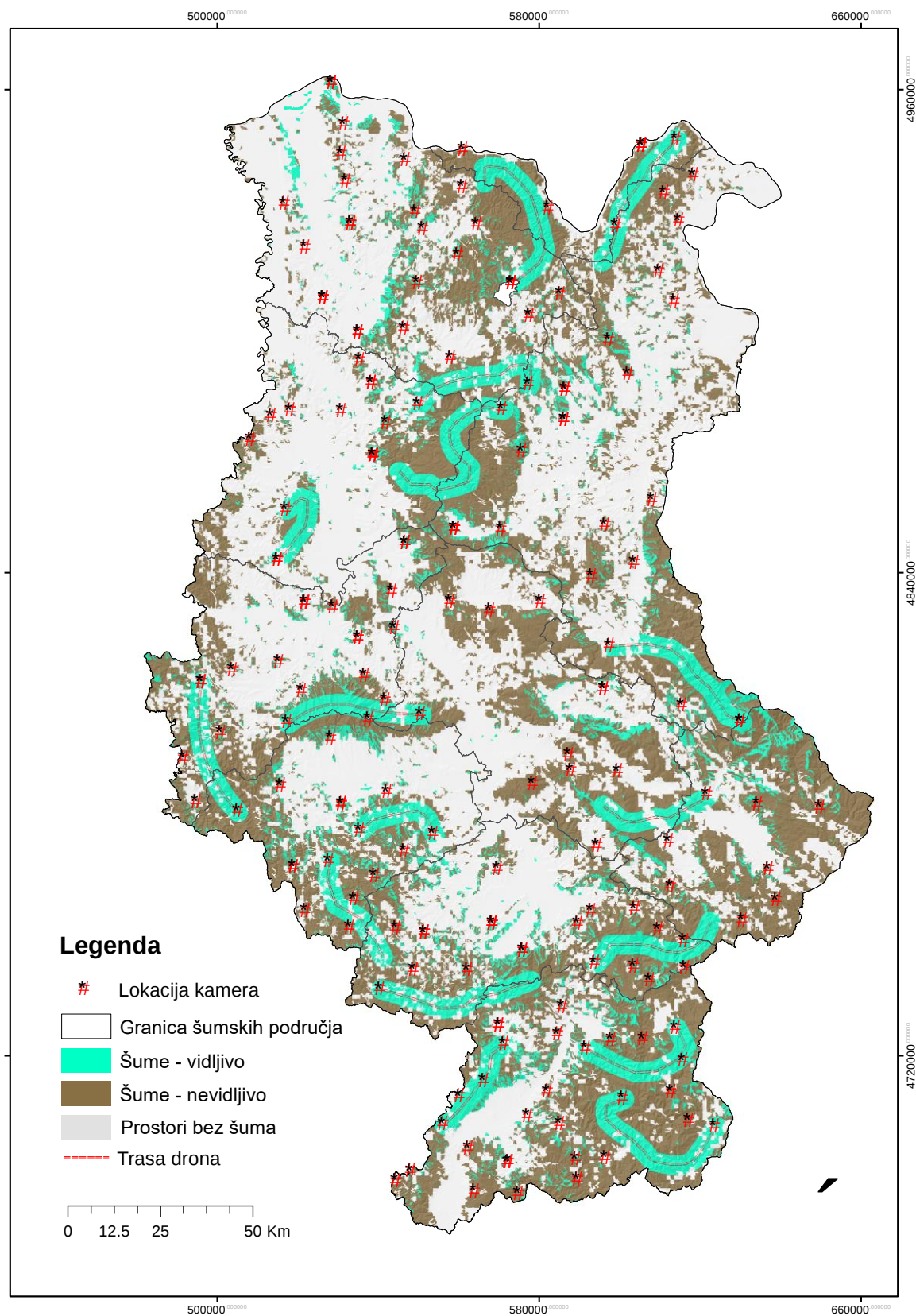
Sa definisanih trasa drona i RATEL lokacija kamera po varijanti 1, vidljivo je 4.453 km² (52 %) šumskog područja, a po varijanti 2 i rutama drona vidljivo je 4.791 km² (55%) šumskog područja zapadne Srbije.



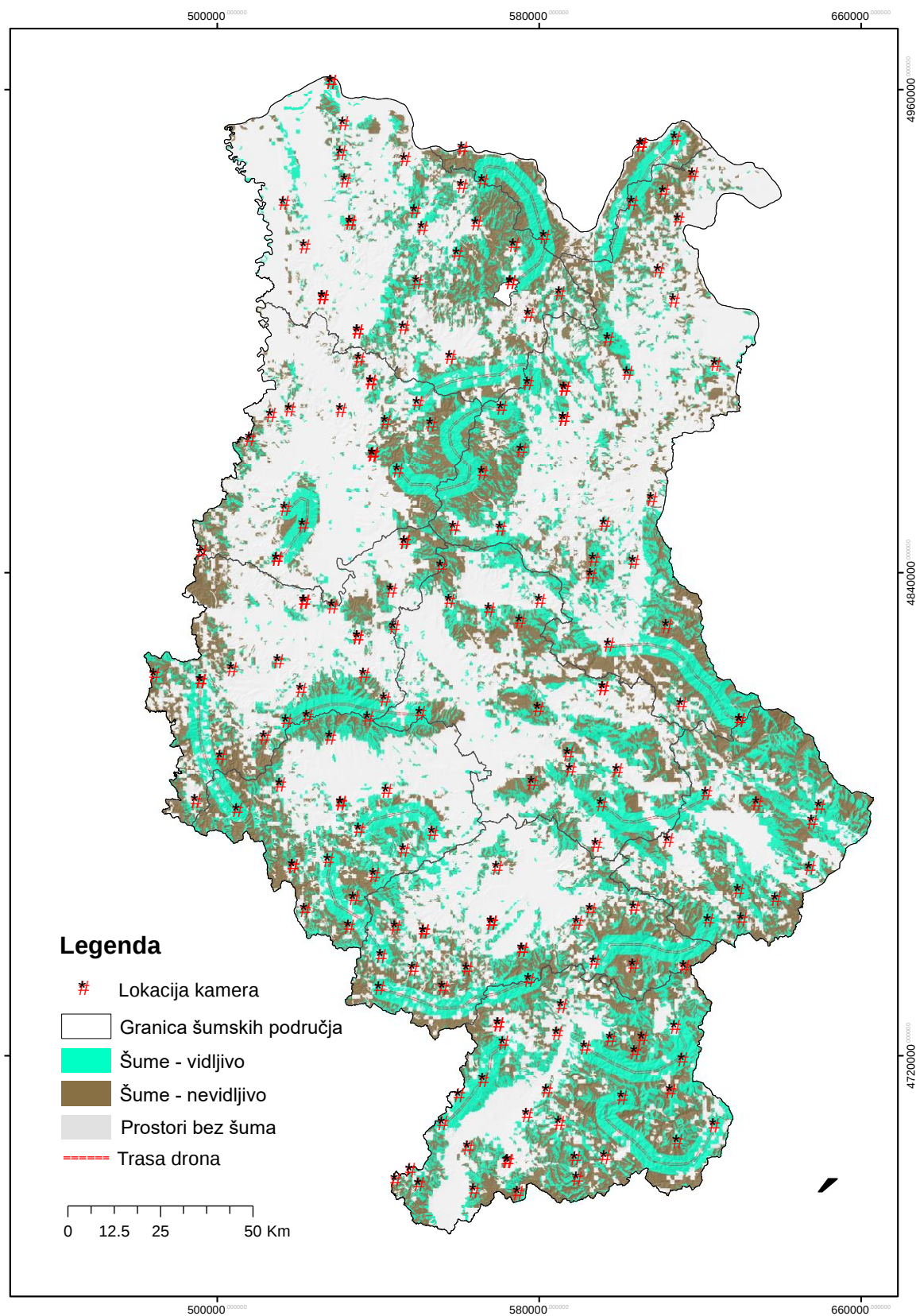
Slika 30. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, varijanta 1



Slika 31. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, varijanta 2



Slika 32. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, dron - varijanta 1



Slika 33. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, dron - varijanta 2

Table 16. Geostatistička analiza vidljivosti šumskog područja zapadne Srbije

R. br.	Ime područja	Šumsko gazdinstvo	Ukupno šuma (km ²)	VARIJANTA 1 (KAMERE)		VARIJANTA 2 (KAMERE)		VARIJANTA 1 (DRON)		VARIJANTA 2 (DRON)	
				vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%
1	Posavsko-podunavsko	"Beograd"	228	59.5	26.1	61.2	26.8	59.5	26.1	61.2	26.8
2	Podrinjsko-kolubarsko	"Boranja"	1172	382.4	32.6	486.4	41.5	382.4	32.6	486.4	41.5
3	Šumadijsko	"Kragujevac"	791	280.4	35.4	309.7	39.2	343.3	43.4	371.7	47.0
4	Tarsko-zlatiborsko	"Užice"	1253	482.2	38.5	536.2	42.8	758.8	60.6	808.9	64.6
5	Limsko	"Prijaupolje"	1157	492.0	42.5	519.2	44.9	707.4	61.1	728.6	63.0
6	Golijsko	"Golija"	1474	526.0	35.7	588.8	39.9	704.4	47.8	752.0	51.0
7	SP Vrnjačka Banja	"Vrnjačka Banja"	129	65.9	51.0	69.7	54.0	65.9	51.0	69.7	54.0
8	SP Bajina Bašta	"Bajina Bašta"	181	79.4	43.9	90.5	50.0	80.7	44.6	91.8	50.7
9	Donjeibarsko	"Stolovi"	884	353.9	40.0	378.5	42.8	574.4	65.0	591.8	66.9
10	Np Kopaonik	NP "Kopaonik"	117	47.6	40.7	53.1	45.4	47.6	40.7	53.1	45.4
11	Np Tara	NP "Tara"	156	66.7	42.8	72.2	46.3	137.2	88.0	138.9	89.1
12	Gornjeibarsko	"Šumarstvo"	1176	601.2	51.1	629.2	53.5	601.2	51.1	629.2	53.5

B.2.3 Rezultati kartografske i geostatističke analiza - Šumska područja na geoprostoru Vojvodine

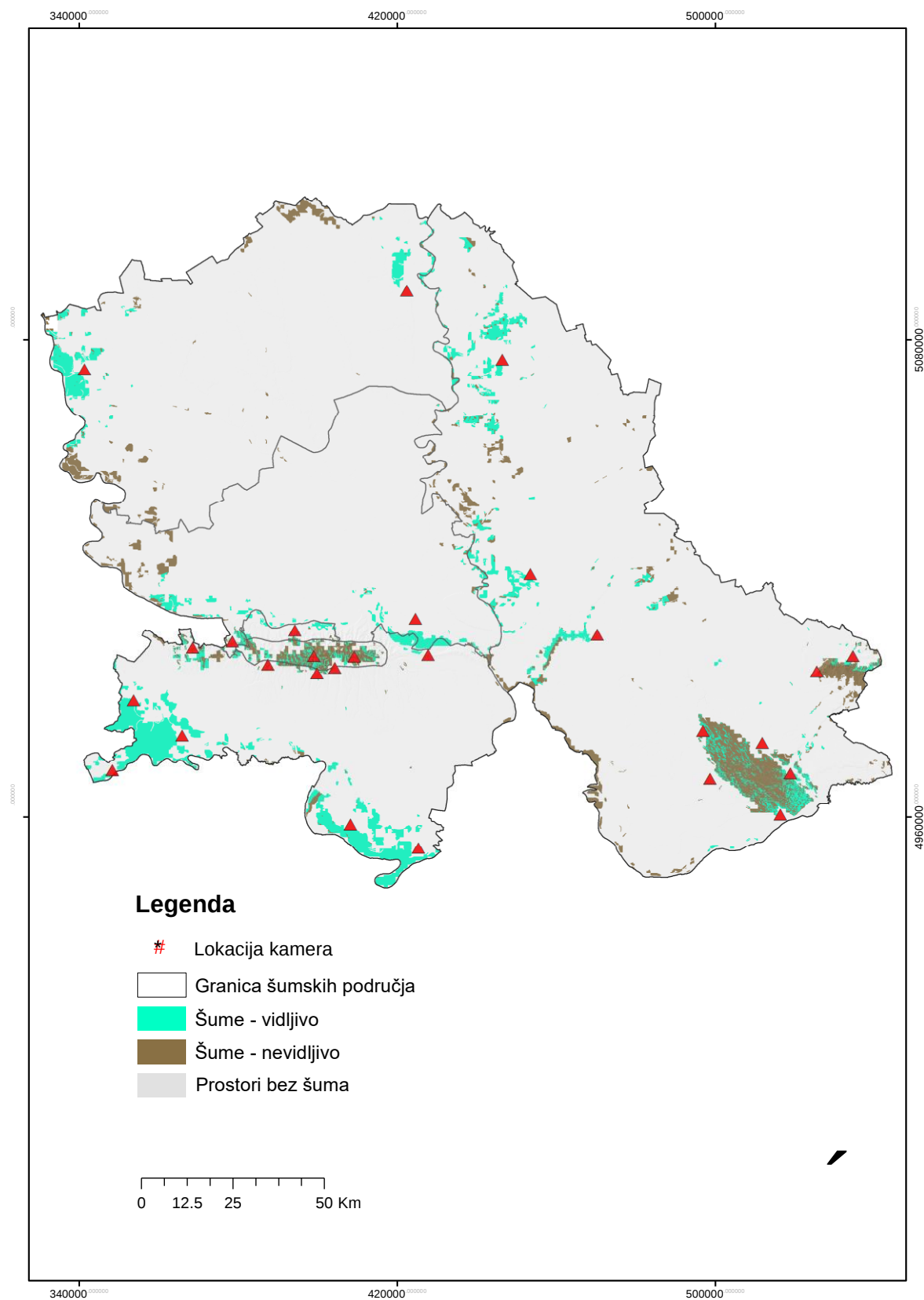
Geostatističkom analizom po Varijanti 1 sa izdvojenih RATEL lokacija za postavljanje kamera od ukupno 1.725 km² šumskih površina u Vojvodini, vidljivo je 990 km² šumskog područja (57%). Uočava se da je 40% šuma sa stepenom pete kategorije ugroženosti od požara vidljivo sa predloženih lokacija (Tabela 1).

Table 17. Vidljive površine po zonama ugroženosti od požara na području Vojvodine

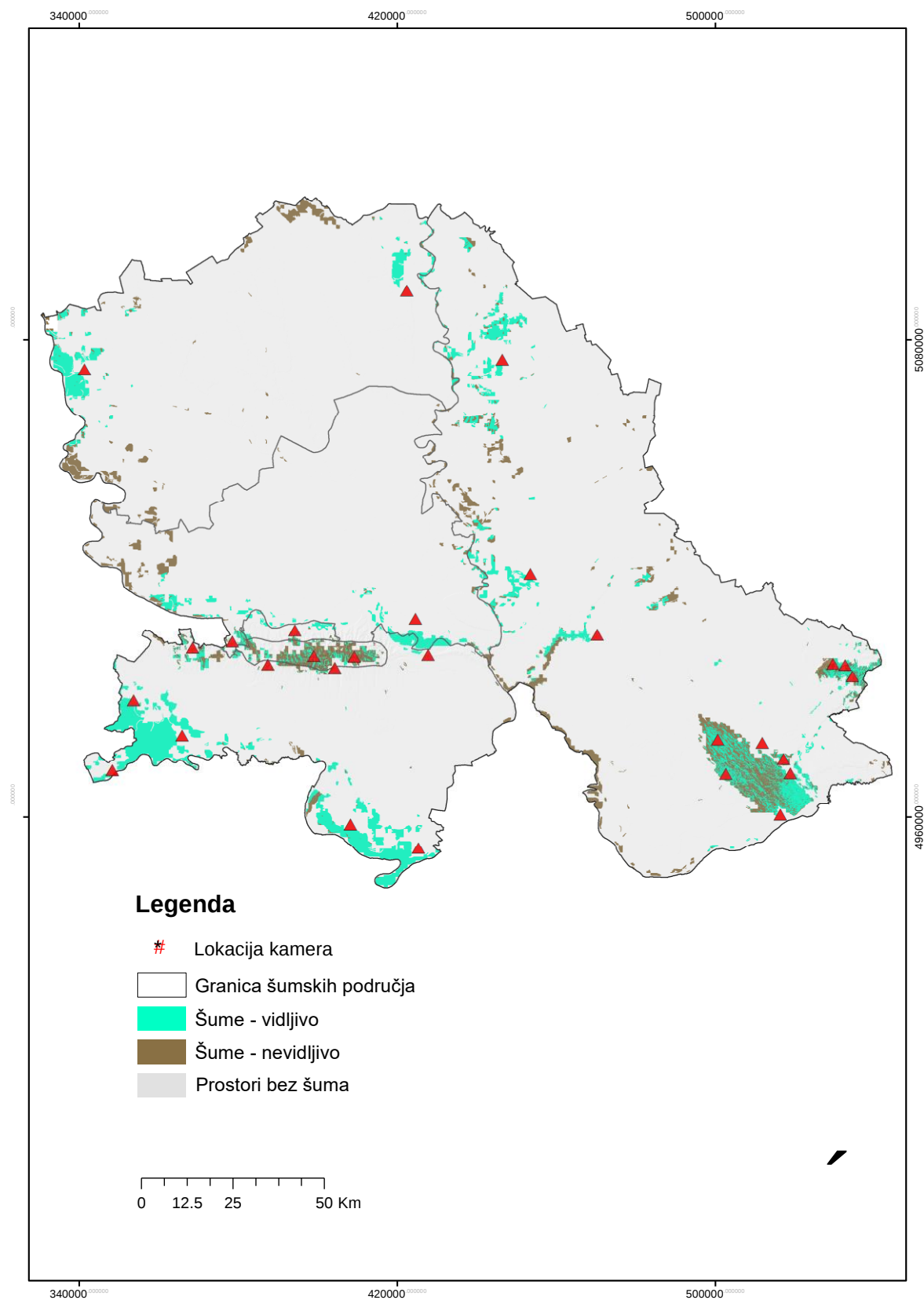
Zona ugroženosti	Indeks verovatnoće pojave od požara	Ukupno šuma (km ²)	VARIJANTA 1 (KAMERE)		VARIJANTA 2 (KAMERE)		VARIJANTA 1 (DRON)		VARIJANTA 2 (DRON)	
			vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%
1	0,0-0,4	1235.9	662.7	53.6	753.2	60.9	922.6	74.7	965.1	78.1
2	0,4-0.65	247.3	176.9	71.5	170.5	68.9	178.2	72.1	171.6	69.4
3	0,65-0.85	184.5	116.9	63.4	110.8	60.1	117.2	63.5	110.9	60.1
4	0,85-0.95	49.7	30.1	60.6	28.7	57.7	30.1	60.6	28.7	57.7
5	0,95-0.1.0	7.8	3.1	39.7	3.1	39.7	3.1	39.7	3.1	39.7
		1725.2	989.7	57.4	1066.3	61.8	1251.2	72.5	1279.4	74.2

Analizom po Varijanti 2, od ukupno 1.725 km² šumskih površina, vidljivo je 1.066 km² šumskog područja Vojvodine (62%). Takođe, vidljivo je 40% šuma pete kategorije ugroženosti. Po varijanti 2, zapaža se povećanje vidljivog dela šumskog područja za 77 km².

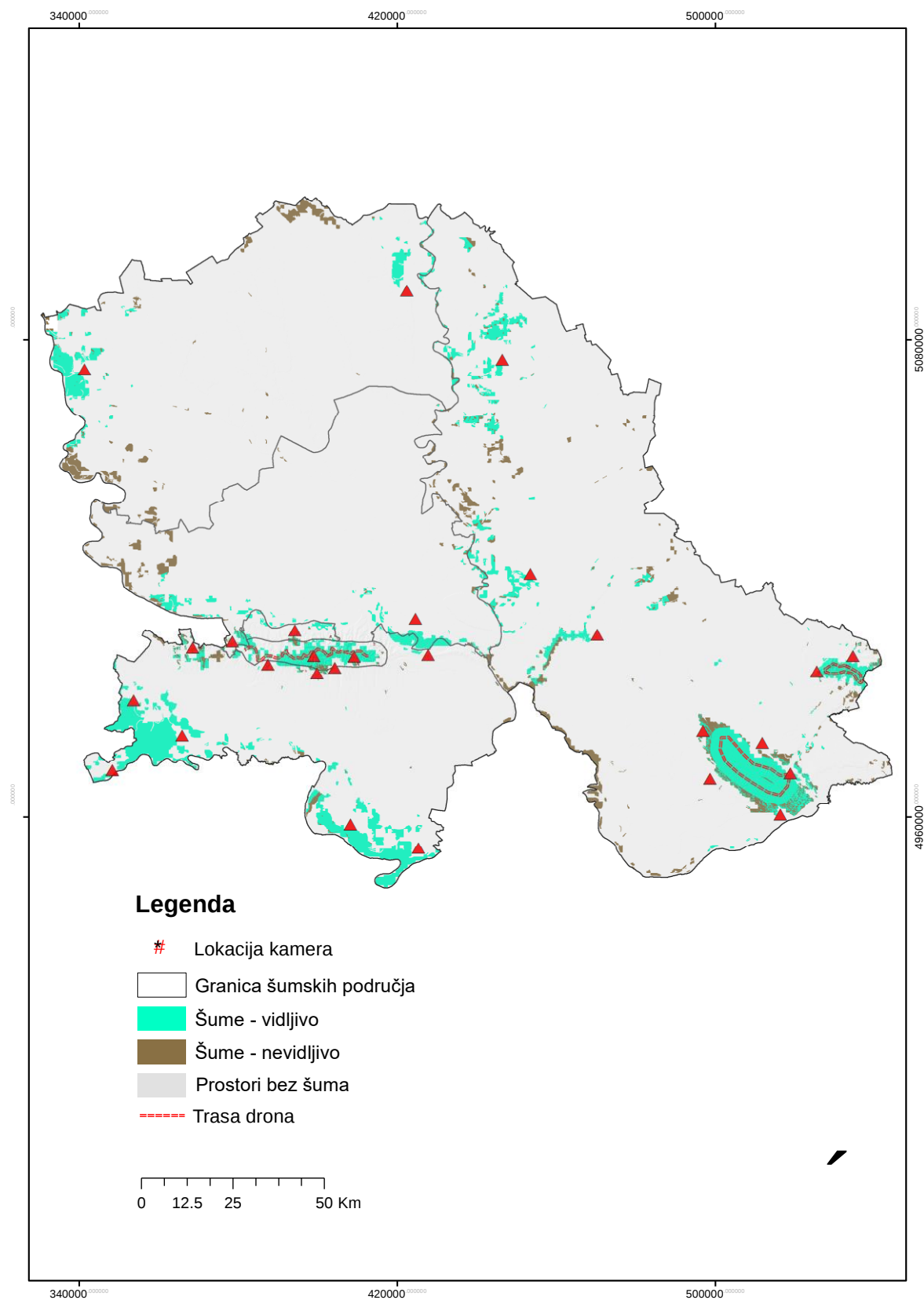
Sa RATEL lokacija kamera po varijanti 1 i tri definisane rute drona vidljivo je 1.251 km² (72 %) šumskog područja Vojvodine, od čega je 40% šuma najviše ugroženosti. Po varijanti 2, sa osmatračkih lokacija kamera i definisanih ruta drona vidljivo je 1279 km² (74%) šumskog područja Vojvodine.



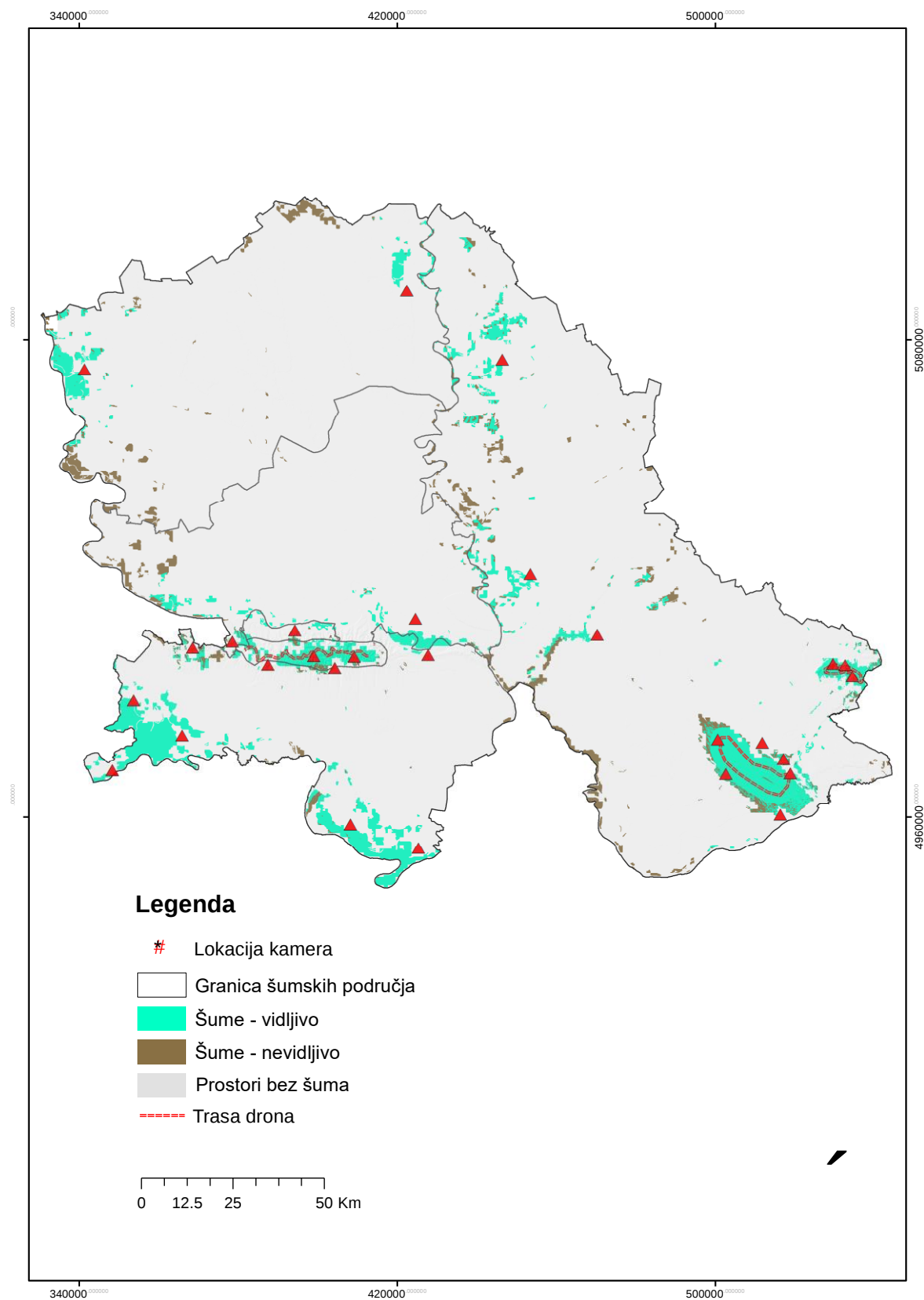
Slika 34. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, varijanta 1



Slika 35. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, varijanta 2



Slika 36. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, dron - varijanta 1



Slika 37. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, dron - varijanta 2

Table 18. Geostatistička analiza vidljivosti šumskog područja Vojvodine

R. br.	Ime područja	Šumsko gazdinstvo	Ukupno šuma (km ²)	VARIJANTA 1 (KAMERE)		VARIJANTA 2 (KAMERE)		VARIJANTA 1 (DRON)		VARIJANTA 2 (DRON)	
				vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%	vidljivo (km ²)	%
1	NP Fruška Gora	"Fruška Gora"	125.9	44.5	35.4	40.4	32.1	118.1	93.8	117.2	93.1
2	Banatsko	"Banat"	775.9	319.7	41.2	414.2	53.4	534.5	68.9	537.3	69.2
3	Južnobačko	"Novi Sad"	141.8	80.4	56.7	77.7	54.8	81.3	57.3	78.6	55.4
4	Sremsko	"Sremska Mitrovica"	465.7	421.9	90.6	413.3	88.7	425.1	91.3	417.4	89.6
5	Severnobačko	"Sombor"	231.6	129.4	55.9	124.9	53.9	129.4	55.9	124.9	53.9

Sastavni deo ovog izveštaja su KML (.kmz) fajlovi sa pozicijama stubova za postavljanje kamera. Prilikom izrade mapa vidljivosti kamera korišćeni su stubovi različite visine, pa su samim tim i kamere postavljane na različite visine. Visine kamera direktno utiču na pokrivenost reljefa (vidljivost). Zato je neophodno voditi računa da se prilikom korišćenja dostavljenih KML (.kmz) fajlova preuzmu visine koje su date u bazi. Iz navedenog razloga su u prilogu dostavljene tabele sa detaljnim podacima, koji mogu da se učitaju u GIS bazi i na osnovu tih parametara da se generišu sve relevantne informacije. Takođe, potrebno je usaglasiti vidljivost (ugao vidljivosti) kamera koji je korišćen prilikom generisanja dostavljenih mapa. Sve navedene informacije definisane su u GIS programskom paketu i na osnovu toga su definisane dostavljene pozicije. Za svaku dalju verifikaciju dostavljenih podataka neophodno je koristiti kompatibilan softver koji može da uključi sve kredibilne informacije koje su dovele do generisanja dostavljenih mapa.

C. Izrada modela za procenu opasnosti od požara kao osnova za „dinamičku“ kartu opasnosti od požara za područje Srbije

Istraživanjima sprovedenim tokom 2017. kao i u periodu oktobar 2018 - mart 2019. godine formirana je solidna osnova za izgradnju modela za procenu opasnosti od požara. Izvršeno je rangiranje svih značajnih faktora koji utiču na pojavu požara za sledeća šumska područja Topličkog okruga primenom logističke regresije. Identična analiza je primenjena na više šumskih oblasti u istočnom i južnom delu Srbije što nam omogućilo izdvajanje najznačajnijih faktora za pojavu požara, koji ne moraju biti isti kao i za područje Topličkog okruga, usled ranije utvrđenih specifičnih razlika među regionima u pojavi i ponašanju požara. Ovaj model nam je omogućio povezivanje statičkih elemenata kao što su tip vegetacije, orografski faktori i antropogeni uticaj sa FWI koji se menja u vremenu i prostoru za preostali deo Srbije. Formirane su Istočna (Južna i Istočna Srbija), Zapadna (Šumadija, Zapadna Srbija i region Beograda) oblast i Vojvodina. Ranije smo pokazali da se ove oblasti razlikuju međusobno (Tabela 1).

Na osnovu razlika u faktorma koji utiču na pojavu požara kod statičkog modela napravljeni su i „dinamički modeli“ za svaku oblast ispitivanja posebno. Pored toga napravljeni su modeli koji primenjeni na teritoriji koja je nastala objedinavanjem sve tri oblasti istraživanja.

Modeli za procenu opasnosti od požara kao osnova za dinamičku kartu opasnosti od požara za teritoriju Srbije

Veliki je broj faktora abiotičke i biotičke prirode uključujući i uticaj čoveka koji mogu povećati ili smanjiti opasnost od požara. Prediktivni modeli za evaluaciju uticaja različitih faktora na pojavu požara izvedeni su na osnovu podataka o požarima koji su se dogodili na području Srbije u peroidu od 2012 do 2017. godine.

Za izradu setova podataka za test i validaciju korišćeni su podaci iz **2012.** i **2017.** godine koje odabrane na osnovu velikog broja požara. Korišćeni su satelitski požari dobijeni sa satelita (Slika 1).

Za izradu dinamičke karte testirana su 3 modela koji kao prediktore koriste statičke varijable (različiti orografski i antropogeni faktori) i različite verzije za FWI.

Sve 3 verzije predstavljaju kombinacija lokacija na kojima su se desili požare 2012. godine za sve tri oblasti istraživanja i odgovarjuće lokacije na kojima se nisu bili požari. Lokacije na kojima se nisu bili požari izabrane su metodom uparivanja po klasi nadmorske visine.

Prva verzija FWI1 je nastala očitavanjem vredosti FWI za datume kada su se desili požari 2012. godine sa lokacija na kojima su nastali požari i očitavanjem vrednosti FWI sa uparenih lokacija na kojima nisu bili požari a za datume kada su bili požari iz 2012. godine.

Druga verzija FWI2 je nastala očitavanjem vredosti FWI za datume kada su se desili požari 2012. godine sa lokacija na kojima su nastali požari a za nepožare očitavanjem vrednosti FWI sa istih tih lokacija na kojima bili požari 2012. godine ali za datume iz 2013. godine.

Treća verzija FWI3 je nastala očitavanjem vredosti FWI za datume kada su se desili požari 2012. godine sa lokacija na kojima su nastali požari a za nepožare očitavanjem vrednosti FWI sa uparenih lokacija na kojima nisu bili požari 2012. godine ali za datume iz 2013. godine.

Parovi za požare i nepožare iz 2012. i/ili 2013. godine su korišćeni za pravljenje (treniranje) modela, a na isti način formiran set podataka iz 2017. i 2018. godine je korišćen za validaciju napravljenih modela.

U tabelama 19-22 je prikazan procenat uspešno pogođenih stvarno negativnih događa (**NP** - nepožara – lokacija na kojima nije bilo požara), kao i stvarno pozitivnih događa (**P** - požara). Takođe je prikazana i ukupna stopa uspešnost modela (**USU**). Takođe prikazani su i varijavle od kojih je napravljen model. Napravljeni modeli su sačuvani u Predictive Model Markup Language (PMML) <http://dmg.org/> PPML v 4.2. PPML koristi XML strukturu za predstavljanje prediktivnih modela. Primer dela XML strukture dat je u nastavku.

```

180 <MiningField name="TWS" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
181 <MiningField name="DisM" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
182 <MiningField name="DisRa" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
183 <MiningField name="DisW" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
184 <MiningField name="NDAL" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
185 <MiningField name="NDAGL" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
186 <MiningField name="FWINEW" usageType="active" missingValueTreatment="asIs" />
187 </MiningSchema>
188 <ParameterList>
189 <Parameter name="P0000001" label="Constant" />
190 <Parameter name="P0000002" label="Transitional woodland-shrub" />
191 <Parameter name="P0000003" label="Distance_to_Municipality" />
192 <Parameter name="P0000004" label="Distance_to_Rail" />
193 <Parameter name="P0000005" label="Distance_to_Water" />
194 <Parameter name="P0000006" label="Nearar_Dist_ArableLand" />
195 <Parameter name="P0000007" label="Near_Dist_Agriland" />
196 <Parameter name="P0000008" label="FWINEW" />
197 </ParameterList>
198 <CovariateList>
199 <Predictor name="TWS" />
200 <Predictor name="DisM" />
201 <Predictor name="DisRa" />
202 <Predictor name="DisW" />
203 <Predictor name="NDAL" />
204 <Predictor name="NDAGL" />
205 <Predictor name="FWINEW" />
206 </CovariateList>
207 <FPMatrix>
208 <FPCell value="1" predictorName="TWS" parameterName="P0000002" />
209 <FPCell value="1" predictorName="DisM" parameterName="P0000003" />
210 <FPCell value="1" predictorName="DisRa" parameterName="P0000004" />
211 <FPCell value="1" predictorName="DisW" parameterName="P0000005" />
212 <FPCell value="1" predictorName="NDAL" parameterName="P0000006" />
213 <FPCell value="1" predictorName="NDAGL" parameterName="P0000007" />
214 <FPCell value="1" predictorName="FWINEW" parameterName="P0000008" />
215 </FPMatrix>
216 <PCovMatrix>
217 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000001" pCol="P0000001" value="0.0471043303708645" />
218 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000002" pCol="P0000001" value="-2.00980338170832E-008" />
219 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000002" pCol="P0000002" value="1.65719474795922E-013" />
220 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000003" pCol="P0000001" value="-4.4893261685704E-006" />
221 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000003" pCol="P0000002" value="2.1229280194227E-013" />
222 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000003" pCol="P0000003" value="3.29420548120936E-009" />
223 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000004" pCol="P0000001" value="-6.80391873752025E-007" />
224 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000004" pCol="P0000002" value="-8.93904871976654E-014" />
225 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000004" pCol="P0000003" value="2.12080067285814E-011" />
226 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000004" pCol="P0000004" value="5.4703981857927E-011" />
227 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000005" pCol="P0000001" value="-1.50392417250004E-005" />
228 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000005" pCol="P0000002" value="-1.27242143590725E-011" />
229 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000005" pCol="P0000003" value="-6.09307010329308E-011" />
230 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000005" pCol="P0000004" value="7.31308777730173E-011" />
231 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000005" pCol="P0000005" value="3.03901318238196E-008" />
232 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000006" pCol="P0000001" value="1.40596035713058E-007" />
233 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000006" pCol="P0000002" value="2.6790984150687E-013" />
234 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000006" pCol="P0000003" value="-5.57759190069076E-010" />
235 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000006" pCol="P0000004" value="-2.64243489444501E-011" />
236 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000006" pCol="P0000005" value="2.16358128801763E-010" />
237 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000006" pCol="P0000006" value="3.78895816172642E-010" />
238 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000007" pCol="P0000001" value="1.50214472382943E-006" />
239 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000007" pCol="P0000002" value="-1.96223462227391E-012" />
240 <PCovCell tRow="1" tCol="1" pRow="P0000007" pCol="P0000003" value="-5.17108770216624E-010" />

```

Slika 38. XML strukturu za predstavljanje prediktivnih modela- PPML v 4.2

U tabeli 19 su prikazani rezultati kada se koristi FWI1 kao varijabla u modelu. Taj model je primenjen na sve tri oblasti istraživanja (Istok, Zapad i Vojvodina).

U tabeli 20 prikazani rezultati kada se koristi FWI2 kao varijabla u modelu, a u tabeli DŽDŽ3 kada se koristi FWI3 kao varijabla.

U tabeli 21 su prikazani rezultati za sva 3 modela kada se koriste FWI1, FWI2 i FWI3 kao varijable na setu podataka koji je nastao spajanjem sve tri oblasti u jednu. Pored toga podaci o požarima i nepožarima iz 2012/13. i 2017/18 godine su spojeni u jeda set podataka pa metodom slučajne raspodele podeljeni na set za trening i set za validaciju nad kojima su primenjeni modeli.

Uspešnost modela ocenjivana je korišćenjem površine ispod karakteristične krive prijemnika koja grafički ilustruje dijagnostičku sposobnost binarnog sistema da vrši klasifikaciju na svim pragovima klasifikacije AUC (**Area Under The Curve**) ROC (**Receiver Operating Characteristics**).

Iz tabela 19-22 se vidi da je modeli gde je korišćen FWI3 kao varijabla pokazuju najbolje rezultate. Na osnovu ovih rezultata odabran je LR3 kao model za pravljenje "dinamičkog modela" predikcije verovatnoće pojave požara.

Primenom odabarnog modela (LR3) za pravljenje dinamičkog modela predikcije pojave požara kada se dobijena verovatnoća ugorženosti od požara podeli u 5 kategorija (Veoma mala 0-40%; Mala 40-65%; Umerena 65-85%; Velika 85-95%; Veoma velika >95%) i svakoj površini veličine 1 X 1km dodeli odgovarajuća boja dobiju se statičke ili dimaničke karte ugorženosti od požara.

Primeru radi u nastavku na slici 38 je prikazana dinamička karta ugorženosti od požara za izabrane datume 10.8.2017. godine (leva deo slike) i 16.8.2017. godine (desni deo slike) koja je nastala spajanjem primenom modela na svaku oblast istraživanja posebno (I LR3, Z LR3 i V LR3).

Zbog ograničenih resursa za ubrzano prikazivanje odabrani su meseci juli i avgust iz 2017. godine iz validacionog seta podataka zbog velikog broja požara.

Na slici 39 je prikazana je dinamička karta ugorženosti od požara za 16.8.2017. godine koja je kao i na prethodnoj slici nastala spajanjem primenom modela na svaku oblast istraživanja posebno (I LR3, Z LR3 i V LR3) i naknadnim spajanjem jednu celinu (levi deo slike). Na desnom delu slike je prikazan model koji je nastao na objedinjenom setu spajanjem sve tri oblasti istraživanja IZV LR3 za isti datum.

Table 19. Modeli koji koriste sa FWI 1 ka varijablu

Model		Vraijable u modelu	TRENING				VALIDACIJA			
			NP	P	USU	AUC ROC	NP	P	USU	AUC ROC
FWI1 LR1	I	BF MF NG TWS DisM DisRa DisW NDAL NDAgL FWI	75.7	81.1	78.4	0.866 ± 0.008	83.4	69.9	76.7	0.839 ± 0.013
	Z	BF MF NG TWS SVA DisRo DisRa DisW NDAL NDAgL SDC FWI	79.3	74.1	76.7	0.852 ± 0.019	71.2	71.2	71.2	0.792 ± 0.028
	V	NG TWS DisM DisRa DisW SDC	79.6	79.6	79.6	0.851 ± 0.022	52.7	82.4	67.6	0.747 ± 0.030

NP – nepožari; **P** – požari; **USU** – ukupna stopa uspešnosti; **I** – Istok; **Z** – Zapad; **V** – Vojvodina; **FWIx** – Fire Weather Index; **LRx**- Logistička regresija; x=1,2,3

Table 20. Modeli koji koriste sa FWI 2 ka varijablu

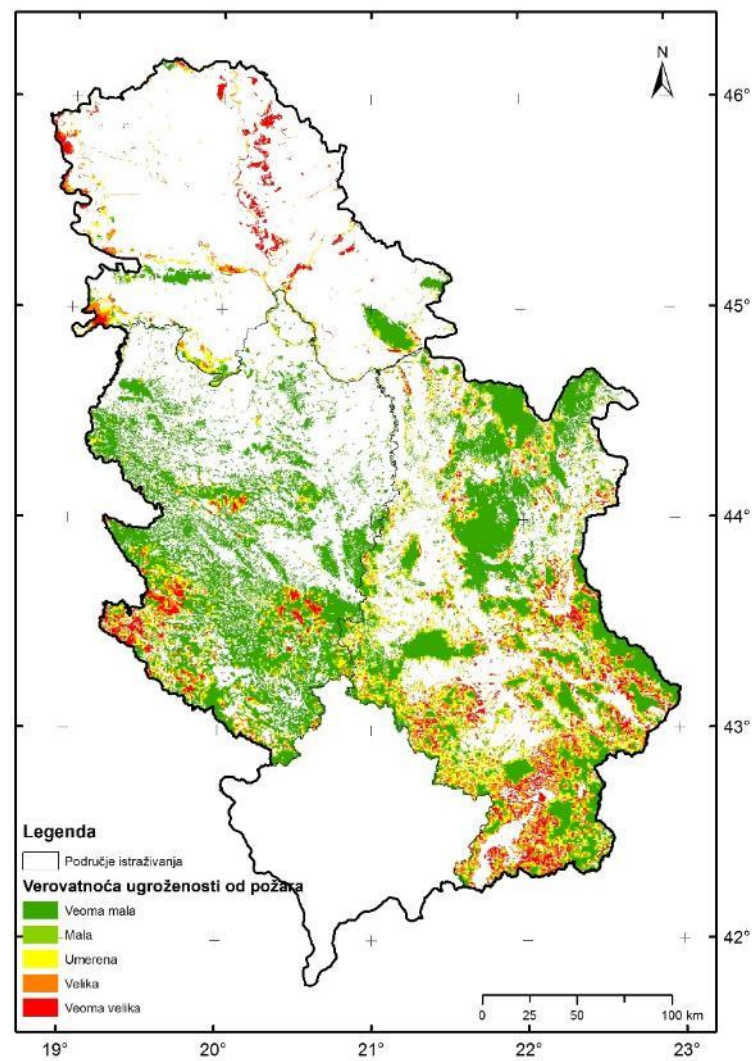
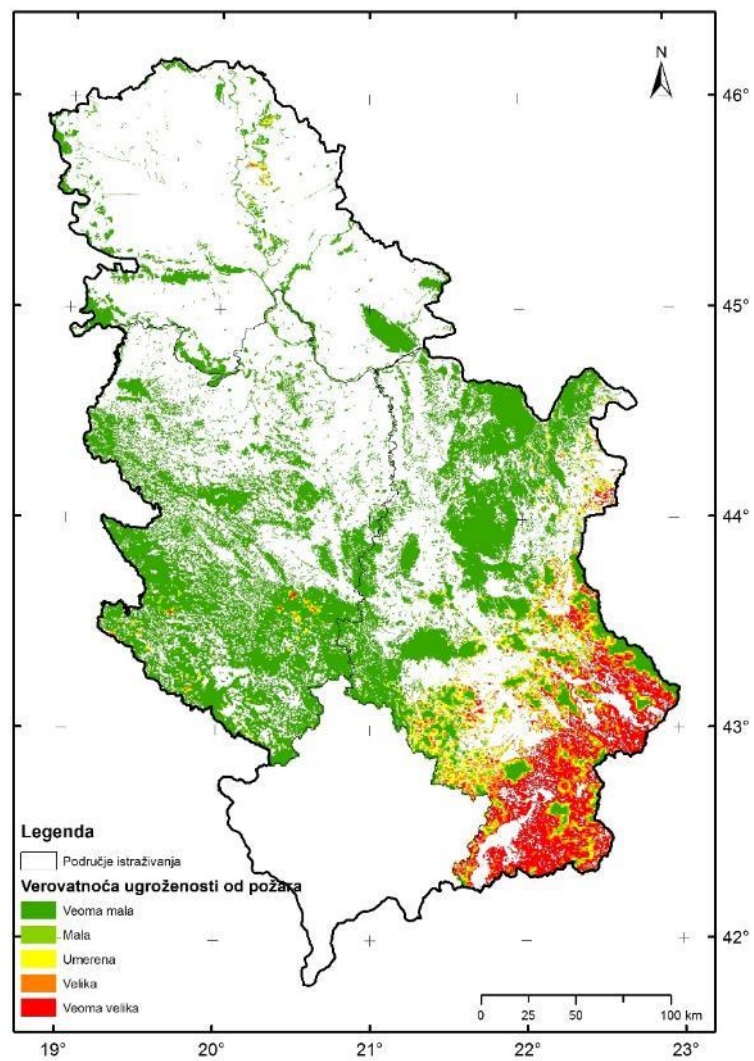
Model		Vraijable u modelu	TRENING				VALIDACIJA			
			NP	P	USU	AUC ROC	NP	P	USU	AUC ROC
FWI2 LR2	I	TWS DisM DisRa DisW NDAL NDAgL FWI	84.1	84.7	84.4	0.915 ± 0.007	95.6	60.4	78.0	0.898 ± 0.010
	Z	BF MF TWS DisRo DisRa DisW NDAL FWI	80.8	77.2	79.0	0.899 ± 0.015	87.2	52.8	70	0.831 ± 0.026
	V	NG DisM DisW SDC FWI	85.2	85.2	85.2	0.931 ± 0.015	71.8	78.6	75.2	0.833 ± 0.024

Table 21. Modeli koji koriste sa FWI 3 ka varijablu

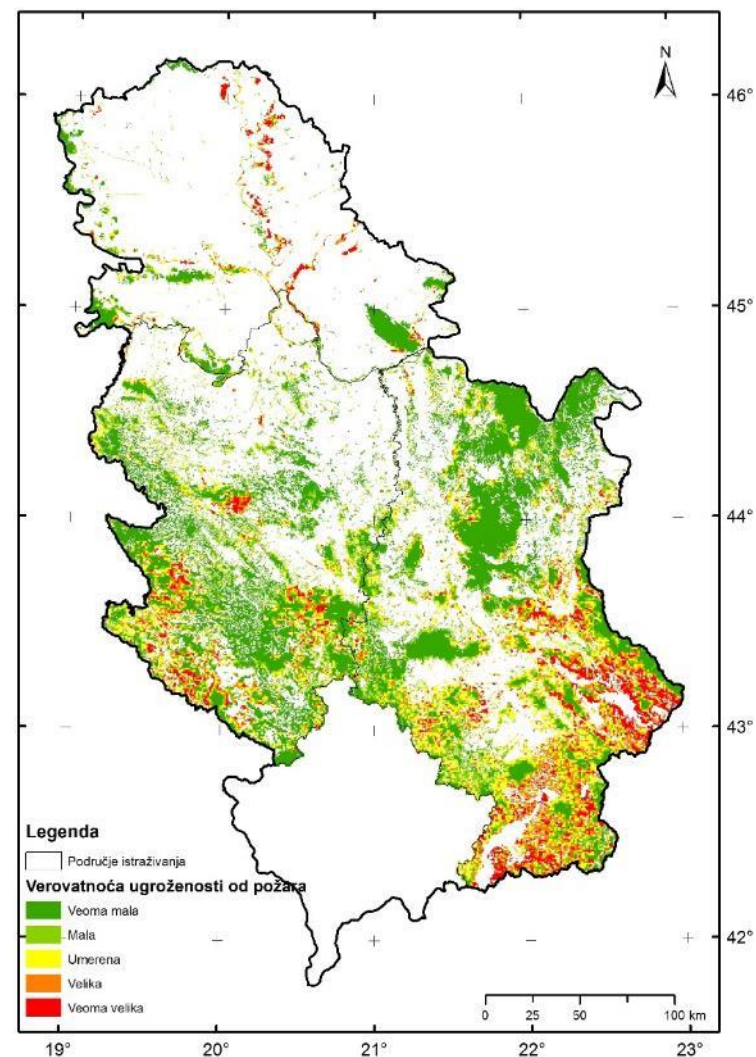
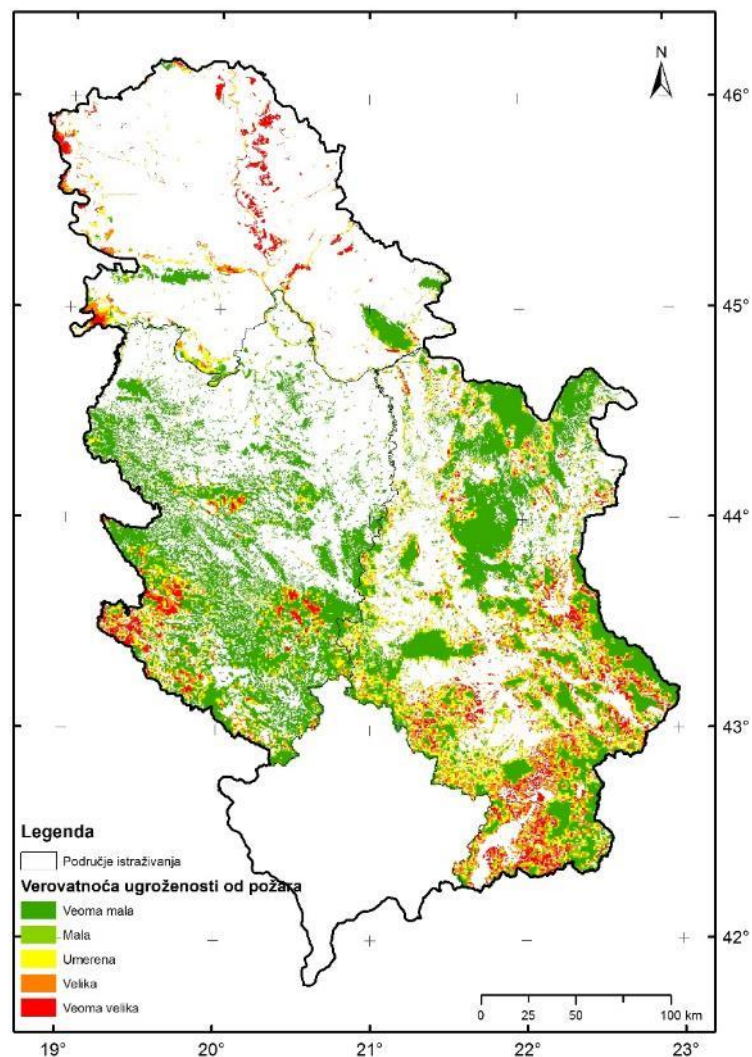
Model		Vraijable u modelu	TRENING				VALIDACIJA			
			NP	P	USU	AUC ROC	NP	P	USU	AUC ROC
FWI3 LR3	I	TWS DisM DisRa DisW NDAL NDAgL FWI	86.9	87.0	87.0	0.939 ± 0.006	96.3	61.8	79.0	0.908 ± 0.009
	Z	BF MF TWS DisRo DisW NDAL FWI	80.3	76.7	78.5	0.890 ± 0.016	86.4	51.2	68.8	0.807 ± 0.027
	V	NG DisM DisW SDC FWI	85.9	85.9	85.9	0.932 ± 0.015	68.7	78.6	73.7	0.813 ± 0.026

Table 22. Modei koji koriste FWI1, FWI2 i FWI3 kao varijable na setu podatka koji je nastao spajanjem sve tri oblasti u jednu

Model		Vraijable u modelu	TRENING				VALIDACIJA			
			NP	P	USU	AUC ROC	NP	P	USU	AUC ROC
LR1 FWI1	IZV	BF CF NG TWS SVA DisM DisRo DisRa DisW NDAL NDAgL FWI	74.2	75.8	75.0	0.826 ± 0.009	75.4	77.4	76.4	0.838 ± 0.009
LR2 FWI2	IZV	MF NG TWS DisM DisRo DisRa DisW NDAL NDAgL FWI	82.8	79.4	81.1	0.887 ± 0.008	84.2	79.6	81.9	0.894 ± 0.007
LR3 FWI3	IZV	MF NG TWS DisM DisRo DisRa DisW NDAL NDAgL FWI	84.2	80.7	82.5	0.904 ± 0.007	85.7	80.3	83.0	0.906 ± 0.007



Slika 39. Dimanička karta ugroženosti od požara za 10.8.2017. godine (leva deo slike) i 16.8.2017. godine (desni deo slike)

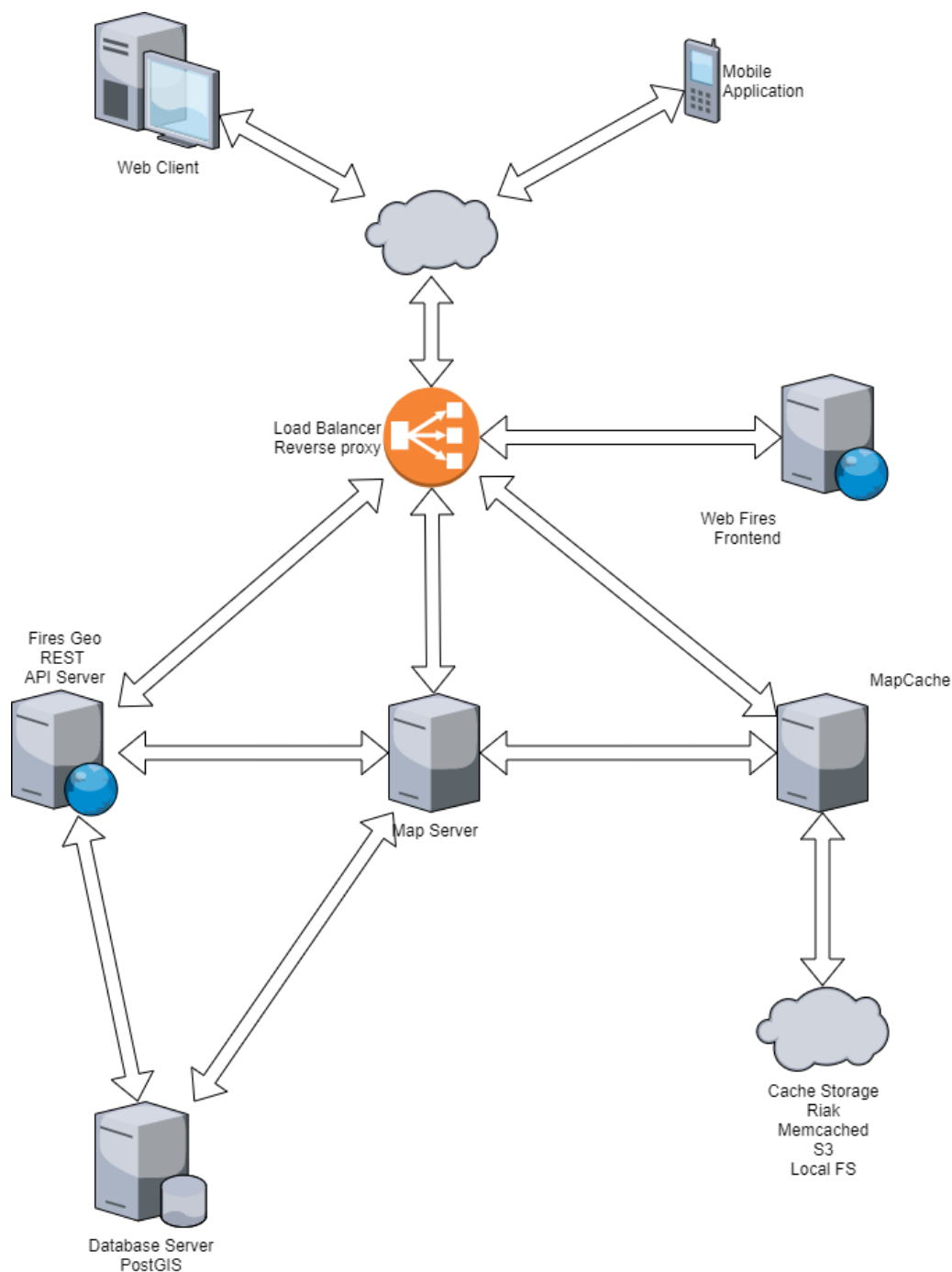


Slika 40. Dimanička mapa ugroženosti od požara za 16.8.2017. godine primenom I LR3, Z LR3 i V LR3 (levi deo slike). Desni deo slike predstavlja primenu modela IZV LR3

D. Izrada baze podataka svim relevantnim podacima prikupljenim od početka istraživanja

Ahitektura sistema za praćenje pojave šumskih požara

Za vizuelizaciju rezultata „statičkog“, „dinamičkog modela“, lokacije pojave požare u periodu 2012-2018, ruta dronova, pozicija kamera i FWI iskorišćena je pozajmljena kompleksna IKT infrastruktura koja je opisana u nastavku.



Slika 41. Ahitektura sistem za praćenje pojave šumskih požara

Ahitektura sistem za praćenje pojave šumskih požara nalazi se na privremenoj adresi

<https://pozari.procss.org/#/>

Mobilna aplikacija se može trenutno preuzeti sa adrese

<https://pozari.procss.org/dload/ffs.apk>

Sistem za praćenje pojave šumskih požara sastoji se od:

- Load Balancer Reverse Proxy
- Web Fires Frontend:
- Fires Geo REST API server:
- Map Server:
- MapCache:
- Database Server PostGIS
- QGIS

Load Balancer Reverse Proxy

Korišćenjem Load Balancer-a odnosno prosleđivanjem zahteva iz spoljašnje mreže smanjujemo opterećenje sistema, a korišćenjem "SSL Termination" funkcionalnost obezbeđujemo zaštitu privatnosti korisnika sistema. Korisnički zahtev sistemu biće prosleđen na odgovarajući servis.

Software: HA-Proxy version 2.1.7

<http://www.haproxy.org/>

Web Fires Frontend:

Server koji opslužuje pretraživač klijente – prosleđuje "Single Page Application" klijentima koji pozivanjem API ili map zahteve dobijaju podatke

Software: Quasar v1.14.3

<https://quasar.dev/>

Software: Vuelayers 0.12.0-rc.4

<https://vuelayers.github.io/>

Fires Geo REST API server:

Servis koji omogućava dodavanje, menjanje i proveru dnevnih promena požara, kreiranje izveštaja, slanje izveštaja raznim institucijama itd, autentifikacija i autorizacija korisnika.

Software:

asgiref==3.2.10

Django==3.1

django-cors-headers==3.4.0

django-enviro==0.4.5

django-rest-framework==3.11.1

django-rest-framework-gis==0.15

Markdown==3.2.2

psycopg2==2.8.5

pytz==2020.1

sqlparse==0.3.1

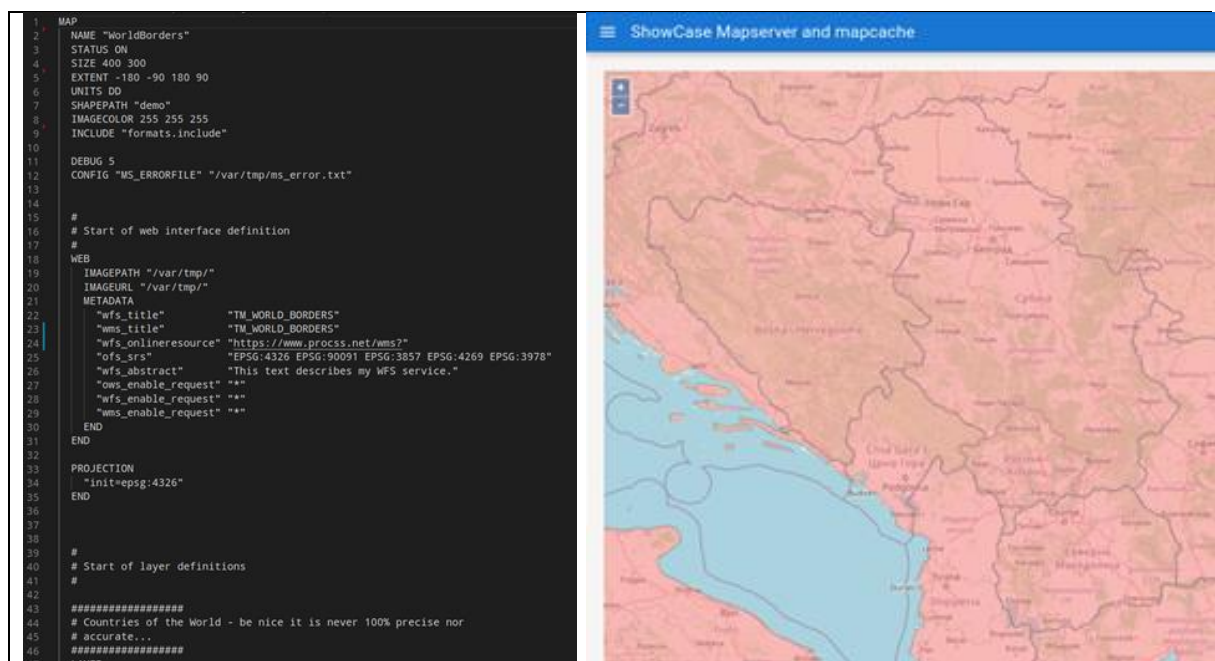
<https://www.djangoproject.com/>

Map Server:

Map Server predstavlja glavnu logicku tačku kreiranja vizuelnih mapa i omogućuje pristup raznim slojevima mape koji se prikazuju klijentu u browseru ili na mobilnoj aplikaciji.

Software : MapServer ver 7.6.1

<https://mapserver.org/>



Slika 42. Prikaz izgleda fajla Map Server-a [levo]. Izlaz koji generiše gore naveden file [desno].

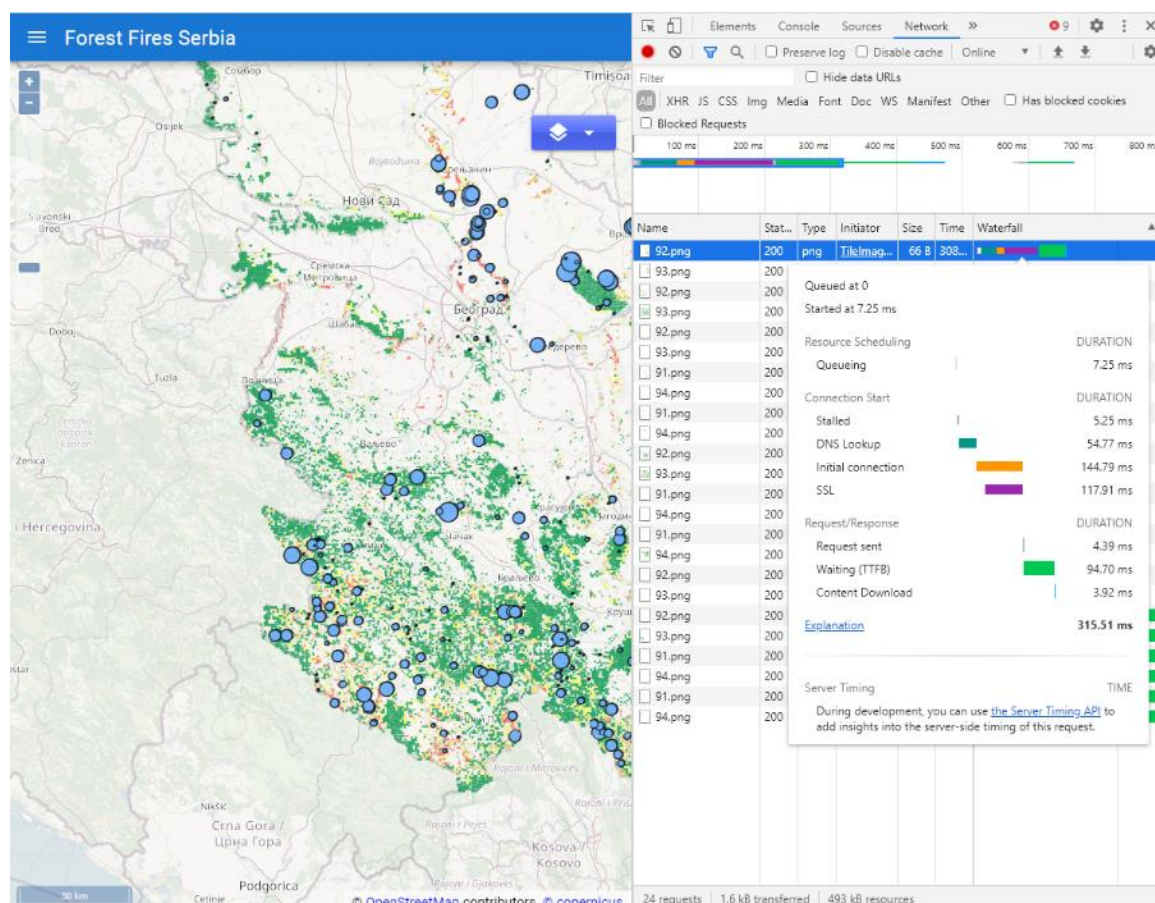
MapCache:

MapServer po zahtevu kreira prikaz određene mape koju korisnik sistema traži. Pošto tražena vrsta usluga troši određene resurse, čuvanjem već generisanih slika pomoću MapCache servisa smanjuje se

opterećenje baze podataka, kao i i samog mapserver-a, jer nema potrebe da generiše iste podatke više puta. Na taj način se vrši optimizacija upotrebe resursa, jer se ista informacija vraća na pregled bez potrebe da bude ponovo generisana.

Software: Mapcache ver 1.10.0 r 1.2

<https://mapserver.org/mapcache/>



Slika 43. Prikaz upotrebe Mapcache programa

Database Server PostGIS

Baza podataka je bazirana na PostgreSQL relacionoj bazi podataka sa dodatnim proširenjem za GIS sistem (Geographic Information System) sa svim podacima neophodnim za prikaz kao i razmenu podatka sa ostalim ustanovama.

Software:

PostgreSQL ver 12.4

<https://www.postgresql.org/>

Postgresql12-postgis ver 3.0.2 r 1.2

<https://postgis.net/>

U bazi podataka su skladišteni svi prikupljeni podaci od početka istraživanja poput: istorijski podaci o požarima iz prethodnog perioda (lokacija, tip vegetacije, veličina opožarene površine, ekspozicija, nagib, vrednosti FWI komponenti, distance do puta, naselja, itd. odnosno svi relevantni podaci za nastanak i širenja požara).

U bazi se nalaze statički (nepromenljivi) podaci koje predstavljaju očitane vrednosti iz DEM-a (LAT, LONG, ekspozicija, nagib, tip vegetacije, distance do puta, pruge i drugih saobraćajnica, naselja, vodotoka, kao i pripadnost geografskoj, administrativnoj i šumarskoj organizacionoj jedinici (JP/NP, ŠG, ŠU, GJ, Odsek, Odeljenje) za mrežu 1 X 1 km na nivou Srbije za period 2012-2019. godine.

Napravljena je procedura koje promenljive podatke kao što je FWI i njegove komponente računa za svaku tačku mreže 1 X 1 km za svaki dan i smesta u posebnu strukturu baze. Na osnovu ovih vrednosti za FWI i njegove komponente napravljene se interpolirane karte FWI koje se posebno čuvaju i prikazuju na zahtev korisnika.

Generisane karte za svaki dan će se takođe čuvaju radi budućih testiranja uspešnosti modela predviđanja pojave požara.

Na osnovu prikupljenih podataka u bazi za kompletan period istraživanja 2012-2019. godine autorizovanim korisnicima Centra za istraživanje šumskih požara Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Upravi za šume Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, JP i ŠG, biće omogućen pregled svih podataka o požarima koji su se dogodili za kompletan vremenski period u kome je vršeno istraživanje.

INDEX slika:

Slika 1 Lokacije požara za period 2012-2018. u istraživanom području	7
Slika 2. Mreža tačaka i kvadratna mreža gustine 1x1 km	9
Slika 3. Digitalni elevacioni model 3 ArcSEC	10
Slika 4. Raster ekspozicije	11
Slika 5. Raster nagiba	12
Slika 6. Presek slojeva požara, kvadratne i tačkaste mreže	14
Slika 7. Semivariogram.....	16
Slika 8. Različiti tipovi semivariograma.....	16
Slika 9. Kreiranje modula za automatizaciju interpolacije tehnikom kriginga	18
Slika 10. Kreiranje modula za automatizaciju interpolacije tehnikom kriginga uz reimenovanje rezultujućih rastera	18
Slika 11. Modul za automatizaciju interpolacije tehnikom kriginga uz reimenovanje rezultujućih rastera – prozor za unos podataka.....	18
Slika 12. Rezultujući raster dobijen tehnikom interpolacije - krigingom.....	19
Slika 13. Spearman's rho koeficijent korelacije za sve potencijalne varijable	21
Slika 14. ROC kriva za istočni deo Srbije	23
Slika 15. Karta verovatnoće pojave požara za istraživano područje Istok	24
Slika 16. ROC kriva za zapadni deo Srbije.....	25
Slika 17. Karta verovatnoće pojave požara za istraživano područje Zapad	26
Slika 18. ROC kriva za područje Vojvodine.....	27
Slika 19. Karta verovatnoće pojave požara za istraživano područje Vojvodine.....	28
Slika 20. Karta verovatnoće pojave požara za područja Centralne Srbije i Vojvodine.....	29
Slika 21. Sistem automatskog protivpožarnog video nadzora šumskog područja.....	30
Slika 22. Osmatrački sistem zasnovan na lokacijama RATEL antenskih stubova	32
Slika 23. Vizuelizacija sprovedene analize vidljivosti šume na lokalnom nivou Google Earth Pro	33
Slika 24. Parametri koji se koriste za analizu vidljivosti u ArcGIS-u	35
Slika 25. Uticaj konfiguracije terena na vidljivost kamera	36
Slika 26. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, varijanta 1	40
Slika 27. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, varijanta 2	41
Slika 28. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, dron - varijanta 1.....	42
Slika 29. Vidljivosti šumskih područja istočne Srbije, dron - varijanta 2.....	43
Slika 30. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, varijanta 1	46
Slika 31. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, varijanta 2	47
Slika 32. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, dron - varijanta 1.....	48
Slika 33. Vidljivosti šumskih područja zapadne Srbije, dron - varijanta 2.....	49
Slika 34. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, varijanta 1.....	52
Slika 35. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, varijanta 2.....	53
Slika 36. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, dron - varijanta 1	54
Slika 37. Vidljivosti šumskih područja Vojvodine, dron - varijanta 2	55
Slika 38. XML strukturu za predstavljanje prediktivnih modela- PPML v 4.2	58
Slika 39. Dimanička karta ugorženosti od požara za 10.8.2017. godine (leva deo slike) i 16.8.2017. godine (desni deo slike)	61
Slika 40. Dimanička mapa ugorženosti od požara za 16.8.2017. godine primenom I LR3, Z LR3 i V LR3 (levi deo slike). Desni deo slike predstavlja primenu modela IZV LR3.....	62
Slika 41. Ahitektura sistem za praćenje pojave šumskih požara	63
Slika 42. Prikaz izgleda fajla Map Server-a [levo]. Izlaz koji generiše gore naveden file [desno].	65
Slika 43. Prikaz upotrebe Mapcache programa	66

INDEX tabela:

Tabela 1: Spisak atributa korišćenih za retrospektivnu analizu požara i njihov opis.....	6
Tabela 2. Rezultati statističke analize prikupljenih podataka po regionima istraživanja	8
Table 3. Spisak klasa zemljišnog pokrivača koji su uzeti u obzir za presek	13
Table 4. Nezavisno promenljive koje su korišćene za modelovanje verovatnoće pojave požara sa prikazanim koeficijentima tolerancije i faktorima inflacije varijabli (VIF).	20
Table 5. Klasifikacija lokacija sa požarom i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za treniranje	23
Table 6. Klasifikacija lokacija sa i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za validaciju modela	23
Table 7. Klasifikacija lokacija sa i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za treniranje modele	25
Table 8. Klasifikacija lokacija sa i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za validaciju modela	25
Table 9. Klasifikacija lokacija sa i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za treniranje modele	27
Table 10. Klasifikacija lokacija sa i bez požara na osnovu predikcije statičkog modela na setu za validaciju modela	27
Table 11. Atributi parametara osmatranja u geobazi tačkastih lokacija kamera	34
Table 12. Atributi parametara osmatranja u geobazi linijskih ruta osmatranja	38
Table 13. Vidljive površine po zonama ugroženosti od požara na području istočne Srbije	39
Table 14. Geostatistička analiza vidljivosti šumskog područja istočne Srbije.....	44
Table 15. Vidljive površine po zonama ugroženosti od požara na području zapadne Srbije	44
Table 16. Geostatistička analiza vidljivosti šumskog područja zapadne Srbije.....	50
Table 17. Vidljive površine po zonama ugroženosti od požara na području Vojvodine	51
Table 18. Geostatistička analiza vidljivosti šumskog područja Vojvodine	56
Table 19. Modeli koji koriste sa FWI 1 kao varijablu.....	60
Table 20. Modeli koji koriste sa FWI 2 kao varijablu.....	60
Table 21. Modeli koji koriste sa FWI 3 kao varijablu.....	60
Table 22. Modeli koji koriste FWI1, FWI2 i FWI3 kao varijable na setu podataka koji je nastao spajanjem sve tri oblasti u jednu.....	60