

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Šturm, T. 2013. Uporaba tehnologije GIS za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v Sloveniji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Šumrada, R., somentor Hladnik, D.): 138 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Šturm, T. 2013. Uporaba tehnologije GIS za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v Sloveniji. Ph.D. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šumrada, R., co-supervisor Hladnik, D.): 138 pp.

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



UNIVERZITETNI PODIPLOMSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
VARSTVO OKOLJA
DOKTORSKI ŠTUDIJ

Kandidat:

TOMAŽ ŠTURM, univ. dipl. org.

**UPORABA TEHNOLOGIJE GIS ZA NAPOVEDOVANJE
POJAVLJANJA GOZDNIH POŽAROV V SLOVENIJI**

Doktorska disertacija štev.: 232

**FOREST FIRE OCCURRENCE PREDICTION IN SLOVENIA
USING GIS TECHNOLOGY**

Doctoral thesis No.: 232

Temo doktorske disertacije je odobrila Komisija za doktorski študij UL na 20. redni seji, dne 12. januarja 2008. Za mentorja je bil imenovan izr. prof. dr. Radoš Šumrada, za somentorja pa doc. dr. David Hladnik, UL BF.

Ljubljana, 18. april 2013



Komisijo za oceno ustreznosti teme doktorske disertacije v sestavi:

- izr. prof. dr. Radoš Šumrada,
- doc. dr. David Hladnik, UL BF,
- prof. dr. Lučka Kajfež Bogataj, UL BF,
- prof. dr. Andrej Bončina, Biotehniška fakulteta
- prof. dr. Janez Pirnat, Biotehniška fakulteta, UL – član,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 10. redni seji, dne
26. septembra 2009.

Poročevalce za oceno doktorske disertacije v sestavi:

- prof. dr. Maja Jurc, UL BF,
- prof. dr. Goran Turk,
- doc. dr. Tomaž Podobnikar, UL FGG in ZRC SAZU,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 34. redni seji, dne
24. oktobra 2012.

Komisijo za zagovor doktorske disertacije v sestavi:

- prof. dr. Matjaž Mikoš, dekan UL FGG, predsednik,
- izr. prof. dr. Radoš Šumrada, mentor,
- doc. dr. David Hladnik, UL BF, somentor,
- prof. dr. Maja Jurc, UL BF,
- prof. dr. Goran Turk,
- doc. dr. Tomaž Podobnikar, UL FGG in ZRC SAZU,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 39. redni seji, dne
27. marca 2013.

Univerza
v Ljubljani
*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **TOMAŽ ŠTURM**, univ. dipl. org., izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom: **»UPORABA TEHNOLOGIJE GIS ZA NAPOVEDOVANJE POJAVLJANJA GOZDNIH POŽAROV V SLOVENIJI«**.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 18. april 2013.

.....
(podpis)

ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK	659.2:004:91:630*43(043.3)
Avtor	Tomaž Šturm
Mentor	izr. prof. dr. Radoš Šumrada
Somentor	doc. dr. David Hladnik
Naslov	Uporaba tehnologije GIS za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v Sloveniji
Obseg in oprema	138 str., 33 pregl., 54 sl., 9 pril.
Ključne besede	požarna ogroženost, pojavljanje požarov, jedrna gostota, geografsko utežena regresija, napovedovalni model, tipi goriv, gozdni sestoj, Kras

Izvleček

Naloga obravnava pojavljanje gozdnih požarov na Kraškem gozdnogospodarskem območju v obdobju 1995–2009. Analiza podatkov je pokazala, da ima pojavljanje gozdnih požarov dva sezonska vrhunca, ki sta zelo povezana z dejavnostmi človeka v naravnem okolju (obdelovanje zemlje, železnica). Zato se požar večinoma začne na negozdnih površinah, od koder se s pomočjo vetra razširi v gozd. Največkrat se pojavi v listnatih gozdovih, največje pogorele površine pa so v iglastih gozdovih. Z metodo jedrne gostote smo ugotovili, da se požari zaradi strele največkrat pojavijo na severnem delu območja, kjer se nad okoliško pokrajino vzpenjajo hribi. Ugotovili smo, da ima na pojavljanje požarov velik vpliv človek, drevesna sestava gozda in relief, kar sovpada z ugotovitvami avtorjev, ki raziskujejo gozdne požare v drugačnih naravnih okoljih. Požar je naraven proces, ki ima svoje zakonitosti, ki se ne spreminjajo ne glede na to, kje se pojavlja. Kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti (CFFWIS) se uporablja v Evropi kot del Evropskega informacijskega sistema za gozdne požare (EFFIS). Njegovo delovanje ni bilo temeljito ocenjeno predvsem v okoljih, ki so požarno manj ogrožena, kar smo storili v tej nalogi. Iz vrednosti indeksa požarne ogroženosti gozdov (FWI) smo s percentilno metodo določili pet stopenj požarne ogroženosti (zelo velika, velika, srednja, majhna, zelo majhna). Ugotovili smo, da so razredi požarne ogroženosti povezani s preteklim pojavljanjem gozdnih požarov. Napovedovanje požarnega dneva smo natančneje izvedli s klasifikacijskim drevesom kot z logistično regresijo. Požarna aktivnost je bolj povezana s trenutnimi vremenskimi razmerami kot s sušo. Naše ugotovitve izpostavljajo uporabnost CFFWIS za uporabo v protipožarni zaščiti, hkrati pa omejitve povezane z majhnim številom požarov in majhnim študijskim območjem. Prostorski model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili z uporabo metode najmanjših kvadratov (OLS) in geografsko utežene regresije (GWR) ter podatkov o značilnostih gozdnih sestojev. Kakovostnejši model smo dobili z metodo geografsko utežene regresije, ki je pokazala katere značilnosti gozdnih sestojev vplivajo na pojavljanje gozdnih požarov in na kakšen način. Metoda GWR je še pokazala, da v modelu poleg podatkov o značilnostih gozdnih sestojev, potrebujemo tudi druge podatke (npr. železnica). Kombinacija statističnih prostorskih metod s podatki o značilnosti gozdnih sestojev je omogočila podrobnejši vpogled v pojavljanje in značilnosti gozdnih požarov. Med naloge napovedovanja požarne ogroženosti spada tudi napovedovanje širjenja gozdnih požarov, za katerega poleg podatkov o vremenu in topografiji, potrebujemo tudi model tipov goriv. Pregledali smo gozdarske podatkovne zbirke in ugotovili, da ne vsebujejo vseh podatkov, ki jih potrebujemo za izračun njegovih parametrov. Vsebujejo pa grafične podatke o prostorski porazdelitvi gozdnih sestojih, ki jih lahko uporabimo za prostorski prikaz območij tipov goriv. V nalogi smo ugotovili, da uporabnost podatkov o značilnostih gozdnih sestojev presega njihov osnovni namen zbiranja in izdelave za potrebe gospodarjenja z gozdovi. Njihov pravi pomen se bo pokazal šele v prihodnjih letih kot ena ključnih informacij o gozdu in gozdnem prostoru, ki podaja izhodišče za spremljanje različnih habitatnih tipov in vrst ter varovanje okolja.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC	659.2:004:91:630*43(043.3)
Author	Tomaž Šturm
Supervisor	Assoc. Prof. Radoš Šumrada Ph. D.
Cosupervisor	Assist. Prof. David Hladnik Ph. D.
Title	Forest fire occurrence prediction in Slovenia using GIS technology
Scope and tools	138 p., 33 tab., 54 fig., 9 ann.
Keywords	forest fire danger, fire occurrence, kernel density, geographically weighted regression, prediction model, fuel types, forest stand, Karst

Abstract

The thesis discusses forest fire occurrence in the Karst forest management region in the period from 1995 to 2009. Data analysis has shown that fire occurrence has two season peaks which are highly associated with human activities in the natural environment (land cultivation, railway). Therefore fire mostly starts in unwooded areas, from where the wind spreads it into the woods. Most frequently it occurs in deciduous forests, and the largest burnt areas occur in coniferous forests. The kernel density showed that lightning fires most frequently occur in the northern part of the region, where hills rise above the surrounding landscape. Forest fire occurrence is impacted by people, tree composition and terrain, which coincides with the findings of authors who explore forest fires in different natural environments. Fire is a natural process with its own rules that does not change regardless of where it occurs. To predict the incidence of forest fire on the basis of weather variables we used the Canadian Forest Fire Weather Index System (CFFWIS), which is applied in Europe within the European Fire Forest Index System (EFFIS). Its performance has not been thoroughly assessed, especially in environments less prone to fire, but this has been done herein. Five fire danger classes (very high, high, moderate low and very low) were derived from percentile analysis of the CFFWIS Fire Weather Index. We established that these classes are related to former forest fire occurrence. Predicting the day when the forest fire might occur was done more precisely with the classification tree than with the logistic regression. Fire activity is more related to current weather conditions than to drought. Our findings stress the applicability of CFFWIS in forest fire protection, and simultaneously suggest limitations related to a small number of fires and a small study area. On the basis of data on forest stands, we created the forest fire occurrence probability model with the ordinary least squares method (OLS) and geographically weighted regression (GWR). Higher quality model was obtained with geographically weighted regression which showed which characteristics of forest stands influence forest fire occurrence and in what way. The GWR model has also shown that in addition to characteristics of forest stands we also need other data (railway). A combination of spatial statistical methods on the characteristics of forest stands has allowed detailed insight into forest fire occurrence and its characteristics. One of the duties of predicting forest fire danger is also predicting forest fire behaviour, which, in addition to weather data and topography, also requires a fuel model. We examined forest databases and established that they do not contain all data needed for calculating fuel model parameters. However, they do contain data on forest stands (forest stand maps), which can be applied to the spatial display of the fuel model (fuelbed). This serves as the basis for further studies in the area of predicting forest fire behaviour. We established that usefulness of forest stand maps overcome their original purpose of collecting and preparing for forest management purposes. Their real significance will become clear only in the coming years as crucial information on forests and forest area, which provides a starting point for monitoring various habitat types and species, and environmental protection.

ZAHVALA

*»Če takrat,
kadar si v gozdu,
tudi gozd ni v tebi,
s kakšno pravico
si potem ti v gozdu?«
(Henry David Thoreau)*

Pri svojem delu se ukvarjam z geografskimi informacijskimi sistemi (GIS), ki omogočajo najrazličnejše analize v prostoru in vizualne prikaze. Radovednost in žeja po znanju sta me gnala, da preskusim uporabnost tehnologije GIS na področju napovedovanja pojavljanja gozdnih požarov. Na začetku je bila predvsem želja uporabiti tehnologijo GIS in z njeno pomočjo pridobiti informacije, ki bodo pomagale k boljšemu razumevanju soodvisnosti med naravnim okoljem in gozdnimi požari. Vzpodbudni začetni rezultati so me vedno znova priganjali k nadaljevanju raziskave in hkrati še povečevali moje navdušenje nad tehnologijo GIS.

Moje delo so omogočili različne ustanove in posamezniki, ki se jim na tem mestu zahvaljujem. Njihova nesebična pomoč in podpora sta mi omogočila spoznati in razumeti področje raziskave. Z njihovo pomočjo sem se veliko naučil o svetu, v katerem živim, in dokončal nalogo.

Najprej se želim zahvaliti mentorju prof. dr. Radošu Šumradi in somentorju doc. dr. Davidu Hladniku, brez katerih naloge v taki obliki ne bi bilo. Njuni nasveti so mi pomagali, da sem prestopil svoje okvire razumevanja področja, s katerim se v nalogi ukvarjam.

Hvala vsem sodelavcem na Zavodu za gozdove Slovenije, ki so mi pomagali spoznati gozdarstvo in podatke o značilnostih gozdov. Posebej se zahvaljujem Draganu Matijašiču in Joštu Jakši za njuno moralno in časovno podporo ter mag. Roku Pisku za njegove strokovne nasvete.

Naloga ne bi bila mogoča tudi brez zaposlenih na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Hvala vam, da ste poslušali moje misli in razmišljanja ter me usmerili na pravo pot v trenutkih neodločnosti. Še posebej hvala dr. Nikici Ogrisu, ki si je vzel čas za preverjanje mojih idej in mi svetoval, kako naj jih udejanjim.

Hvala tudi dr. Tomažu Podobnikarju, ki mi je s svojo radovednostjo postavljajl vprašanja in me "silil" v iskanje odgovorov.

V času študija sem bil gost na Univerzi v Vila Realu na Portugalskem, kar je finančno podprla Evropska komisija. Dr. Paulo Fernandes mi je podrobno predstavil področje napovedovanja požarne ogroženosti in metode, ki se pri tem uporabljajo.

Podatke v raziskovalne namene sem pridobil na Zavodu za gozdove Slovenije, na Gozdarskem inštitutu Slovenije, na Geodetski upravi RS in na Agenciji za okolje in prostor RS. Hvala vam.

Največja zahvala gre Evi in Matjažu za podporo in potrpežljivost v času mojega podiplomskega študija.

Tomaž Šturm

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Ozadje.....	1
1.2 Izhodišča.....	1
1.3 Študijsko obdobje in študijsko območje.....	3
1.4 Raziskovalne hipoteze	3
1.4.1 Metode dela	3
1.4.2 Cilji.....	5
1.5 Struktura naloge.....	5
2 RAZISKOVANJE GOZDNIH POŽAROV	8
2.1 Pojavljanje požarov	8
2.1.1 Lastnosti gorenja	9
2.1.2 Požarno okolje	9
2.2 Širjenje požarov	10
2.2.1 Modeliranje.....	11
2.3 Posledice gozdnih požarov	11
2.4 Vrste gozdnih požarov	11
3 GOZDNA GORIVA.....	13
3.1 Spremembe goriv skozi čas	13
3.2 Vrste goriv	13
3.2.1 Fizične lastnosti goriv.....	14
3.2.2 Kemijske lastnosti goriva	15
3.2.3 Vlažnost goriva.....	15
3.2.4 Razpoložljivost in poraba goriva	16
3.2.5 Vnetljivost rastlin	18
3.3 Parametri modela tipov goriv	18
3.4 Prostorski prikaz območij goriv	20
3.4.1 Tradicionalne metode	20
3.4.2 Metode daljinskega zaznavanja	20
3.4.3 Kombinirane metode za kartiranje tipov goriv	21
4 PREGLED VARSTVA PRED POŽARI.....	22
4.1 Slovenija.....	22
4.1.1 Zavod za gozdove Slovenije.....	22
4.1.2 Državna meteorološka služba.....	23

4.1.3 Uprava RS za zaščito in reševanje	23
4.2 Evropa in svet.....	23
4.2.1 Evropska unija	24
4.2.2 Rusija	26
4.2.3 Avstralija.....	27
4.2.4 Združene države Amerike	28
4.2.5 Kanada	31
4.2.5.1 Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov	34
5 OBMOČJE RAZISKAVE, PODATKI IN METODE DELO.....	37
5.1 Kraško gozdnogospodarsko območje.....	39
5.2 Priprava podatkov	40
5.2.1 Podatki o požarih.....	41
5.2.2 Vremenske spremenljivke	41
5.2.3 Gozdarske podatkovne zbirke	43
5.2.3.1 Gozdni sestoji.....	43
5.2.3.2 Stalne vzorčne ploskve.....	46
5.2.3.3 Druge gozdarske zbirke podatkov	48
5.3 Analiza podatkov	49
5.4 Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov.....	50
5.5 Prostorske analize.....	52
5.5.1 Ocena jedra	53
5.5.2 Thiessenovi poligoni	54
5.5.3 Prostorska interpolacija	54
5.5.4 Geografsko utežena regresija	55
5.5.4.1 Priprava podatkov	58
5.6 Podatki za izdelavo modela tipov goriv	66
6 REZULTATI.....	68
6.1 Značilnosti gozdnih požarov	68
6.2. Značilnosti opožarjenih površin	72
6.3 Gostota požarov	73
6.4 Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov	78
6.4.1 Analiza komponent meteorološkega indeksa požarne ogroženosti gozdov	79
6.4.2 Analiza stopenj požarne ogroženosti.....	81
6.4.3 Prostorska interpolacija	83
6.5 Model pojavljanja gozdnih požarov	86

6.5.1 Geografsko utežena regresija s stalnim jedrom	87
6.5.2 Geografsko utežena regresija s prilagodljivim jedrom	93
6.6 Pregled zbranih podatkov za izdelavo modela tipov goriv na študijskem območju.....	94
7 RAZPRAVA.....	97
7.1 Pretekla požarna aktivnost.....	97
7.2 Pojavljanje gozdnih požarov	99
7.2.1 Meteorološki indeks požarne ogroženosti	99
7.2.2 Prostorski model pojavljanja gozdnih požarov.....	101
7.3 Širjenje gozdnih požarov	103
8 SKLEPI.....	105
9 POVZETEK	107
10 SUMMARY	111
VIRI.....	115
PRILOGE	128

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povezava med časovnim zamikom, velikostjo goriva in globino gozdnih tal (Deeming in sod., 1977).....	18
Preglednica 2: Najpomembnejši sistemi klasifikacije goriv (Arroyo in sod., 2008).....	24
Preglednica 3: Model goriv NFDRS, ki ustreza tipom modela goriv Evropske karte modela goriv (Barbosa in sod., 2008).....	25
Preglednica 4: Tipi goriv v sistemu NFDRS (Cohen in Deeming, 1982; cit. po Arroyo in sod., 2008).....	29
Preglednica 5: Horizontalna razslojenost območij goriv na sloj in vrsto goriva v FCCS (Ottmar in sod., 2007).....	30
Preglednica 6: Klasifikacijski sistem tipov goriv NFFL (Anderson, 1982).....	30
Preglednica 7: Tipi goriv v sistemu FBP (Forestry Canada, 1992; Dimitrov, 1996).....	33
Preglednica 8: Mejne vrednosti padavin, ki že vplivajo na vlažnost goriva (Lawson in Armitage, 2008).....	35
Preglednica 9: Stopnje požarne ogroženosti, percentilni razredi in vrednosti indeksa FWI na študijskem območju (1995–2009).....	51
Preglednica 10: Deleži razvojnih faz na študijskem območju (1999–2008).....	58
Preglednica 11: Vrste in deleži sestojnega sklepa na študijskem območju (1999–2008).....	59
Preglednica 12: Vodilne drevesne vrste v gozdnih sestojih in površinski deleži teh sestojev na študijskem območju (1999–2008).....	60
Preglednica 13: Deleži listavcev glede na lesno zalogo po razredih iz priloge A na študijskem območju (1995–2009).....	62
Preglednica 14: Število požarov in velikost požarišč po letih na Kraškem GGO (1995–2009).....	68
Preglednica 15: Število požarov in velikost požarišč po mesecih na študijskem območju (1995–2009).....	69
Preglednica 16: Število razvojnih faz in mešanost drevesnih vrst v sestojih z gozdnimi požari na študijskem območju (1995–2009).....	70
Preglednica 17: Delež listavcev glede na lesno zalogo na študijskem območju (1995–2009).....	70
Preglednica 18: Deleži drevesnih vrst v listnatih gozdovih, kjer se pojavljajo požari na študijskem območju (1995–2009).....	71
Preglednica 19: Deleži drevesnih vrst v iglastih gozdovih, kjer se pojavljajo požari, na študijskem območju (1995–2009).....	71
Preglednica 20: Deleži gozdnih združb v gozdnih požarih na študijskem območju (1995–2009).....	72
Preglednica 21: Vzroki nastanka požarov na študijskem območju (1995–2009).....	72
Preglednica 22: Pogorele površine po vrstah gozdov in količina poškodovane lesne mase na študijskem območju (1995–2009).....	73

Preglednica 23: Meje razredov FWI požarne ogroženosti v različnih okoljih (CIPOP, 2011; Fernandes, 2005)	78
Preglednica 24: Stopnje požarne ogroženosti in požarna aktivnost na študijskem območju (1995–2009)	79
Preglednica 25: Matrika zamenjav za napovedovanje zelo velike stopnje požarne ogroženosti	80
Preglednica 26: Matrika zamenjav za napovedovanje požarnega dneva.....	80
Preglednica 27: Rezultati modelov univariatne logistične regresije verjetnosti pojavljanja požarov na Kraškem GGO (1995–2009).....	80
Preglednica 28: Stopnje požarne ogroženosti za 20 vremenskih postaj v Sloveniji (1995–2009)	84
Preglednica 29: Dnevi največje požarne aktivnosti na študijskem območju (1995–2009)	84
Preglednica 30: Rezultati metode OLS za model pojavljanja gozdnih požarov.....	87
Preglednica 31: Pomembnejše vrednosti diagnostične statistike GWR metode s stalnim jedrom	87
Preglednica 32: Deleži rastiščnogojitvenih razredov na študijskem območju (ZGS, 2003)	93
Preglednica 33: Pomembnejše vrednosti diagnostične statistike GWR metode s prilagodljivim jedrom.....	93

SEZNAM SLIK

Slika 1: Struktura doktorske disertacije	6
Slika 2: Požarni trikotnik (Pyne in sod., 1996)	9
Slika 3: Trikotnik požarnega okolja (Pyne in sod., 1996).....	10
Slika 4: Deli požara (Jakša, 2006) in shematski prikaz širjenja gozdnega požara (CIPOP, 2011)	10
Slika 5: Vrste goriv in požarnih okolij (Peterson in sod., 2005)	14
Slika 6: Tipi goriv Prometej (Arroyo in sod., 2008)	26
Slika 7: McArthur-jev merilnik požarne ogroženosti za gozdove (levo) in travnike (desno) (Arroyo in sod., 2008).....	27
Slika 8: Strukturi diagram NFDRS (Fujioka in sod., 2009).....	28
Slika 9: Komponente CFFDRS (CWFIS, 2009)	31
Slika 10: Komponente CFFWIS (CWFIS, 2009).....	32
Slika 11: Vhodni, izhodni podatki in struktura FBP (CWFIS, 2009)	33
Slika 12: Diagram poteka preverjanja uporabnosti CFFWIS	37
Slika 13: Diagram poteka izgradnje modela pojavljanja gozdnih požarov	38
Slika 14: Diagram poteka izgradnje modela tipov goriv	39
Slika 15: Študijsko območje (ZGS; Državna pregledna karta 1 : 500.000, 1998, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS)	40
Slika 16: Lokacije gozdnih požarov na študijskem območju (1995–2009) (ZGS)	41
Slika 17: Vremenske postaje (ARSO, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje).....	42
Slika 18: Lokacije na terenu preverjenih gozdnih sestojev na Kraškem GGO (ZGS; Državna pregledna karta 1 : 500.000, 1998, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS).....	45
Slika 19: Položaj stalnih vzorčnih ploskev ZGS na študijskem območju v letu 2009 (ZGS).....	47
Slika 20: Vzorčna mreža 4 × 4 km na študijskem območju (GOZDIS, ZGS)	49
Slika 21: Shematski diagram izračuna šestih standardnih komponent CFFWIS (Lawson in Armitage, 2008)	51
Slika 22: Grafični pristop delitve statističnih prostorskih analiz v GIS-u (Podobnikar in Drobne, 1999)	53
Slika 23: Postopek izgradnje prostorskega modela pojavljanja gozdnih požarov	57
Slika 24: Razvojne faze po gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)	59
Slika 25: Sestojni sklep po gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008).....	60
Slika 26: Vodilne drevesne vrste gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)	61
Slika 27: Lesna zaloga na hektar na študijskem območju (1999–2008)	62
Slika 28: Delež listavcev v lesni zalogi gozdnih sestojev na študijskem območju (1999–2008)	63
Slika 29: Vrstna pestrost po Shannon-Wienerjev indeksu v gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)	64

Slika 30: Debelinska pestrost po Shannon-Wienerjev indeksu v gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)	65
Slika 31: Nadmorske višine gozdnih sestojev na študijskem območju (1999–2008).....	66
Slika 32: Število požarov in velikost požarišč po mesecih na študijskem območju (1995–2009).....	69
Slika 33: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) pojavljanja vseh gozdnih požarov, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)	74
Slika 34: Število požarov po letih okoli Podgrada (1995–2009).....	75
Slika 35: Število požarov naravnega nastanka po mesecih na študijskem območju (1995–2009).....	75
Slika 36: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) gozdnih požarov naravnega nastanka, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)	76
Slika 37: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) gozdnih požarov v februarju in marcu, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)	77
Slika 38: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) gozdnih požarov v juliju in avgustu, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)	78
Slika 39: Maksimalne, 75 percentil, mediana, 25 percentil in minimalne vrednosti indeksa FWI na študijskem območju (1995–2009)	79
Slika 40: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri zelo veliki stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009).....	81
Slika 41: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri visoki stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009)	82
Slika 42: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri srednji stopnji požarni ogroženosti na študijskem območju (1995–2009).....	82
Slika 43: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri majhni stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009).....	83
Slika 44: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri zelo majhni stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009).....	83
Slika 45: Stopnje požarne ogroženosti z metodo zlepkov in lokacije požarov za 23. 7. 2006	85
Slika 46: Rezultati GWR metode s stalnim jedrom: standardizirane napake napovedi in železnica	88
Slika 47: Napovedane vrednosti pojavljanja gozdnih požarov GWR metode s stalnim jedrom	89
Slika 48: Vpliv drevesnih vrst na pojavljanje požarov na študijskem območju	90
Slika 49: Vpliv lesne zaloge na pojavljanje požarov na študijskem območju.....	90

Slika 50: Vpliv deleža listavcev glede na lesno zalogo na pojavljanje požarov na študijskem območju.....	91
Slika 51: Vpliv vrstne pestrosti po Shannon-Wienerjevem indeksu na pojavljanje požarov na študijskem območju	91
Slika 52: Vpliv nadmorske višine na pojavljanje požarov na študijskem območju.....	92
Slika 53: Verjetnost pojavljanja gozdnih požarov po rastiščnogojitvenih razredih na študijskem območju.....	92
Slika 54: Napovedane vrednosti pojavljanja gozdnih požarov GWR modela s prilagodljivim jedrom	94

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Obrazec Poročilo o požaru (PVG, 2009)	128
Priloga B: Seznam vremenskih postaj	129
Priloga C: Obrazec Zavoda za gozdove Slovenije za vpisovanje podatkov o sestojih.....	130
Priloga D: Snemalni list stalne vzorčne ploskve	131
Priloga E: Klasifikacijsko drevo napovedovanja požarnih dni.....	132
Priloga F: Model za izdelavo interpolirane ploskve z metodo zlepkov (<i>spline</i>)	133
Priloga G: Python koda modela zlepkov	134
Priloga H: Seznam izbranih sestojev za terenski ogled	137
Priloga I: Rezultati metode najmanjših kvadratov v programskem paketu ArcGIS.....	138

SEZNAM KRATIC

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BUI	indeks celotnega goriva (<i>build-up index</i>)
CFFWIS	kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov (<i>Canadian forest fire weather index system</i>)
CFFDRS	kanadski sistem ocenjevanja nevarnosti gozdnih požarov (<i>Canadian forest fire danger rating system</i>)
DC	šifra vlažnosti grobega goriva (<i>drought code</i>)
DMC	šifra vlažnosti srednjega goriva (<i>duff moisture code</i>)
DMV	digitalni model višin
DOF5	digitalni ortofoto načrti merila 1 : 5000
DV	drevesna vrsta
EFFIS	evropski informacijski sistem za gozdne požare (<i>European forest fire information system</i>)
EK	Evropska komisija (<i>European commission</i>)
FBP	sistem napovedovanja širjenja gozdnih požarov (<i>Canadian forest fire behavior prediction system</i>)
FFMC	šifra vlažnosti drobnega goriva (<i>fine fuel moisture code</i>)
FWI	indeks požarne ogroženosti gozdov (<i>fire weather index</i>)
GGE	gozdnogospodarska enota
GGO	gozdnogospodarsko območje
GIS	geografski informacijski sistem
GOZDIS	Gozdarski inštitut Slovenije
GWR	geografsko utežena regresija (<i>geographically weighted regression</i>)
ISI	indeks začetnega širjenja (<i>initial spread index</i>)
OLS	metoda najmanjših kvadratov (<i>ordinary least squares</i>)
PVG	Pravilnik o varstvu gozdov
R ²	stopnja ujemanja
RF	razvojna faza
RGR	rastiščnogojitveni razred
RK	rastiščni koeficient
SVP	stalne vzorčne ploskve
URSZR	Urad Republike Slovenije za zaščito in reševanje
ZG	Zakon o gozdovih
ZGS	Zavod za gozdove Slovenije

SLOVAR STROKOVNIH BESED

Pojem	Angleški izraz	Opis	Vir
geografsko utežena regresija	<i>geographically weighted regression</i>	lokalna metoda prostorske regresijske analize za ocenjevanje parametrov modela	
interpolacija	<i>interpolation</i>	približek vrednosti atributa nevezorčenih vrednosti iz meritev v njihovi okolici.	Burrough in McDonnell 1998, cit. po Podobnikar, 2001
jedro	<i>kernel</i>	dvoparametrična funkcija, ki jo lahko uporabljamo za »mehčanje« (glajenje) verjetnostne gostote iz vzorca opazovanj	Podobnikar, 1998
klasifikacijsko drevo	<i>classification tree</i>	hierarhična struktura v obliki drevesa, pri katerem listi drevesa vsebujejo konstante in napovedujejo diskretne vrednosti	
lidarski podatki	<i>light detection and ranging data</i>	podatki o zemeljskem površju in objektih na njem pridobljeni z zračnim laserskim skeniranjem	
logistična regresija	<i>logistic regression</i>	metoda odvisnosti, kjer poskušamo ugotoviti ali posamezna oziroma kombinacija neodvisnih (pojasnjevalnih) spremenljivk vpliva na eno oziroma kombinacijo odvisnih spremenljivke	
metoda najmanjših kvadratov	<i>ordinary least squares</i>	globalna metoda prostorske regresijske analize za ocenjevanje parametrov modela	
metoda zlepkov	<i>spline</i>	gladka, navadno parametrično definirana matematična krivulja (polinom) za interpolacijo okolice danih točk, katere položaj, naklon in ukrivljenost se lokalno (odsekoma) prilagaja. Navadno gre za t. i. bikubične zlepke.	CEPP 1997-2000; Diantith in Nelson 1989, cit. po Podobnikar, 2001
horizont Of	<i>horizon Of</i>	organski podhorizont, ki ga sestavlja rastlinski opad (listje, iglice, vejice in drugi rastlinski ostanki, oznaka l izhaja iz ang. <i>litter</i> = opad).	Urbančič in Simončič, 2005
horizont Oh	<i>horizon Oh</i>	organski podhorizont iz humificirane organske snovi.	Urbančič in Simončič, 2005

Pojem	Angleški izraz	Opis	Vir
horizont Ol	<i>horizon Ol</i>	organski podhorizont iz delno razkrojenih (f = fermentiranih) rastlinskih ostankov, katerih poreklo se še razloči.	Urbančič in Simončič, 2005
pokrovnost in raba prostora Corine	<i>CORINE land cover</i>	tematska karta pokrovnosti in rabe tal, ki ima obliko digitalne vektorske prostorske baze. Ažurno predstavlja realno stanje pokrovnosti kot ga je zaznal satelit, ne glede na morebitno rabo ali pravno stanje.	
prilagodljivo jedro	<i>adapitve kernel</i>	funkcija jedra zgrajena odvisno od gostote prostorskega pojava	
Shannon-Wienerjev indeks	<i>Shannon-Wiener index</i>	merilo raznovrstnosti, uporablja se v ekologiji za prikazovanje raznovrstnosti v vzorcih (življenjskih združbah), ki vsebujejo veliko vrst z veliko skupno številčnostjo pripadajočih osebkov.	
srednja naključna razdalja	<i>mean random distance</i>	pričakovana oddaljenost do najbližjega soseda, če je razporeditev točk v prostoru naključna	
stalno jedro	<i>fixed kernel</i>	funkcija jedra zgrajena pri stalni razdalji	
vnetljivost	<i>flammability</i>	gnetljivost opisuje, kako hitro se bo rastlina vžgala in ohranila plamen, kako hitro bo zgorela in koliko jo bo zgorelo v procesu gorenja	Anderson, 1970; Martin in sod., 1994; cit. po Guijarro in sod., 2002

1 UVOD

V uvodnem poglavju predstavljamo predmet raziskave, hipoteze in cilje doktorske naloge ter njeno zasnovo s kratko vsebino poglavij. Pojasnjujemo tudi, zakaj smo za študijsko območje izbrali Kraško gozdnogospodarsko območje.

1.1 Ozadje

Zgodba o zgodovini ognja je fascinantna. To je zgodba o tem, kako je ogenj izoblikoval krajino, človeško zgodovino, naš kulturni razvoj ter naravne in zgrajene skupnosti, v katerih prebivamo. To je zgodba o gradnji in požiganju, o oblikovanju in preoblikovanju. Gozdni požar uporablja dejavnike okolja za svoj razvoj, ljudje pa smo z uporabo prirojene modrosti in znanstvenega znanja o ekologiji požarov ter požarnim upravljanjem sooblikovali različne požarne režime (Pyne in sod., 1996). Ljudje smo tisti, ki smo ugotovili način nadzora požarov in njihovo uporabo na način, ki povečuje kakovost življenja na Zemlji. Toda tudi ljudje ne moremo nadzorovati vsake situacije, zato se včasih zgodi, da ogenj uide izpod nadzora in povzroči veliko škodo. Ko pa pripovedujemo zgodbo o požaru, da ponazorimo znanost upravljanja s požari, moramo povedati tudi zgodbe, ki spodbujajo življenje v okoljih, kjer se pojavlja veliko gozdnih požarov. Vsako leto na vrhuncu požarne sezone nas ogenj opomni, da je naš sopotnik že od vsega začetka in bo verjetno vedno z nami.

Gozdni požari se pojavljajo, ne glede na vzrok nastanka, in to nam daje možnost, da jih opazujemo, proučujemo in razvijamo različne požarne modele. Izraz požarni model pomeni matematična razmerja, ki opisujejo možne značilnosti požara (Arroyo in sod., 2008). Sistem za upravljanje gozdnih požarov uporablja računalniške požarne modele za napovedovanje verjetnosti pojavljanja, hitrosti širjenja in predvidevanja velikosti pogorelih območij. Rezultati modelov so uporabni za usposabljanje in načrtovanje protipožarnih strategij ter gašenje požarov. Požarni modeli se uporabljajo v različnih vidikih upravljanja požarov (Stocks in sod., 1989; Agee in Skinner, 2005; Bodrožič in sod., 2005; Andrews, 2007; Wotton, 2009):

- a) pred požarom za izračun požarne ogroženosti, kar lahko pomaga pri gospodarjenju z gozdovi in gasilcem, da se osredotočijo na požarno bolj ogrožena območja in tam poskrbijo za boljšo infrastrukturo,
- b) pred požarom za usposabljanje gasilcev in razvijanje ustreznih gasilskih vaj,
- c) v času trajanja požara za načrtovanje strategij gašenja, kar lahko pomaga gasilcem, da razporedijo opremo in s tem zmanjšajo škodo in hkrati nevarnost za gasilce.

V sistemu za upravljanje gozdnih požarov so se kot močno orodje za delo s prostorskimi podatki uveljavili tudi geografski informacijski sistemi (GIS). Obstajajo različni računalniško podprti požarni modeli, ki uporabljajo podatke GIS za napovedovanje požarne ogroženosti. Najpomembnejše med njimi so karte požarne ogroženosti in simulacije širjenja gozdnih požarov (Lee in sod., 2002). Obstaja veliko različnih parametrov (Rothermel, 1972), ki se lahko uporabljajo za ponazoritev gozdnih požarov in različni požarni modeli, ki uporabljajo različne nize parametrov za simulacijo. Aplikacije GIS se uporabljajo za simulacijo širjenja gozdnih požarov na podlagi znanega mesta vžiga (Finney, 2004; Finney, 2006).

1.2 Izhodišča

Med naloge upravljanja z gozdnimi požari spadajo napovedovanje požarne ogroženosti (verjetnost pojavljanja požarov), spreminjanje okolja, v katerem požar gori in gašenje majhnih požarov, preden bi postali veliki (Pyne in sod., 1996). Sistem za ocenjevanje požarne ogroženosti je najpomembnejši del vsakega sistema za upravljanje gozdnih požarov. V zadnjih treh desetletjih so bile razvite različne metode ocenjevanja požarne ogroženosti, od preprostih indeksov (Viegas in sod., 1994) do bolj zapletenih sistemov, ki temeljijo na raziskavah širjenja požarov (Fujioka in sod., 2009).

V drugo skupino metod spada tudi kanadski sistem ocenjevanja nevarnosti gozdnih požarov (*Canadian Forest Fire Danger Rating System - CFFDRS*) (Van Wagner, 1987), ki trenutne in pretekle vremenske razmere pretvori v oceno potencialnega nastanka in širjenja požara. Sestavljata ga dva podsistema: meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov (*Canadian Forest Fire Weather Index System - CFFWIS*) in sistem napovedovanja širjenja gozdnih požarov (*Canadian Forest Fire Behavior Prediction System - FBP*) (Stocks in sod., 1989). CFFWIS določa oceno požarne ogroženosti kot stopnjo težavnosti kontrole ognja. Primerjalne analize so pokazale, da je CFFWIS primeren za uporabo na Sredozemskem območju (Viegas in sod., 1994). Carvalho in sod. (2008) ter Camia in Amatulli (2009) so pojasnili več kot 80 % mesečne variabilnosti pogorelih površin na Portugalskem in Sredozemskem območju z uporabo komponent CFFWIS. Evropski informacijski sistem za gozdne požare (*European Forest Fire Information System - EFFIS*) za napovedovanje požarne ogroženosti v Evropi uporablja CFFWIS in meteorološke podatke francoskega (Meteo-France) in nemškega meteorološkega zavoda (DWD) (EC, 2011). CFFWIS se uporablja na celotnem ozemlju Portugalske (Viegas, 1999), preizkušen je bil v naravnem parku Montesinho (Rainha in Fernandes, 2002), na Kreti (Dimitrakopoulos in sod., 2010), v Italiji (Cane in sod., 2008) in v Hrvaškem primorju (Vučetić in sod., 2006). CFFWIS je postal tudi skupni jezik med znanstveniki in tudi strokovnimi delavci, ki se ukvarjajo z ocenjevanjem požarne ogroženosti. Nedavne študije o vplivu podnebnih sprememb na aktivnost gozdnih požarov uporabljajo kanadski sistem tudi kot standardno orodje za kvantifikacijo relativne spremembe požarne aktivnosti predvideno v različnih prihodnjih podnebnih scenarijih (Fujioka in sod., 2009).

Napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov je torej zelo povezano s trenutnimi vremenskimi razmerami. Natančne vremenske razmere za prihodnost pa niso znane in zato teh modelov ne moremo uporabljati v okviru gospodarjenja z gozdovi. V ta namen se razvijajo modeli pojavljanja požarov na podlagi značilnosti gozdov, preko katerih lahko ocenjujemo vpliv gospodarjenja z gozdovi na pojavljanje požarov (Gonzalez in sod., 2006). Te raziskave pokažejo na tiste značilnosti gozdnih sestojev, ki vplivajo na pojavljanje požarov. Na pojavljanje požarov, poleg trenutnih vremenskih razmer, vplivajo tudi vrsta, količina in razporeditev gozdnih goriv (Loehle, 2004). Sestojna zgradba je povezana s požarno ogroženostjo s svojim vplivom na goriva v krošnjah (živ in odmrl material v krošnjah dreves) in površinska goriva (grmičevje, travinje, opad in lesno gorivo v stiku s tlemi) (Peterson in sod., 2005). Sprememba katerega koli sloja goriva v okviru gospodarjenja z gozdovi vpliva na širjenje požara, njegovo intenzivnost in učinkovitost gašenja. Agee in Skinner (2005) sta ugotovila neposreden vpliv površinskih goriv (živa in odmrla vegetacija v stiku s tlemi) na pojavljanje požarov. Količina teh goriv poveča verjetnost vžiga in prispeva k širjenju in intenzivnosti talnih požarov.

Za razvijanje strategij upravljanja z gozdnimi požari je zelo pomembno tudi znanje o gorivih, ker predstavljajo osnovno komponento požarne ogroženosti (Chuvieco in sod., 2004). Potrebno je poznati njihovo vodoravno in navpično razporeditev. Karte tipov goriv so tudi obvezen vhodni podatek v programe, ki simulirajo širjenje požarov (Arroyo in sod. 2008). Predstavljajo razporeditev, količino in stanje goriva, ki je na voljo za gorenje v požaru. Izdelava natančne karte tipov goriv zahteva veliko terenskega dela, ki je podprto z metodami daljinskega zaznavanja in uporabo tehnologije GIS. Narejenih je bilo več modelov goriv, ki se uporabljajo v različnih službah za upravljanje gozdnih požarov.

V Sloveniji se ukvarjamo z napovedovanjem dejanske požarne ogroženosti na podlagi vremenskih razmer (Pečenko, 1994) in izdelujemo načrte varstva gozdov pred požarom požarov na podlagi značilnosti gozdov (Pravilnik, 1998). Pri tem uporabljamo metode, ki so bile razvite in se uporabljajo samo v tem prostoru. V raziskavi smo uporabili metode, ki se uporabljajo v mednarodnem merilu in preverili njihovo uporabnost na študijskem območju. Velik poudarek smo namenili tudi napovedovanju širjenja gozdnih požarov v času in prostoru, s katerim se v Sloveniji še ne ukvarjamo.

1.3 Študijsko obdobje in študijsko območje

Podatki o pretekli požarni aktivnosti nam omogočajo razumevanje glavnih značilnosti in dinamiko gozdnih požarov glede na njihovo časovno in prostorsko porazdelitev (Carvalho in sod. 2008). Jakša (1997, 2006) je z analizo pretekle požarne aktivnosti ugotovil, da Slovenija v celoti ni posebno ogrožena zaradi gozdnih požarov, za kar je več razlogov, vendar je lahko lokalna slika povsem obratna (Košir, 1997). V Sloveniji vodita podatke o preteklih gozdnih požarih Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR), ki deluje v okviru Ministrstva za obrambo Republike Slovenije, ter Zavod za gozdove Slovenije (ZGS). URSZR vodi podatke o vseh požarih v naravnem okolju, med katere spadajo tudi požari na gozdnih in grmovnih površinah. ZGS zbira podatke samo o tistih gozdnih požarih, pri katerih je bila potrebna njihova intervencija. Za potrebe raziskave smo od obeh inštitucij pridobili podatke o gozdnih požarih od začetka njihovega zbiranja do vključno 31. 12. 2009. Podatki URSZR o gozdnih požarih obsegajo obdobje od 1. 1. 2005 dalje. Za prejšnja leta teh podatkov nismo uspeli pridobiti. Zbirka podatkov o gozdnih požarih ZGS vsebuje vse podatke od leta 1995 naprej. ZGS je bil ustanovljen z Zakonom o gozdovih (1993) leta 1993. V letu 1994 so uspeli poenotiti načine zbiranja podatkov in evidence o gozdnih požarih na ravni države (ZGS, 1995). Tako je bilo s 1. 1. 1995 omogočeno enotno zbiranje podatkov o gozdnih požarih na ravni Slovenije.

Zaradi daljšega obdobja zbranih podatkov smo se odločili, da bomo v raziskavi uporabili podatke o gozdnih požarih (priloga A), ki jih zbira ZGS, za obdobje od 1. 1. 1995 do 31. 12. 2009. Po njihovih podatkih je bilo v tem obdobju na Kraškem gozdnogospodarskem območju (Kraško GGO) 66 % vseh požarov v Sloveniji, pogorele površine pa predstavljajo kar 78 % vseh pogorelih površin v Sloveniji. Jakša (1997) je pregledal število gozdnih požarov in pogorelih površin v Sloveniji v obdobju od 1988 do 1996 (pred študijskim obdobjem) in prav tako izpostavil Kraško GGO, kjer se je v obravnavnem obdobju zgodilo 50 % gozdnih požarov, velikost pogorišč je bila kar 90 % velikosti vseh pogorišč.

Pregled pretekle požarne aktivnosti v Sloveniji je izpostavil Kraško GGO, ki pokriva Kras, obalni del in slovensko Istro, kot požarno najbolj ogroženo v Sloveniji. Zato smo ga tudi izbrali za študijsko območje raziskave.

1.4 Raziskovalne hipoteze

Osnovna predpostavka je, da je mogoče s tistimi vplivnimi faktorji, ki bodo vključeni v sistem GIS, pojasniti spremenljivost požarne ogroženosti v prostoru in času. Predpostavlja se, da se lahko model požarne ogroženosti izdelava s posplošitvijo zakonitosti, ki jih je mogoče razpoznati iz dejansko zabeleženih lokacij preteklih gozdnih požarov v povezavi z relevantnimi značilnostmi okolja, ki jih je mogoče kvantificirati in hkrati prostorsko opredeliti. Končni model je rezultat analize statističnih povezav med zabeleženimi preteklimi požari in vplivnimi faktorji, zajetih v GIS podatkovnih slojih, ter vplivih, ki se spreminjajo s časom (vreme).

Na osnovi dosedanjih raziskav in analize stanja so bile izoblikovane naslednje empirične hipoteze:

- vsi prostorski podatki, ki bodo uporabljeni v modelu, niso primerljivi po kakovosti, zato se bodo določile uteži za vsak podatek, ki bo uporabljen kot vhod v model,
- gozdni požari se pojavljajo predvsem v sestojih, kjer prevladujejo iglavci v lesni zalogi,
- drevesna vrsta vpliva več kot 50 % na nastanek požara na določenem območju oziroma gozdnem sestoj.

1.4.1 Metode dela

Pregledali bomo preteklo požarno aktivnost in poiskali ter pokazali njene značilnosti v času in prostoru. Iz podatkov bomo dobili odgovore, katere vrste gozdov in drevesne vrste so še posebej požarno ogrožene. Za napovedovanje oziroma spremljanje požarne ogroženosti na podlagi vremenskih razmer bomo uporabili metodo, ki je bila razvita v Kanadi (Stocks in sod., 1989) in se uporablja tudi v Evropski uniji (EC, 2011). Metoda se imenuje kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov (*Canadian Forest Fire Weather Index System* - CFFWIS) in izračunava verjetnost nastanka

gozdnega požara na podlagi trenutnih vremenskih razmer. Za napovedovanje pojavljanja požarov v prostoru na podlagi značilnosti gozdov smo za osnovo uporabili model, ki so ga zgradili v Kataloniji (Gonzalez in sod., 2006). Za Kraško GGO smo zgradili lasten model pojavljanja požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Prav tako smo pregledali sisteme za napovedovanje širjenja gozdnih požarov in podatke, ki jih za simulacijo potrebujemo.

Na podlagi hipotez bomo poskusili pojasniti, ali je pojavljanje gozdnih požarov v veliki meri odvisno od vremenskih razmer in drevesne vrste, ki pa je posledično rezultat človeka in njegove dejavnosti v gozdu in gozdnem prostoru. Primerjava rezultatov sistema CFFWIS s preteklo požarno aktivnostjo bo pokazala, kakšne so možnosti za njegovo uporabo na študijskem območju. Rezultati modela pojavljanja požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev lahko vplivajo na način gospodarjenja z gozdovi v smeri zmanjševanja njihovega nastanka s spreminjanjem strukture gozdov. Za simulacije širjenja gozdnih požarov potrebujemo podatke o gozdnih gorivih, topografiji in vremenu. Iz podatkov gozdarskih podatkovnih zbirk bomo poskusili narediti model tipov goriv za Kraško GGO.

Z razvojem tehnologije GIS je omogočena njena uporaba v vedno večjem številu strok (tudi za napovedovanje pojavljanja požarov) in postaja izrazito multidisciplinarni. Zelo pomembno orodje GIS-ov so prostorske analize, s katerimi analiziramo prostorske podatke in iz njih ustvarjamo nove informacije. Prostorske analize v GIS se delijo na obdelave enega podatkovnega sloja, topološko prekrivanje več podatkovnih slojev, iskanje točkovnih vplivov in vzorcev, ploskovno modeliranje, mrežne analize ter rastrske analize (kartografska algebra) (Šumrada, 2005). Izbira primerne prostorske analize je odvisna tudi od organizacije geometričnih podatkov, ki je lahko vektorska ali rastrska. V raziskavi smo uporabili vektorske podatkovne sloje o preteklih požarih, vrednosti meteoroloških spremenljivk na vremenskih postajah, sestojne karte ter meritve dreves, gozdnih tal in pritalne vegetacije na ploskvah vzorčnih mrež. Edini rastrski sloj, uporabljen v raziskavi, je digitalni model višine (DMV). Prostorske analize smo zato izvajali z uporabo orodij za obdelavo vektorskih podatkov. Pri interpretaciji rezultatov prostorskih analiz smo upoštevali tudi kakovost vektorskih podatkov, s katerimi smo izvedli analizo.

Za prostorske podatke velja, da je kakovost podatkov celotnost značilnosti in lastnosti zbirke podatkov, ki se nanašajo na njeno sposobnost, da ustreza izraženemu ali vsebovanemu nizu zahtev. (Šumrada, 2005). Za ocenjevanje kakovosti prostorskih podatkov sta v Sloveniji veljavna standarda ISO 19113:2002 – kakovostna načela in ISO 19114:2003 – postopki za ocenjevanje kakovosti, ki opredeljujeta kakovostni model in osnovno metodologijo za določanje kakovosti. Kakovost podatkov opredeljujejo namen, poreklo in uporaba kot pregledni (kvalitativni) elementi ter kvantitativni elementi, ki so podatkovna popolnost, logična usklajenost, položajna natančnost, časovna natančnost in tematska natančnost. Dejansko oceno kakovosti določimo po dokončani izdelavi karte s primerjavo med terenskim pregledom ali drugim kakovostnejšim virom in s karte pridobljenimi podatki (Šumrada, 2005).

Od uporabljenih podatkov v raziskavi smo se osredotočili na sestojne karte, katere analizo kakovosti je naredil Šturm (2009) s primerjavo med zbranimi podatki in Pravilnikom (1998). Predstavili smo najpomembnejše zaključke, ki smo jih uporabili pri interpretaciji rezultatov prostorske analize. Njegovo analizo smo v času raziskave dopolnili še s primerjavo med sestojnimi kartami in stanjem na terenu.

V raziskavi smo najprej pregledali preteklo požarno aktivnost in lastnosti pogorelih površin z uporabo preprostih statističnih metod. Izhajali smo iz podatkov, ki se zbirajo na obrazcih Poročilo o požaru (priloga A). Za določitev področij največjega pojavljanja gozdnih požarov smo uporabili metodo jedrne gostote (Koutsias in sod., 2004; Asgary in Ghaffari, 2010).

Spoznali smo sistem CFFWIS, ki omogoča poustvarjanje preteklega požarnega vremena in napovedovanje dejanske požarne ogroženosti gozdov na podlagi vremenskih spremenljivk. Za izračun požarnega vremena smo uporabili enačbe, ki so jih predstavili v Van Wagner in Pickett (1985) ter Van Wagner (1987). Na podlagi podatkov sistema CFFWIS smo s percentilno metodo (Helfman in

sod., 1987; Andrews in sod., 2003) določili stopnje požarne ogroženosti in jih primerjali s preteklo požarno aktivnostjo. Za napovedovanje požarnega dneva na osnovi komponent CFFWIS smo uporabili logistično regresijo in klasifikacijsko drevo. Z logistično regresijo smo tudi določili komponento CFFWIS, ki ima največji vpliv na pojavljanje požarov. Stopnje požarne ogroženosti, ki smo jih izračunali na lokacijah vremenskih postaj, smo prikazali na zveznih ploskvah. Za izdelavo zveznih ploskev smo uporabili interpolacijsko metodo in naredili model, ki omogoča njihovo hitrejšo in avtomatizirano izdelavo.

Izdelali smo model pojavljanja požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev in lokacij preteklih gozdnih požarov. Uporabili smo preproste statistične metode ter statistični prostorski metodi najmanjših kvadratov in geografsko uteženo regresijo. Zanesljivost modela smo preverili s podatki o pretekli požarni aktivnosti v letih 2010 in 2011. Rezultate modela smo primerjali tudi z rastiščnogojitvenimi razredi na Kraškem GGO.

Za napovedovanje širjenja požarov potrebujemo model tipov goriv in njihov prostorski prikaz. Pregledali smo obstoječe modele tipov goriv in podatke za njihovo izdelavo. Primerjali smo jih s prostorskimi zbirkami podatkov o gozdovih v Sloveniji in izpostavili tiste parametre, ki nam omogočajo njihovo izdelavo. Poskusili smo narediti model tipov goriv za študijsko območje.

1.4.2 Cilji

Gozdni požari lahko povzročijo veliko socialno in ekonomsko škodo. V Sloveniji zaenkrat še nimajo takega vpliva kot v bolj suhih predelih sveta, vendar se njihov vpliv lahko hitro poveča s podnebnimi spremembami. Pri povečani požarni aktivnosti je pomembno natančno napovedovanje požarne ogroženosti. Predlagana tema doktorske disertacije bo raziskala pomen in soodvisnost različnih dejavnikov (rastišče, sestojne razmere, vremenske spremenljivke, način gospodarjenja) in stresnih dejavnikov (suša in ujme) na verjetnost pojavljanja in širjenja gozdnih požarov. Namen raziskave je:

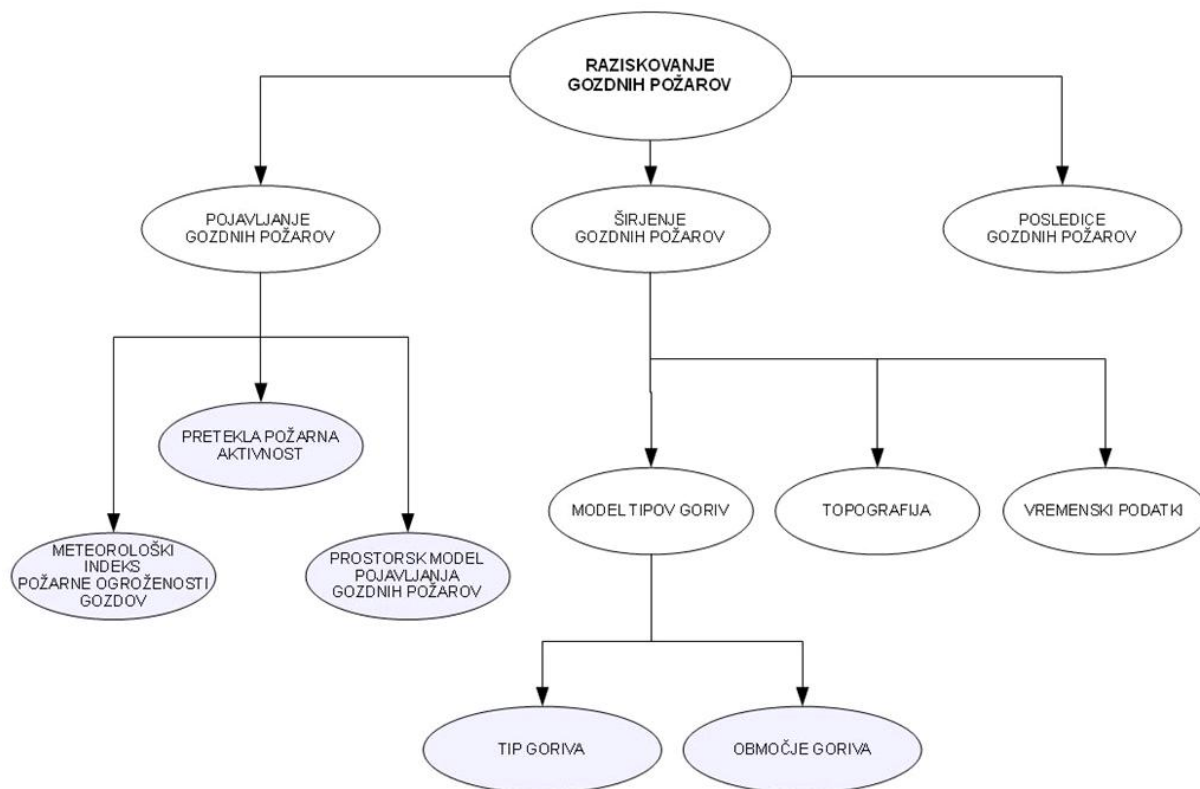
- določiti časovne in prostorske značilnosti pojavljanja gozdnih požarov,
- določiti glavne značilnosti gozdov, prizadetih v požarih,
- preveriti, ali obstajajo značilne statistične povezave med značilnostmi okolja, človekovo aktivnostjo in pojavljanjem gozdnih požarov,
- na študijskem območju preskusiti sistem CFFWIS,
- pokazati na vpliv gospodarjenja z gozdovi na zmanjševanje pojavljanja gozdnih požarov,
- pregledati metode napovedovanja širjenja požarov (vrste modelov, vhodni podatki),
- izdelati model tipov goriv za študijsko območje
- pokazati uporabnost tehnologije GIS za napovedovanje požarne ogroženosti.

Ugotovitve v raziskavi naj bi spodbudile:

- izvajanje ukrepov v okviru gospodarjenja z gozdovi, ki bi naredili gozdove manj dovzetne za požare,
- začetek uporabe sistemov za napovedovanje širjenja gozdnih požarov.

1.5 Struktura naloge

V disertaciji se ukvarjamo s požarno ogroženostjo. Raziskujemo odnose med požarno aktivnostjo in značilnostmi okolja. Glavni temi našega raziskovanja sta pojavljanje in širjenje gozdnih požarov (slika 1). Pojavljanje požarov v prostoru in času temelji na raziskavi pretekle požarne aktivnosti, vremenskih razmer ter značilnosti gozdov, ki so povezane tudi s širjenjem gozdnih požarov.



Slika 1: Struktura doktorske disertacije

Figure 1: Structure of a doctoral dissertation

V poglavju 2 so predstavljene glavne teme raziskav gozdnih požarov. Podrobneje smo predstavili pojavljanje in širjenje požarov. Navedli smo osnovne pogoje za nastanek in širjenje ognja. V podpoglavju pišemo o modeliranju in modelih, ki se uporabljajo v sistemih za upravljanje gozdnih požarov. Na koncu poglavja smo našli še vrste gozdnih požarov in njihove značilnosti.

Vrste in značilnosti gozdnih goriv smo predstavili v poglavju 3. Gozdna goriva se prikazujejo kot model tipov goriv, v katerem so na točno določen način zbrane različne fizikalne značilnosti vse žive in odmrle biomase na določenem območju. Pomemben del modela tipov goriv je tudi njegov prostorski prikaz, ki se ga izdeluje z različnimi metode kartiranja goriv.

V Poglavju 4 je narejen pregled dosedanjih raziskav na področju varstva gozdov pred požari. Predstavljeni so različni modeli in sistemi ter programska oprema za napovedovanje požarne ogroženosti v Sloveniji, Evropi in svetu. Sestavni del so tudi različni modeli tipov goriv, ki se uporabljajo v programih za simuliranje širjenja gozdnih požarov. Podrobno je opisan kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov in njegove značilnosti, ker smo ga uporabili kasneje v raziskavi.

Poglavje 5 je osrednje poglavje raziskave. Predstavljeno je študijsko območje in vrste podatkov, ki smo jih uporabili. Osredotočili smo se predvsem na podatke o gozdnih požarih in gozdnih sestojih. Narejena je tudi analiza kakovosti sestojnih kart, ki so temeljni podatek za izgradnjo modela pojavljanja gozdnih požarov. Poleg njih smo predstavili in uporabili še podatke o vremenskih spremenljivkah, ki se merijo na vremenskih postajah. Opisane so metode dela, ki smo jih uporabili v raziskavi. Med njimi so funkcija jedrne gostote, prostorska interpolacija in regresijsko modeliranje. Prav tako smo prikazali metode, s pomočjo katerih smo podatke pripravili za nadaljnjo obdelavo v analizah. Izpostavili smo izhodišča in parametre, ki jih potrebujemo za izdelavo modela tipov goriv.

V poglavju 6 so podani rezultati analiz in modelov. Rezultate smo prikazali po posameznih sklopih. Najprej smo analizirali preteklo požarno aktivnost in pokazali njene glavne značilnosti. Značilnosti

smo predstavili v času in prostoru. Kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov smo uporabili za izračun preteklega požarnega vremena. Ocenili smo njegovo uporabnost na študijskem območju in izpostavili glavne okoljske dejavnike, ki vplivajo na pojavljanje požarov. Tehnologijo GIS smo uporabili za prostorski prikaz stopenj požarne ogroženosti. Izdelali smo model pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Izpostavili smo njegove rezultate in prostorske statistične metode, ki smo jih uporabili. Podatke v gozdarskih podatkovnih zbirkah smo primerjali s parametri tipov goriv. Poiskali smo tiste podatke, ki so na Kraškem gozdnogospodarskem območju izmerjeni in tiste, ki niso, jih pa potrebujemo za izdelavo modela tipov goriv.

V poglavju 7 smo ovrednotili rezultate raziskave, izpostavili najpomembnejše ugotovitve in jih povezali z raziskovalnimi hipotezami. Značilnosti pretekle požarne aktivnosti na študijskem območju smo izpostavili najprej in poskušali razumeti naravo pojavljanja gozdnih požarov. Sledi ocena uporabnosti kanadskega meteorološkega indeksa požarne ogroženosti gozdov. Z uporabo prostorskih statističnih metod smo zgradili model pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev in pregledali njegove rezultate ter tudi metode, ki smo jih uporabili za njegovo izdelavo. Ugotovili smo, katere podatke imamo za modeliranje širjenja gozdnih požarov in kateri nam še manjkajo.

V poglavju 8 smo podali sklepe, do katerih smo prišli v raziskavi in usmeritve za nadaljnje delo na področju upravljanja z gozdnimi požari.

Glavni poudarki in ugotovitve raziskave so na kratko povzeti v poglavju 9.

V predzadnjem poglavju je seznam virov in literature, ki smo jo uporabili v raziskavi.

Zadnje poglavje sestavljajo obrazci za popisovanje požarov, gozdnih sestojev in stalnih vzorčnih ploskev, slika in programska koda modela z nastavitvami interpolacijske metode, klasifikacijsko drevo, seznam vremenskih postaj in gozdnih sestojev terenskega ogleda ter rezultati metode najmanjših kvadratov.

2 RAZISKOVANJE GOZDNIH POŽAROV

Začetki upravljanja z gozdnimi požari segajo v drugo polovico 19. stoletja (van Wagendonk, 2007; Colaco in Molina, 2010). V 20. stoletju so se hkrati z napredkom znanosti in tehnike s požari začeli ukvarjati veliko bolj intenzivno. Najprej samo zaradi zaščite pred požarom, kasneje pa so veliki in uničujoči požari povzročili ustanavljanje služb za upravljanje s požari, ki so začele z raziskovanji požarov in njihovih vplivov na ljudi in okolje (Pyne in sod., 1996). Raziskave so se ukvarjale z zgodovino gozdnih požarov, njihovim nastankom (kdo so povzročitelji), širjenjem, gašenjem in posledicami na ljudi in okolje, ki lahko ostanejo vidne tudi več desetletij (Pyne in sod., 1996). Dandanes obstajajo tri glavne teme raziskovanja gozdnih požarov (Bachmann, 2001):

- pojavljanje požarov,
- širjenje požarov,
- posledice požarov.

Cilj raziskovanja pojavljanja požarov je odgovoriti na vprašanja kje, kdaj in zakaj se začne požar. Ne ukvarja se samo s fizikalnimi predpogoji, ampak tudi s socialno ekonomskimi dejavniki, ki spodbujajo nastanek požarov, kot so požigi in človeška malomarnost. Raziskave širjenja požarov se ukvarjajo s fizikalnimi procesi izgorevanja in interakcijami med izgorevanjem in njegovim okoljem. Raziskave posledic požarov se ukvarjajo s primarnimi in sekundarnimi fizikalnimi in socialno ekonomskimi vplivi požarov na okolje (Bachmann, 2001).

2.1 Pojavljanje požarov

Gozdni požari se pojavljajo praktično vsepovsod po svetu. Pojavljanje požarov je odvisno od podnebnih razmer, oblike rastlinske združbe, oblike in lege pokrajine ter človeka (Pyne in sod. 1996; Pečenko, 2005; Bernard in Nimour, 2007). Klimatske razmere nam prikažejo potencialno požarno ogroženost določenega območja, trenutne vremenske razmere in razvojna stopnja rastlinstva pa nam nakažejo dejansko požarno ogroženost naravnega okolja. Vnetljivost in gorljivost materiala sta v tesni zvezi s količino vlage (vode) v rastlinstvu. Padavine pomagajo pri rasti rastlin in prinašajo vlago gorljivemu materialu v naravi. Sonce in veter oziroma nizka relativna vlaga in visoka temperatura zraka pa pomagajo pri izsuševanju materiala in rastlinstva. Na ta način se povečuje ali zmanjšuje vnetljivost in gorljivost materiala. Veter pa poleg sušenja materiala in rastlinstva pomaga tudi pri širjenju že nastalega požara (Pečenko, 2005). Medsebojne kombinacije med temi spremenljivkami vplivajo na številne vidike pojavljanja in tudi širjenja požarov.

Napovedovanje dejanske požarne ogroženosti temelji na meritvah vremenskih spremenljivk na vremenskih postajah (Wotton, 2009). Najpomembnejše vremenske spremenljivke, ki se uporabljajo za določitev verjetnosti pojavljanja požarov, so (Pyne in sod. 1996; USFS, 2011):

- temperatura zraka: osnovna vremenska spremenljivka, ki neposredno vpliva na druge vremenske spremenljivke, kot so vlaga, stabilnost ter hitrost in smer vetra. Razlike v temperaturi ustvarjajo razlike v gostoti zraka in zračnem tlaku in s tem povzročajo vodoravno in navpično gibanje zraka. Temperaturne razlike preko gibanja zraka vplivajo na prenos toplote in vlage,
- relativna vlažnost: ima neposreden vpliv na vnetljivosti goriv v gozdu in posredne učinke na širjenje požara. Suha goriva absorbirajo vodno paro iz vlažne atmosfere, vlažna goriva oddajajo vodo v suh zrak. Pri veliki nasičenosti zraka je majhna požarna ogroženost. Nenasičenost zraka omogoča izhlapevanje vode iz gozdnih goriv, povečuje njihovo vnetljivost in požarno ogroženost,
- padavine: količina in njihova sezonska porazdelitev nadzorujejo začetek, konec in intenzivnost požarnih sezon. Daljša obdobja s pomanjkanjem padavin omogočajo odlične pogoje za intenzivne požare s povečanjem razpoložljivosti odmrlih goriv. Padavine se pojavljajo v tekoči (dež, rosenje) in trdi obliki (žled, sneg in toča),
- veter: pospešuje sušenje goriv v gozdu in povečuje izgorevanje s povečanim dotokom kisika. Smer širjenja požara je večinoma določena s smerjo vetra.

Pogoji v naravnem okolju, ki omogočajo pojavljanje požarov, so odvisni od vremenskih razmer (požarno vreme), topografije in vegetacije (Rollings in sod., 2002). Ocene požarne ogroženosti in širjenja požarov so možne, ko se trenutne vremenske razmere poveže z informacijami o gorivih in topografijo. Vse ocene morajo temeljiti na preteklih in predvidenih vremenskih razmerah.

Prav tako potekajo raziskave gozdne vegetacije in vpliv njihovih značilnosti na pojavljanje gozdnih požarov (González in sod., 2006; González in sod., 2007a). Človek s svojimi dejanji ne more vplivati na vremenske razmere in topografijo, lahko pa vpliva na vegetacijo. Aktivno in preventivno gospodarjenje z gozdovi, ki je povezano z zmanjšanjem količine goriva v gozdu, lahko v veliki meri vpliva na zmanjšanje pojavljanja požarov (Agee in Skinner, 2005).

2.1.1 Lastnosti gorenja

Ogenj je naravni pojav, pri katerem oksidirajo organska snov ali lahke kovine. Za gorenje so potrebni trije osnovni pogoji (Pyne in sod., 1996; Muhič, 2004):

- gorivo (vegetacija): se nanaša na material, ki gori - fizikalne in kemične lastnosti goriva, gostota goriva, vsebnost vlage v gorivu,
- kisik: potreben je za vžig in gorenje. Na količino kisika vplivata razporeditev goriv v gozdu in veter, ki pospeši proces gorenja,
- toplota (energija vžiga): se nanaša na količino toplote, ki je potrebna za vžig, in količino toplote, ki je potrebna za ohranjanje gorenja.

Proces gorenja ponazarjamo s požarnim trikotnikom (slika 2) (Pyne in sod., 1996). Da bo gorivo zagorelo in gorelo, morajo biti hkrati izpolnjeni vsi trije pogoji požarnega trikotnika, pri tem pa je pomembno, da so zastopani tudi v pravem medsebojnem razmerju.



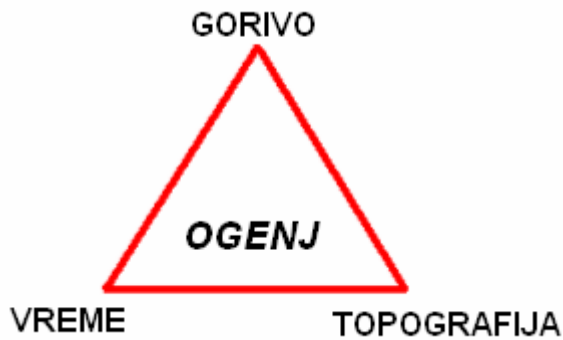
Slika 2: Požarni trikotnik (Pyne in sod., 1996)

Figure 2: Fire fundamentals triangle (Pyne et al., 1996)

Če enega od treh elementov požarnega trikotnika ni na voljo, potem se ogenj ne bo pojavil. Če pa v primeru požara enega od elementov odvzamemo, bo požar ugasnil. (Pyne in sod., 1996; Muhič, 2004). Ko pa so izpolnjeni vsi trije pogoji za nastanek ognja, se bo ta pojavil. Ogenj v svoji najpogostejši obliki lahko povzroči nenadzorovan izbruh oziroma požar. Požar predstavlja nenadzorovano širjenje ognja v prostoru. Širjenje požara v naravnem okolju poskušamo predvideti s pomočjo požarnega okolja.

2.1.2 Požarno okolje

Širjenje ognja je rezultat okolja, v katerem ogenj gori. Spremembe v širjenju požara v prostoru in času se spreminjajo v povezavi z okoljskimi elementi. Topografija, goriva, vremenske razmere in ogenj so soodvisni dejavniki, ki ustvarjajo požarno okolje. Ta se lahko predstavi kot trikotnik požarnega okolja (Pyne in sod., 1996), v središču katerega je ogenj (slika 3).



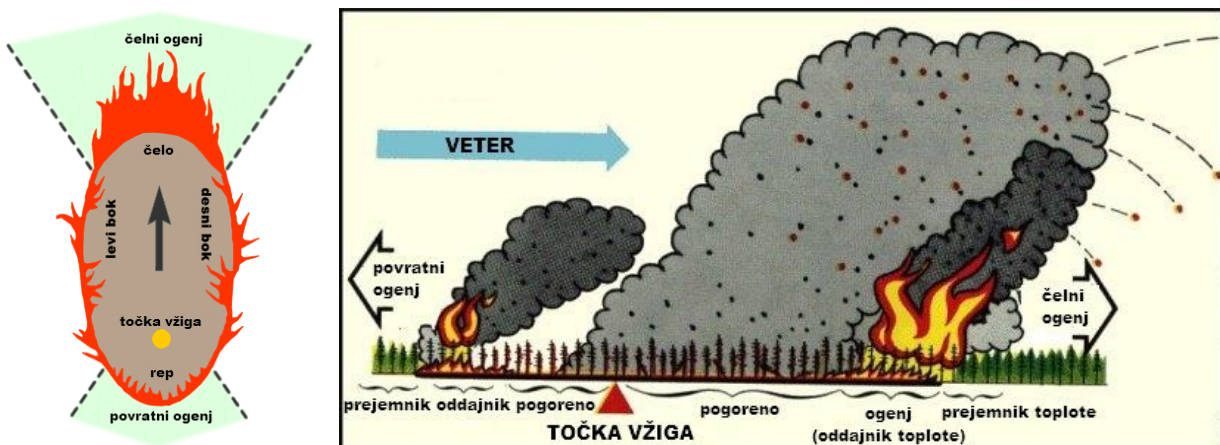
Slika 3: Trikotnik požarnega okolja (Pyne in sod., 1996)
Figure 3: Fire environment triangle (Pyne et al., 1996)

Trikotnik požarnega okolja prikazuje glavne dejavnike širjenja požara. Značilnosti in širjenje požara v vsakem trenutku določajo (Pyne in sod., 1996; Peterson in sod., 2005):

- **gorivo**: pomembne so lastnosti goriva (zmes žive in odmrle biomase, razporeditev in velikosti delcev goriva, vlažnost goriva) in lastnosti območij goriv (talna, površinska, goriva v krošnjah),
- **topografija (oblika terena)**: nadmorska višina vpliva na količino razpoložljivega goriva, nagib terena vpliva na dolžino plamena in hitrost širjenja požara, nagib in usmerjenost terena vplivata na količino sončnega obsevanja. Za severno poloblo velja, da so južne in jugozahodne usmerjenosti terena bolj podvržene pojavljanju in širjenju gozdnih požarov,
- **време**: temperatura, relativna vlaga in padavine vplivajo na vlažnost goriva, veter pa ima največji vpliv na širjenje požara, ter njihova interakcija z ognjem.

2.2 Širjenje požarov

Požar se v začetku širi v vse smeri. Na obliko vplivata predvsem oblika reliefa (naklon) in smer vetrov (Muhič, 2004). Če opredelimo pojme pri razvoju gozdnega požara, ima le ta točko vžiga. Od tu se širi v smeri širitve. Gledano v smeri širitve ima levi in desni bok požara, na koncu je rep požara in spredaj v smeri širitve je čelo požara (slika 4).



Slika 4: Deli požara (Jakša, 2006) in shematski prikaz širjenja gozdnega požara (CIPOP, 2011)
Figure 4: Forest fire parts (Jakša, 2006) and spreading (CIPOP, 2011)

Širjenje požara je povezano z vetrom, zračno vlago, količino in vlažnostjo goriva, distribucijo in vrsto goriva, nagibom in usmerjenostjo terena (Muhič, 2004). Veter suši gorljiv material in v veliki meri določa, v katero smer in s kolikšno hitrostjo se bo požar širil.

2.2.1 Modeliranje

Razumevanje širjenja požara je osnova za ustrezno ravnanje in sprejemanje odločitev za čimprejšnjo pogasitev požara in s tem zmanjšanje škode. V sistemih za upravljanje gozdnih požarov se v ta namen uporabljajo požarni modeli, da bi lažje razumeli, kako hitro in v katero smer se požar širi. Rezultati modela se lahko uporabijo za usposabljanje, načrtovanje strategije požarne varnosti ali načrtovanje gašenja požarov. Požarni modeli se pogosto omenjajo kot modeli širjenja požara, modeli vpliva požara in modeli dima (Arroyo in sod., 2008). Glede na način, kako so v modelih opredeljeni osnovni fizikalni procesi in mehanizmi in odvisnosti med posameznimi spremenljivkami, se požarni modeli delijo na (Bodrožič in sod., 2005):

- **empirične**: napovedujejo verjetnost širjenja požarov iz povprečnih pogojev (gorivo, vremenske spremenljivke, relief) in zbranega znanja, pridobljenega na testnih ali preteklih požarih. V uporabi sta dva empirična modela (avstralski in kanadski), ki sta predstavljena v poglavju 4;
- **polempirične**: temeljijo na predpostavki, da je energija prenesena na nezgorela goriva sorazmerna z energijo, ki jo sprošča izgorevanje goriva. Več parametrov modela mora biti prilagojenih glede na rezultate testnih požarov. Rothermel (1972) je določil izračune za hitrost širjenja in intenzitete požarov. Njegov model je osnova za veliko sistemov, kot so *Behave* za napovedovanje širjenja požara (Andrews, 1986), *Farstite* simulator površine požara (Finney, 2004) in *National Fire Management Analysis System (NFMAS)* (Lundgren, 1999) za gospodarsko načrtovanje;
- **fizikalne**: modeli upoštevajo različne načine prenosa toplote in plinov ter skušajo napovedati širjenje požara z uporabo osnovnih fizikalnih in matematičnih enačb za posamezne mehanizme prenosa toplote in snovi.

Požarni modeli še posebej koristijo upravljavcem, če so sestavni del sistemov za podporo odločanju (Andrews and Queen, 2001). *Behave (Fire behavior prediction and fuel modelling system)*; Andrews, 1986) in *Farsite (Fire area simulator)*; Finney, 2004) sta sistema za podporo odločanju, sestavljena iz skoraj enakih matematičnih modelov (hitrost širjenja, intenzivnost, vlažnost goriva, razdalja opazovanja). Uporabniki sistema *Behave* interaktivno zagotavljajo vhodne podatke za izdelavo tabel in grafov (Andrews, 1986). Uporabniki sistema *Farsite* pa zagotavljajo podatkovne sloje v geografskih informacijskih sistemih in podatke o vremenu za izdelavo kart širjenja ognja in njegove intenzivnosti (Finney, 2004). Modeliranje gozdnih požarov nam omogoča, da lahko vnaprej izdelamo načrt protipožarne zaščite in strategije izogibanja požarom. Različni sistemi za modeliranje požarov so na voljo (Bodrožič in sod., 2005) in le področje in namen uporabe določata, za kateri sistem se odločimo.

2.3 Posledice gozdnih požarov

Ogenj je eden od odločilnih ekoloških dejavnikov, ki je v nekaterih ekosistemih nujen za obnovo. Hkrati predstavlja motnjo v razvoju ekosistemov, a je kljub temu naravni pojav, ki je vedno prisoten. Požar pomembno vpliva na vegetacijo, živali, vodo in procese v tleh. Posledice gozdnih požarov so odvisne od širjenja požara, stanja ekosistema pred in po požaru ter drugih neodvisnih okoljskih vplivov. Razdelimo jih lahko na biološke, fizikalne in kemične spremembe. Učinki in posledice gozdnih požarov na glavne dejavnike ekosistema (prst, vegetacija, gozdne živali in zrak) niso predmet pričujoče raziskave, o njih lahko beremo v Pyne in sod. (1996), Bachmann (2001), Jakša (2006).

2.4 Vrste gozdnih požarov

V Sloveniji delimo gozdne požare glede na mesto gorenja na podtalne, talne, kompleksne (vršne, kronske), debelne in kombinirane požare. V praksi pa se pojavljajo še požarni preskoki in požarni viharji (Muhič, 2004). Opisi vrste požarov so prevzeti iz Muhič (2004) in Jakša (2006).

Podtalni požar

Podtalni požari se razvijajo v tleh, bogatih s humusom, opadom in mrtvim delom koreninskih sistemov rastlin. To so predvsem gozdovi, v katerih je razgradnja opada počasna. Gorijo podzemni deli rastlin in goriva v globljih delih tal. Ponavadi so podtalni požari nadaljevanje po gašenju talnih ali vršnih požarov. Lahko so tudi posledica udara strele. Težko jih je odkriti in pogasiti. Širijo se pod površjem

in prikrito lahko tlijo v tleh nekaj dni, nato se kot talni požar pojavi nekaj deset metrov od mesta nastanka. Najhitreje se širijo po podzemnih rovih živali in po odmrlih koreninah dreves. Za učinkovito pogasitev je potrebno gozdna tla prekopati in dodobra zaliti z vodo. Škode so lahko tudi velike, saj uničuje koreninske sisteme.

Talni požar

Nastane in se širi po tleh, predvsem po travinju, listju, mahovih in odpadlem materialu na tleh. Goriyo tudi pritalno rastje, grmovnice in humusni sloj. Smeti v gozdu lahko dodatno pospešijo gorenje v pritalnem požaru. Največkrat je povzročitelj človek ali dejavnosti, povezane z njim. Talne požare lahko povzroči tudi iskrenje električnih vodnikov in odletavanje razžarjenih delov zavornih oblog pri vlakovnih kompozicijah. Talne požare lahko kontroliramo in spremljamo. Škode so ponavadi majhne.

Vršni oziroma kompleksni požar

To so požari v krošnjah dreves. Vršne požare v večini primerov povzročajo talni požari ali udar strele. Gori ves nadzemni del goriv v gozdu, vključno s krošnjami in debli. Najpogosteje se pojavljajo v poletnem času oziroma v zimskem času pri zelo močni burji. V poletnem času je v krošnjah dreves prisotno veliko eteričnih olj. Koncentracija hlapov eteričnih olj, ki je povečana v krošnji, omogoča zelo hiter preskok ognja s tal v krošnjo. Vršni požari predstavljajo veliko nevarnost tudi za gasilce. Povzročajo velike škode in opustošenje gozda.

Debelni požar

Kjer so krošnje visoko nad tlemi, se predvsem pri iglavcih dogaja, da goriyo debela, krošnje pa ne. Debla ne zgorijo. To je vmesna oblika požara med talnim in vršnim. Lahko pa gori zgolj eno deblo, ki se je ožgalo zaradi udara strele. V teh primerih deblo pogori. Debelni požar se zelo lahko razširi v talni ali pa celo vršni požar. Škode so nekoliko večje kot pri talnem požaru.

3 GOZDNA GORIVA

Gozdna goriva so opredeljena glede na fizikalne značilnosti (npr. količina, globina, višina in gostota) vse žive in odmrle biomase, ki prispevajo k širjenju, intenzivnosti in obsegu gozdnih požarov (Burgan in sod., 1998; Andrews in Queen, 2001). Programi, ki simulirajo širjenje požara, zahtevajo kot vhodni podatek natančne karte tipov goriv. Med najpomembnejše naloge v sistemih za upravljanje goriv in požarov sodi izdelava prostorskih modelov, prostorskih podatkov o lastnostih goriv (Chuvieco in sod., 2004). Dosledno in znanstveno določen sistem klasifikacije goriv je potreben za kartiranje goriv, oceno obravnavanja goriv, oceno požarne ogroženosti in opazovanje posledic požarov. Območja goriv so strukturno zapletena, se med seboj močno razlikujejo po svojih fizičnih lastnostih in glede na njihov vpliv na širjenje požarov, kakor tudi možnosti za nadzor in kontrolo požarov. Te skrajne variacije v značilnostih območij goriv so odraz ekoloških procesov skozi čas, naravnih ekstremnih dogodkov in človekove aktivnosti. Potrebujemo torej urejen način razvrščanja goriv in lastnosti območij goriv iz omejenega števila opazovanj (Sandberg in sod., 2001).

Lastnosti goriv, pomembnih za oceno požarne ogroženosti, in študije širjenja požarov, temeljijo na sistemu razvrščanja, ki združuje skupne značilnosti vegetacije, ker je težko opisati vse fizikalne lastnosti za vsa goriva na določenem območju. Te skupine se navadno imenujejo tipi goriv (Pyne in sod., 1996). Tip goriva je definiran kot "razpoznavna asociacija kurilnih elementov posebnih zvrsti, oblik, velikosti, porazdelitve in kontinuitete, ki kažejo značilno požarno širjenje ob definiranih pogojih vžiganja" (Merrill in Alexander, 1987). Lastnosti goriv se pogosto močno razlikujejo po regijah. Popisovanje vseh značilnosti območij goriv vsakič, ko potrebujemo podatke o širjenju požara ali presojo vplivov, bi bilo pretežno in prezahtevno (Sandberg in sod., 2001). V zadnjih tridesetih letih so bili narejeni poskusi razvoja sistemov za izdelavo in razvrstitev območij goriv glede na količino in druge značilnosti. Ti sistemi vključujejo izvirne in standardne modele obnašanja goriv v požarih (Scott in Burgan, 2005). Mnogi od teh modelov so bili izdelani za točno določene programske pakete ali kot vhodni podatki za napovedovanje širjenja požarov in njegove vplive. Zato vsebujejo parametre, ki jih zahteva določen program ali model.

3.1 Spremembe goriv skozi čas

Goriva se lahko opisujejo iz vidika vrste in stanja goriva. Z vrsto goriva se opiše samo gorivo, medtem ko je stanje goriva odvisno od okoljskih pogojev in povezano z vsebnostjo vlage. Gorivo v naravi ni statično in se spreminja skozi čas, od urnih sprememb vsebnosti vlage v odmrlih iglicah, do neprekinjenih sprememb, ki se pokažejo skozi desetletja. Spremembe goriva se lahko zgodijo z (Pyne in sod., 1996):

- motnjami tako človeškimi kot naravnimi (sečnja, izgradnja infrastrukture, vremenske ujme, požari, bolezni, škodljivci),
- vremenom, ki vključuje vsakodnevne spremembe v temperaturi in vlagi in spremembe letnih časov,
- biološkimi in/ali fiziološkimi cikli, kot so ozelenitev, staranje, odpadanje listja in razkroj.

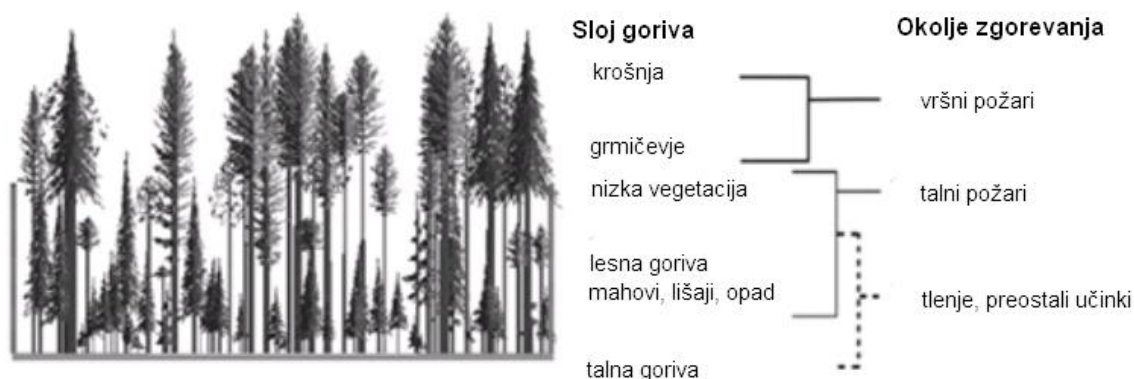
Spremembe goriva v času lahko razvrstimo na pet stopenj (Pyne in sod., 1996):

- nenadne: sečnja, veter, požar, zmrzal,
- dnevne: vsebnost vlage v gorivu se spreminja čez dan glede na spremembe temperature, relativne vlage, sončnega obsevanja,
- sezonske: fenologija, odpadanje listja,
- letne: rast in razkroj vegetacije iz leta v leto,
- dolgoročne: gorivo se spreminja v dolgih obdobjih (desetletnih, stoletnih), ko se spremeni vegetacija (zaraščanje, goloseki).

3.2 Vrste goriv

Opisovanje lastnosti goriv je potrebno začeti s tistimi fizičnimi lastnostmi, ki vplivajo na način gorenja materiala. Te lastnosti so količina, oblika, strnjenost in razporeditev goriv. Povezane so z načinom rasti vegetacije in jih tradicionalno razvrščano na naslednje tri vrste (Pyne in sod., 1996):

- goriva v krošnjah (zračna goriva): živ in odmrli material v drevesnih krošnjah,
- površinska goriva: trava, grmičevje, opad in odmrli lesna masa v stiku s tlemi,
- talna goriva: organski horizonti tal, korenine in gnijoči lesni ostanki v gozdnih tleh (slika 5).



Slika 5: Vrste goriv in požarnih okolij (Peterson in sod., 2005)

Figure 5: Fuelbed strata and combustion environments (Peterson et al., 2005)

Glede na vrsto požarov, ki jih želimo modelirati (talni in/ali vršni), goriva lahko razvrstimo na dve glavni skupini. Modeliranje talnih požarov se ukvarja večinoma z gorivi, ki so v stiku z gozdnimi tlemi (površinska in talna goriva), medtem ko za analize vršnih požarov potrebujemo podatke o drevesnih krošnjah. Ker so programi za simuliranje širjenja talnih požarov med najbolj razširjenimi in največkrat testiranimi, je največ pozornosti namenjeno gorivom, ki so v stiku s tlemi.

Gorivo je ves živ in odmrli rastlinski material, ki se lahko vžge z ognjem. Lastnosti goriv močno vplivajo na širjenje požarov in s tem na vpliv požarov na ekosisteme. Požari se razlikujejo glede na vrsto goriva, ki gori (npr. živa/odmrli goriva, površinska/talna/zračna goriva), skupno količino goriva, ki zgore, in stopnjo intenzivnosti, pri kateri ta goriva gorijo. Te značilnosti goriva določajo najvišjo doseženo temperaturo, trajanje toplote in stratifikacijo toplote nad in pod površino gozdnih tal. Značilnosti in lastnosti goriv, ki vplivajo na širjenje požarov, lahko strnemo v naslednje točke (USFS, 2011):

- kategorije goriv opredeljujejo talna, površinska in zračna goriva in pojasnjujejo dejavnike, ki vplivajo na razpoložljivost vsake vrste goriva;
- fizične lastnosti goriva pojasnjujejo, kako velikost, oblika, količina in razporeditev goriv vplivajo na gorenje in širjenje požara;
- kemijske lastnosti goriva opisujejo, kako kemijska sestava goriv vpliva na njihovo toplotno porazdelitev in vnetljivost;
- vlačnost goriva pojasnjuje, kako vlaga določa razpoložljivost goriva, kaj določa vlažnost goriva in razrede časovnega zamika goriva;
- razpoložljivost in poraba goriva pojasnjuje, kateri dejavniki vplivajo na razpoložljivosti živih in odmrlih goriv;
- vnetljivost rastlin obravnava vrstno specifične dejavnike, ki nadzorujejo vnetljivosti živih rastlin.

3.2.1 Fizične lastnosti goriv

Osnovne fizične lastnosti goriv, ki vplivajo na gorenje in širjenje požara, so velikost, oblika, količina in njihova razporeditev v prostoru. Opis njihovih lastnosti v nadaljevanju je povzet po USFS (2011) razen, če ni drugače navedeno.

Velikost delcev je ena od najpomembnejših lastnosti goriva, ki vpliva na vžig in širjenje požara. Veliki delci zahtevajo več toplote za vžig in gorenje. Manjši delci zahtevajo manjšo količino toplotne energije za vžig in gorenje. Pri odmrlih gorivih je velikost delcev povezana tudi s hitrostjo, s katero se spremeni vsebnost vlage v gorivu, zato so velikostni razredi goriv opredeljeni kot razredi časovnega zamika. Goriva v različnih razredih časovnega zamika gorijo drugače (Pyne in sod., 1996): 1-urna goriva (borov opad, listje) se vnamejo hitro in zgorijo hitro. Večji delci (10-, 100- in 1000-urna

goriva) potrebujejo več toplote za vžig in gorenje. Požari se običajno začnejo in širijo na odmrlih drobnih gorivih (<0,6 cm v premeru), ki vžgejo goriva v vedno višjih velikostnih razredih. Če se količina drobnega goriva zmanjša ali ga celo ni, se lahko ogenj ne vžge ali požar ne širi.

Oblika goriva (razmerje med površino in volumnom) je povezana z velikostjo delcev. Bolj droben je material, višje je razmerje med površino in volumnom. Specifična površina goriva se meri v cm^2/m^3 . Goriva z visoko specifično površino (borov opad, listje) zahtevajo manj segrevanja za vžig. Večja specifična površina teh goriv zagotavlja več površine za oksidacijo in gorenje. Drobna goriva se izsušijo in prižgejo hitreje kot groba goriva. Goriva z nizko specifično površino (razpadajoč les in druga 1000-urna goriva) se težje vžgejo in gorijo počasi.

Količina goriva je količina živega in odmrlega goriva, izražena z maso na enoto površine (kg/m^2). Celotna količina goriva je vse gorivo, živa in odmrta biomasa, ki se nahaja na določenem mestu. Razpoložljivo gorivo je količina goriva, ki bo zgorela v določenih požarnih razmerah. Količine goriva so običajno razvrščene po velikosti delcev (razredi časovnega zamika).

Razporeditev goriva je pomembna fizična lastnost goriva iz vidika gostote in položaja goriva. Razmerje gostote je merilo za stisnjenost območja goriva. Izražena je v odstotkih kot razmerje med prostornino goriva in prostornino praznega prostora v območju goriva. Gosta goriva preprečujejo izhlapevanje vlage in dovod kisika v območje goriva in s tem preprečujejo vžig in gorenje. Nasprotno, ohlapna goriva omogočajo hitro izparevanje in dotok kisika in s tem hiter vžig in gorenje s plamenom. Vendar lahko tista goriva, ki so zelo ohlapna, gorijo počasi, ker se med razmaknjenimi delci prenese malo toplote. Za vsako velikost delcev goriva obstaja optimalno razmerje gostote, kjer prenos toplote in kisik omogočata najbolj učinkovito gorenje. Gostota goriva je merilo, ki se izračuna kot količina goriva na enoto površine, ki se deli z višino območja goriva in se izrazi kot g/cm^3 . Višina območja goriva je razdalja od gozdnih tal do vrha sloja površinskih goriv. Na splošno velja, da višja gostota goriva pomeni hitrejše širjenje.

Položaj in neprekinjenost goriva opisuje vodoravno in navpično razporeditev goriva. Goriva, ki se nahajajo v coni ognja, so na voljo za gorenje medtem, ko ostala goriva niso na voljo. Goriva z vodoravno in/ali navpično sklenjenostjo segrevajo sosednja goriva. Nasprotno pa goriva, ki niso sklenjena, ne prenašajo toplote na sosednja goriva. Vodoravna sklenjenost je pomemben dejavnik za talne požare: območja brez ali z redko vegetacijo delujejo protipožarno. Pri vršnih požarih navpično nepretrgana goriva olajšajo vžig krošnje, vodoravna sklenjenost pa ohranja vršni požar.

3.2.2 Kemijske lastnosti goriva

Kemijske lastnosti goriva vplivajo na njihov toplotni efekt in vrste emisij, ki se sprostijo v primeru požara. Gozdna goriva so sestavljena iz živih rastlin in odmrlih delov rastlin, ki jih sestavljajo (USFS, 2011):

- celuloza (35 do 55 %),
- hemiceluloza (15 do 25 %),
- fenoli kot sta lignin in tanin (15 do 30 %),
- ekstrakti: sestavljeni so iz organskih spojin kot so sladkorji, smole, alkoholi, ogljikovodiki in maščobne kisline (od 2 do 45 % v listju),
- mineralni pepel.

Relativno razmerje teh spojin lahko vpliva na vžig goriva, njegovo gorenje in ugasnitev preko vnetljivosti delcev.

3.2.3 Vlažnost goriva

Vlažnost goriva spada med najpomembnejše lastnosti goriva, ki vplivajo na širjenje požara. Določa, koliko goriva je na voljo za gorenje in koliko se ga lahko porabi (Miller, 1994). Vlaga vsrka toploto, ki se sprosti pri gorenju, zato je na voljo manj toplote za segrevanje delcev goriva za vžig. Vsebnost

vlage v živih in odmrlih gorivih lahko upočasnijo, ustavi ali prispeva k širjenju požara. Dejavniki, ki uravnavajo količino vlage v gorivih, se razlikujejo med živimi in odmrli gorivi. Primarni dejavniki vsebnosti vlage v živih gorivih so notranji dejavniki, ki uravnavajo dnevne in sezonske spremembe, podnebje, dejavniki lokacije, ki vplivajo na območje goriva, filogenetske razlike med vrstami (iglavci/listavci) in razlike med rastlinskimi tkivi (listi/stebela). Vsebnost vlage v odmrlih gorivih je odvisna od velikosti delcev, kratkoročnih in dolgoročnih vremenskih sprememb, topografije, stopnje razkroja in sestave goriva.

Vlažnost goriva je osnovna spremenljivka v vseh požarnih modelih za napovedovanje širjenja požarov ter vpliva na vžig, gorenje, količino razpoložljivega goriva, posledice požarov in nastajanje dima. Ocena vlažnosti goriva je zato pomembna pri oceni požarne ogroženosti.

3.2.4 Razpoložljivost in poraba goriva

Pogosto skupna količina goriva ni enaka količini razpoložljivega goriva, ki je na voljo za gorenje. Razpoložljivost goriva je odvisna od (USFS, 2011):

- vsebnosti vlage,
- položaja goriva (gozdna tla, podrast, krošnja),
- fizičnih lastnosti goriva (kontinuiteta, kompaktnost),
- kemijskih lastnosti goriva (hlapne spojine).

Na splošno so odmrli goriva najbolj pomemben vir razpoložljivih goriv.

3.2.4.1 Poraba odmrlega goriva

Odmrli goriva zajemajo prevladujoči del razpoložljive količine goriva, ki je na voljo za gorenje (USFS, 2011). Imajo nizko vsebnost vlage, so v bližini gorečih in tlečih območij, delci so manjše velikosti, vsebnosti kemikalij so spremenjene v primerjavi z živimi gorivi. Odmrli goriva lahko razdelimo na več kategorij, in sicer (USFS, 2011):

- odmrli stoječa neolesenela vegetacija (trajnice),
- odmrli lesna goriva,
- opad,
- delno razkrojeni rastlinski ostanki in humificirana organska snov,
- odmrli stoječa drevesa (sušice),
- štori (panji).

Naslednji opis je povzet po USFS (2011). Odmrli stoječa neolesenela vegetacija je pomemben vir drobnega odmrlega goriva. V manjših količinah se pojavlja kot odmrli trava. Vlažnost goriva v stoječih odmrlih gorivih je odvisna od kratkoročnih in dolgoročnih vremenskih sprememb, topografiji in gostoti goriva. Odmrli lesna goriva so razdeljena v štiri širše kategorije na podlagi velikosti delcev goriva in s tem povezanim časom sušenja. Vlažnost odmrlega goriva je odvisna od velikosti teh delcev, kratko in dolgoročnih vremenskih sprememb, topografiji, stopnji razkroja in sestave goriva. Sloj opada je tretji vir odmrlih goriv, ki so na voljo za gorenje. Opad je organski podhorizont (horizont O_l), ki ga sestavljajo rastlinski opad (listje, iglice, vejice in drugi rastlinski ostanki (Urbančič in Simončič, 2005). Horizont O_l vsebuje predvsem goriva, ki se hitro sušijo in popolnoma zgorijo z visoko kratkotrajno intenzivnostjo, razen pri povišani vlažnosti goriva. Pod slojem opada sta v mnogih sestojih, ki jih ni prizadel požar, dobro razvita horizonta, ki sta sestavljena iz delno razkrojjenih rastlinskih ostankov, katerih poreklo se še razloči (horizont O_f) in iz humificirane organske snovi (horizont O_h) (Urbančič in Simončič, 2005).

Zaradi procesa razgradnje in sence, ki jo povzroča opad, ter večje gostote, horizont O_f pogosto zadržuje vlago in se upira gorenju, razen pri podtalnih požarih. Podobno ima tudi horizont O_h pogosto večjo vsebnost vlage od plasti nad njim, razen kadar se vrši njegovo sušenje preko mineralnih tal pod njim. Organska plast (horizonta O_f in O_h), ko je dovolj suha, lahko tli nekaj ur ali dni po vžigu. Tlenje organske plasti uničuje drevesa in korenine, ob optimalnih pogojih pa lahko znova nastane talni požar.

Odmrta stoječa drevesa prav tako predstavljajo odmrlo gorivo, ki je na voljo za gorenje. Lahko se vžgejo pri talnih požarih in še dolgo po končanem požaru gorijo ali tlijo. Ko goreča sušica pade na gozdna tla, lahko ponovno vžge goriva na gozdnih tleh. Štori se prav tako lahko vžgejo, kadar imajo nizko vsebnost vlage. Lahko tlijo nad in pod zemljo, vžgejo odmrle korenine in povečujejo nevarnost ponovnega vžiga.

Razredi časovnega zamika za odmrta lesna goriva

Odmrta goriva so razvrščena v razrede glede na premer goriva po načelu časovnega zamika (Pyne in sod., 1996). Princip temelji na dejstvu, da je delež delcev goriva, ki je izpostavljen vremenu, povezan z njihovo velikostjo. Čas, ki je potreben, da gorivo doseže 2/3 razlike med začetno vsebnostjo vlažnosti goriva in ravnovesno vsebnostjo vlažnosti, se imenuje časovni zamik. O ravnovesni vlažnosti govorimo takrat, ko je vlažnost goriva v ravnovesju z vlažnostjo zraka. Kategorije vrst goriva so poimenovane po srednji vrednosti odzivnega časa, ki je potreben, da začetna vlažnost goriva doseže 2/3 ravnovesne vlažnosti (Pyne in sod., 1996): 1-urna goriva se odzovejo v manj kot 2 urah, 10-urna goriva se odzivajo v 2 do 20 urah, 100-urna goriva se odzovejo v 20 do 200 urah in 1000-urna goriva se odzovejo v več kot 200 urah. Goriva majhnih premerov se lahko hitro spreminjajo glede na vremenske spremembe medtem, ko se goriva večjih premerov odzivajo počasneje. V nadaljevanju so predstavljena tipična goriva glede na razred časovnega zamika (USFS, 2011).

1-urni časovni zamik goriv (premer < 0,625cm)

Enourna goriva so najbolj pomembna za širjenje talnih požarov. Njihova vsebnost vlage določa širjenje ognja. Enourna goriva so odpadle iglice in listje, trava, lišaji in majhne vejice. Odzivni časi se razlikujejo glede na vrsto goriva. Lišaji, trave in suhe iglice se odzivajo na spremembe hitreje kot na novo odpadle iglice in listje. Zaradi visokega razmerja med površino in volumnom, nizke vsebnosti vlage in lokacije v coni izgorevanja proizvajajo malo dima in imajo nizek plamen s kratkim časom gorenja. Enourna goriva se porabijo pri gorenju in tlenju in se pri večini požarov porabijo v celoti.

10-urni časovni zamik goriv (0,625 < premer < 2,5 cm)

Tipična 10-urna goriva so majhne veje in lesna stebela. Zaradi njihove odpornosti na sušenje in večje toplotne kapacitete 10-urna goriva v talnih požarih nizke intenzitete pogosto ne gorijo. Ko je vlažnost nizka, pa lahko 10-urna goriva prenašajo požare in pomagajo vžigati večja (100- in 1000-urna) goriva. Pri nizki vlažnosti 10-urnih goriv, so ta takoj na voljo za gorenje.

100-urni časovni zamik goriv (2,5 cm < premer < 7,6 cm)

Večji lesni ostanki na gozdnih tleh so tipična 100-urna gozdna goriva. Ta goriva se sušijo dlje in preprečujejo svoje vžiganje pod najrazličnejšimi pogoji. Prav tako se vsebnost vlage v 100-urnih gorivih viša počasi tako, da lahko kljub nedavnim padavinam zagorijo po dolgotrajni suši. Ko se 100-urna goriva vžgejo, lahko gorijo več ur kot kombinacija gorenja in tlenja. Razkroj 100-urnih goriv lahko spremeni njihov odziv na gorenje tako, da lažje gorijo, kot pa nerazkrojena goriva.

1000-urni časovni zamik goriv (premer > 7,6 cm)

Ta goriva, ki vključujejo velike veje, hlude in šture na gozdnih tleh, gorijo le po daljšem sušnem obdobju ali, ko so dovolj segreti od drugih sosednjih goriv. Ker ne gorijo pogosto, lahko 1000-urna goriva delujejo tudi kot protipožarne preseke. Ko 1000-urna goriva gorijo, je to običajno tlenje, ki lahko traja več dni po vžigu in vplivajo na povečano požarno ogroženost.

Sistem razvrščanja

Delci goriva so razdeljeni glede na velikosti in njihovo stanje (živi ali odmrli), zato lahko govorimo o omejitvah za opis njihovih lastnosti. Lesna goriva so razvrščena po velikosti in globini organskih plasti. Velikostni razredi so narejeni glede na časovni zamik vlage, ki je opredeljen kot čas, potreben, da začetna vlažnost gorivo doseže 2/3 ravnovesnega stanja vlažnosti. O ravnovesnem stanju vlažnosti govorimo takrat, ko je vlažnost goriva v ravnovesju z relativno vlažnostjo zraka (preglednica 1).

Preglednica 1: Povezava med časovnim zamikom, velikostjo goriva in globino gozdnih tal (Deeming in sod., 1977)

Table 1: Correspondence between timelag, fuel size and duff depth (Deeming et al., 1977)

Razredi časovnega zamika (ura)	Razredi lesnega goriva (cm)	Globina gozdnih tal (cm)
1	0-0,6	0-0,6
10	0,6-2,5	0,6-1,9
100	2,5-7,6	1,9-10,2
1000	>7,6	>10,2

3.2.4.2 Poraba živega goriva

Živo gorivo se razlikuje od odmrlega predvsem v visoki in stabilni vsebnosti vlage, višini nad tlemi in zaščitni strukturi (USFS, 2011). Primarni dejavniki vsebnosti vlage v živih gorivih so notranji dejavniki, ki uravnavajo dnevne in sezonske spremembe, podnebje, dejavniki, ki vplivajo na okolje goriva, filogenetske razlike med vrstami (iglavci/listavci) in razlike med rastlinskimi tkivi (listi/stebila) (USFS, 2011). Živa goriva je mogoče razdeliti na liste, stebila, veje, iglice, storže, cvetove in korenine. Najbolj pomembni za gorenje so listi, majhna lesna goriva (vejice in veje) in korenine. Listi imajo veliko razmerje med površino in volumnom, nižjo vsebnost vlage in pogosto zgorijo v talnih požarih. Mnogi listi vsebujejo hlapne sestavine, ki krepijo vnetljivosti in tako ohranjajo talne požare. Majhna lesna goriva lahko zgorijo, če se nahajajo na gozdnih tleh ali na grmičevju. Korenine majhnih premerov zgorijo v talnih požarih.

3.2.5 Vnetljivost rastlin

Vnetljivost opisuje, kako hitro se bo rastlina vžgala in ohranila plamen, kako hitro bo zgorela in koliko je bo zgorelo v procesu gorenja (Anderson, 1970; Martin in sod., 1994; cit. po Guijarro in sod., 2002). Vnetljivost je koristna za primerjavo med vrstami. Vrsto specifične kemijske in strukturne značilnosti se razlikujejo na ravni delcev rastlin in celotnih rastlin ter vplivajo na celotno vnetljivost. Lastnosti rastlin, ki imajo največji vpliv na vnetljivosti, naj bi bile količina listja in drobnega goriva na rastlini in vsebnost vlage v teh gorivih (Etlinger, 2000). Vendar pa so lahko rastline z visoko koncentracijo lahkih organskih spojin lahko vnetljive tudi pri visoki vsebnosti vlage. Na vnetljivost rastline vplivajo tudi zunanji faktorji, kot so vreme, podnebje in lokacija.

Goriva v gozdu glede na vnetljivost in hitrost gorenja delimo na (Jakša, 2006):

- lahko vnetljiva in hitro goreča goriva, kot so opad, suha trava, grmičevje in nizka drevesa;
- težje vnetljiva in počasi goreča goriva, kot so panji, debele veje, hlodi in ostali debelejši lesni ostanki na tleh, debela in vlažna humusna plast, drevje nad 10 cm prsnega premera.

3.3 Parametri modela tipov goriv

Goriva podajajo stanje vegetacije, ki je predstavljena s podatki o količini, obliki, strnjenosti in razporeditvi žive ter odmrle biomase na določenem območju (območje goriva) (Arroyo in sod., 2008). Izdelava modela tipov goriv sestoji iz terenskega dela, izračuna parametrov in določitve območij goriv. Posamezen tip goriva znotraj modela vsebuje naslednje parametre (Rothermel, 1972; Harvey in sod., 1997; Scott in Burgan, 2005; Fernandes, 2009):

a) lastnosti delcev goriv:

1. kurilna vrednost goriva – količina toplote, ki se sprosti med izgorevanjem (kJ/kg),
2. vsebnost mineralnih snovi (%),
3. gostota delcev goriva (kg/m³),

b) razporeditev goriv:

1. količina goriva (t/ha):

- za odmrlo lesno biomaso: glede na razrede časovnega zamika 1-h, 10-h 100-h, 1000-h,
- za živo biomaso: za zelnato vegetacijo in grmičevje,

2. oblika goriva (m^{-1}) za odmrlo lesno biomaso za razred časovnega zamika 1-h ter za zelnato vegetacijo in grmičevje,
 3. globina goriva (cm),
- c) parametri povezani z okoljem:
1. hitrost vetra (m/s) ali faktor prilagoditve hitrosti vetra,
 2. vsebnost vlage v živem in odmrlem gorivu (%),
 3. naklon reliefa (°)

Od naštetih parametrov je nekatere od njih potrebno izmeriti na terenu in jih dodatno obdelati v laboratoriju (sušenje, tehtanje), druge izračunamo iz izmerjenih parametrov, tretje pa lahko povzamemo iz literature.

Glede na tip požara, ki ga želimo modelirati, obstajajo različni modeli tipov goriv z različnimi parametri. Za modeliranje talnih požarov potrebujemo podatke o odmrlem in živem lesnem gorivu. Za modeliranje vršnih požarov poleg teh potrebujemo tudi podatke o drevesih. Podatki, ki jih je potrebno izmeriti na terenu, so (Harvey in sod., 1997):

- a) odmrlo lesno gorivo: globina (cm) in količina po razredih časovnega zamika: 1-h, 10-h, 100-h, 1000-h,
- b) neolesenela vegetacija: količina v razredu časovnega zamika 1-h, višina (cm) in pokrovnost glavnih vrst (%),
- c) opad (iglice, storži, lubje, listje): količina po razredih časovnega zamika 1-h, 10-h, višina (cm) in pokrovnost (%),
- d) grmičevje: količina za razred časovnega zamika 1-h, višina (cm) in pokrovnost glavnih vrst (%),
- e) nadstojna in podstojna drevesa: premer drevesa (cm), višina (m), temeljna višina krošnje (m), zastornost krošenj (%),
- f) sušice: premer drevesa (cm), višina (m), stopnjo razkrojenosti.

Odvzete vzorce se najprej razdeli na vrsto in velikost goriva. S tehtanjem se določi njihova teža v mokrem stanju. Po fazi sušenja se s ponovnim tehtanjem določi njihova teža še v suhem stanju. Na ta način se določi vsebnost vlage v gorivu.

Obliko goriva po posameznih razredih lahko izmerimo ali pa izračunamo. Izračunamo jo s preprosto formulo (Burgan in Rothermel, 1984):

- ploščati delci (listje): razmerje med površino in prostornino = $2/\text{debelina delcev}$,
- okroglasti delci (trava, iglice, vejice): razmerje med površino in prostornino = $4/\text{premer delcev}$.

Hitrost vetra lahko prevzamemo iz literature ali pa izračunamo faktor prilagoditve hitrosti vetra po formulah iz Finney (2004).

Obstaja več sistemov klasifikacije goriv, ki se uporabljajo v različnih požarnih modelih. Vsak model goriv vsebuje le tiste značilnosti, ki jih zahteva uporabljen požarni model in so bile v ta namen tudi razvite. Za kartiranje gozdnih goriv je izbira primerne sistema klasifikacije nujno potrebna (Arroyo in sod., 2008). Goriva so strukturno zapletena in se močno razlikujejo v svojih fizikalnih lastnostih, obnašanju in vplivih na požare. Najpogostejše omejitve različnih modelov goriv so (Keane in sod., 2001; Sandberg in sod., 2001):

- lokacijska omejenost: vsako klasifikacijo goriv se lahko uporablja samo na podobnih zemljepisnih legah in je ni mogoče uporabiti v drugih okoljih,
- omejena uporabnost: klasifikacijo goriv se lahko uporablja le za cilje, ki so bili določeni v času njenega razvoja,
- različni sistemi klasifikacije: pojavila se je zmeda med uporabniki različnih modelov tipov goriv, zato so bile narejene preglednice povezav med njimi,
- težavno kartiranje: kartiranje je zahtevno in drago, velika variabilnost goriv v času in prostoru onemogoča njihovo natančno kartiranje.

3.4 Prostorski prikaz območij goriv

V programih za napovedovanje širjenja gozdnih požarov se kot vhodni podatek zahteva tudi prostorski prikaz modela tipov goriv. Na karti so prikazana območja goriv in njim pripisan model tipov goriv. Območja goriv pa je na splošno težko oceniti in prikazati na karti. Izbira ustrezne metode kartiranja je prav tako pomembna kot uporaba ustrezne klasifikacije goriv. Različna merila in cilji lahko pripeljejo do različnih kombinacij klasifikacij in metod. Metode kartiranja goriv se lahko razdelijo na (Arroyo in sod., 2008):

1. tradicionalne metode:
 - a) terenske raziskave,
 - b) letalsko fotografiranje,
 - c) ekološko modeliranje,
2. metode daljinskega zaznavanja:
 - a) pasivni senzorji:
 - večspektralni podatki nizke do srednje ločljivosti,
 - večspektralni podatki visoke ločljivosti,
 - hiperspektralni podatki,
 - b) aktivni senzorji:
 - lidar,
 - radar,
3. kombinirane metode.

3.4.1 Tradicionalne metode

Kartiranje gozdnih goriv je tradicionalno narejeno s terenskim delom (Miller in sod., 2003), uporabo letalskih fotografij (Bertolette in Spotskey, 1999; James in sod., 2007) in ekološkega modeliranja (Keane in sod., 2001). Najprej so se območja goriv izrisovala na podlagi terenskega dela (Arroyo in sod., 2008). Te metodologije imajo več omejitev. Zahtevajo obilo terenskega dela, ki je dolgotrajno in drago, kar onemogoča njihovo izvajanje za številne upravljavce zemljišč (Falkowski in sod., 2005). Kljub temu še vedno igrajo pomembno vlogo in predstavljajo koristno dopolnilo metodam daljinskega zaznavanja. Zagotavljajo referenčne zbirke podatkov iz terena, ki so potrebne za ovrednotenje kart, narejenih iz satelitskih posnetkov (Arroyo in sod., 2008).

3.4.2 Metode daljinskega zaznavanja

Daljinsko zaznavanje ponuja široko paleto različnih senzorjev in algoritmov, ki se uporabljajo za izdelavo kart tipov goriv. Glede na namen, za katerega bodo uporabljeni, obstajajo različni senzorji, metode in načini zajemanja satelitskih posnetkov.

Pasivni senzorji

Večina večspektralnih pristopov nizke in srednje ločljivosti opredeljuje površino goriv z razvrščanjem satelitskih posnetkov v razrede vegetacije in nato pripisovanje značilnosti goriv za vsako kategorijo. Uporabljajo se satelitski posnetki Landast MSS, Landsat TM, SPOT, NOAA-AVHRR (*National Oceanographic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer*) in ASTER (*Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer*) (Chuvieco in Salas, 1996; Maselli in sod., 2003; Lasaponara in Lanorte, 2007). Novejša senzorja, kot sta QuickBird in IKONOS, sta bila uporabljena za klasifikacijo vegetacije (Hyde in sod., 2006; Mallinis in sod., 2008) in bi lahko postala tudi pomembna za načrte upravljanja razvoja goriv na lokalnem nivoju, zlasti na meji med urbanim in ruralnim okoljem (Andrews in Queen, 2001). Posnetki IKONOS in QuickBird so bili uporabljeni za izdelavo karte tipov goriv po klasifikacijskem sistemu Prometheus v Grčiji (Giakoumakis in sod., 2002) in v osrednji Španiji (Arroyo in sod., 2006).

Hiperspektralni sistemi daljinskega zaznavanja, ki merijo odbito ali oddano elektromagnetno valovanje v širokem območju različnih pasov valovnih dolžin, so uporabni za spektralno in prostorsko razmejevanje lastnosti vegetacije, ki so povezane s požari, kot so sklenjenost krošenj listavcev, vlaga,

razmerje med odmrli in živimi rastlinami ter lege odprtih zemljišč (Roberts in sod., 2003; Ustin in sod., 2004; Jia in sod., 2006). Pri tem se uporabljajo spektralni satelitski posnetki na območju vidnega in infrardečega spektra (AVIRIS), podatki DAIS7915 (*Digital Airborne Imaging Spectrometer*) in MIVIS (*Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer*) (Dennison in sod., 2006; Kotz in sod., 2004; Lasaponara in Lanorte, 2006).

Aktivni senzorji

Zračno lasersko skeniranje ali tehnologija lidar (*Light Detection And Ranging*) se lahko uporablja pri kartiranju goriv za oceno višine goriva, ki je pomembna za ocenjevanje količine goriva in razmejevanje tipov goriv, ter zagotavlja podatke o talnih gorivih, kadar so prekrita z drevesnimi krošnjami (Keane in sod., 2001). Lidarski podatki so bili uporabljeni tudi za pridobivanje drugih parametrov, ki se uporabljajo pri modeliranju obnašanja požarov, kot sta višina in volumen krošnje (Chuvieco in sod., 2003). Velika uporabnost lidarskih podatkov se kaže v določanju lastnosti drevesnih krošenj in prirasti tako v vodoravni kot navpični smeri (Hyypä in sod., 2008). Senzorji, ki delujejo v mikrovalovnem delu elektromagnetnega spektra, so prav tako uporabni za dopolnitev optično izmerjenih značilnosti tipov goriv. Več projektov, ki temeljijo na satelitskih mikrovalovnih podatkih iz ERS-1 (*European Remote Sensing satellite-1*), ki vključuje SAR (*Synthetic Aperture Radar*), JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite-1*) in RADARSAT, je bilo narejenih za napovedovanje značilnosti gozdov, ki so pomembni za kartiranje tipov goriv kot so biomasa listja, volumen, višina in sestojni sklep (Hyypä in sod., 2000; Austin in sod., 2003; Garestier in sod., 2008). Trenutne omejitve satelitskih mikrovalovnih podatkov onemogočajo njihovo uporabo za točno oceno višine krošenj (Hyypä in sod., 2008). Mikrovalovni podatki so odlično dopolnilo lidarskim, ker so cenejši in zato omogočajo analize na večjih območjih (Slatton in sod., 2001). Radarski podatki so uporabni tudi za analizo časovne spremenljivosti goriv (Keane in sod., 2001).

3.4.3 Kombinirane metode za kartiranje tipov goriv

Uporaba več kot ene metode za kartiranje goriv predstavlja nov in obetaven pristop v daljinskem zaznavanju, ne samo za kartiranje goriv, ampak tudi v številnih drugih aplikacijah (Arroyo in sod., 2008). Večina najnovejših študij gozdnih goriv vključuje več kot en vir podatkov, zato številne omejitve, povezane z uporabo samo ene metode kartiranja goriv, odpadejo. Keane in sod. (2001) so predlagali celostni pristop, ki bi združil obsežno področje vzorčenja, klasifikacijo posnetkov ali značilnosti vegetacije in biofizično modeliranje gradienta (podnebje, topografija). Falkowski in sod. (2005) so za kartiranje slojev goriv za modeliranje obnašanja gozdnih požarov v požarnem modelu FARSITE uporabili metodo združevanja digitalnih analiz posnetkov ASTER z metodami modeliranja gradienta. Poulos in sod. (2007) so uporabili podatke s terena, podatke daljinskega zaznavanja in podatke digitalnega modela višin za izdelavo karte goriv. Lidarske podatke in infrardeče ortofoto posnetke so za oceno višine grmičevja za kartiranje goriv uporabili Riano in sod. (2007). Z združevanjem lidarskih in večspektralnih podatkov sta Varga in Asner (2008) modelirala količino goriva v različnih ekosistemih (gozd, savana, grmičevje). Natančnost kartiranja goriv se je s kombiniranjem posnetkov QuickBird in lidarskih podatkov, v primerjavi samo s posnetki QuickBird, povečala za 14 % (Mutlu in sod., 2008).

4 PREGLED VARSTVA PRED POŽARI

Za napovedovanje požarne ogroženosti se danes uporablja veliko metod in modelov, ki temeljijo na umetni inteligenci, daljinskemu zaznavanju, poznavanju meteoroloških spremenljivk, podrobnih podatkih o gozdu, vendar so vse približek realnega stanja. Vseh faktorjev ne moremo zajeti v zadovoljivi meri, predvsem pa ne moremo bolj natančno upoštevati človekovega vpliva kot največjega povzročitelja gozdnih požarov. Sistemi za oceno požarne ogroženosti izračunavajo možnost pojavljanja in širjenja požarov in prikazujejo rezultate v obliki tabel in kart. V nadaljevanju je predstavljenih več sistemov, ki so jih razvili v različnih državah, nekateri so enostavni, drugi zapleteni. Predstavljeni so sistemi, ki se uporabljajo v Sloveniji, Evropi, Rusiji, Avstraliji, Združenih državah Amerike (ZDA) in Kanadi.

4.1 Slovenija

Ugotavljanje stopenj požarne ogroženosti, kot del sistema za upravljanje z gozdnimi požari, je v Sloveniji prvič omenjeno leta 1993, ko je bila sprejeta Uredba o varstvu pred požarom v naravnem okolju (1993). V njej so navedene tri stopnje požarne ogroženosti naravnega okolja, spremenljivke, ki jih je potrebno upoštevati pri ugotavljanju stopenj požarne ogroženosti, kdo in na kakšen način razglašča požarno ogroženost naravnega okolja, naloge varstva pred požari, ki jih morajo opraviti upravljavci zemljišč in gozdov in način poročanja o požarih. Nova Uredba o varstvu pred požarom v naravnem okolju (1995, 2006) ni prinesla večjih sprememb. Spremembe so se pojavile v Pravilniku o varstvu gozdov (2000, v nadaljevanju PVG). V njem je dodana četrta stopnja požarne ogroženosti gozdov, določeni so dejavniki, na podlagi katerih se gozdovi razvrščajo v stopnje požarne ogroženosti. Razporeditev gozdov po stopnjah ogroženosti mora biti prostorsko podprta, načrt varstva gozdov pred požarom mora izdelati javna gozdarska služba, ki tudi vodi in usmerja opazovalno službo, ki jo je potrebno organizirati. V PVG (2000) je kot priloga predstavljena tudi Metodologija za določanje stopnje požarne ogroženosti gozdov, ki jo uporablja ZGS. V letu 2009 je bil izdan nov PVG (2009), kjer je Metodologija za določanje stopnje požarne ogroženosti dopolnjena z analizo požarov iz preteklega obdobja.

V preteklosti so bili v Sloveniji narejeni trije operativni sistemi ocenjevanja požarne ogroženosti gozdov in naravnega okolja, ki so jih vpeljali ZGS, Državna meteorološka služba RS in Uprava RS za zaščito in reševanje.

4.1.1 Zavod za gozdove Slovenije

Pri izdelavi ocene potencialne ogroženosti gozdov na Zavodu za gozdove Slovenije (ZGS) se upošteva naslednje faktorje (PVG, 2009):

- lastnosti gozda: drevesna vrsta, razvojna faza in delež mladovja,
- dejavnike izven gozda: srednja letna temperatura zraka, srednja letna količina padavin, srednja letna relativna vlažnost zraka, moč in pogostnost vetra, periodičnost sušnih obdobj, vrsta tal, lega - ekspozicija, nadmorska višina, nagib, objekti v gozdu in urejenost gozdov.

Vsakemu dejavniku je dodeljeno, koliko točk lahko doseže. Dodelitev je izvedena glede na njegovo težo v modelu. Znotraj dejavnika pa se razdelijo točke po merilih, ki jih določa potencialne ogroženosti gozdov. ZGS je opravil razvrstitev gozdov po stopnjah potencialne požarne ogroženosti na podlagi ocene vplivov dejavnikov, ki povzročajo njihovo požarno ogroženost v osnovni načrtovalni enoti, to je v odseku. Če se vpliv dejavnikov v obdobju veljavnosti gospodarskega načrta spremeni, je treba temu ustrezno sproti prilagoditi tudi razvrstitev gozdov v stopnjo požarne ogroženosti (Jakša, 2006). Metodologija za izračun potencialno ogroženih gozdov je podrobno predstavljena v PVG (2009). Gozdovi v Sloveniji se razvrščajo v štiri stopnje potencialne požarne ogroženosti (PVG, 2009):

1. stopnja ogroženosti: zelo velika ogroženost,
2. stopnja ogroženosti: velika ogroženost,

3. stopnja ogroženosti: srednja ogroženost,

4. stopnja ogroženosti: majhna ogroženost.

Potencialna požarna ogroženost slovenskih gozdov po metodologiji ZGS razvrsti gozdove na ravni odseka v štiri stopnje požarne ogroženosti glede na nevarnost pojavljanja gozdnih požarov. Rezultat je karta dolgoročno potencialno požarno ogroženih gozdov. Za območja gozdov z zelo veliko in veliko stopnjo požarne ogroženosti ZGS skladno s PVG (2009) izdeluje načrte varstva gozdov pred požarom.

4.1.2 Državna meteorološka služba

Državna meteorološka služba deluje v okviru Agencije Republike Slovenije za okolje na Ministrstvu za kmetijstvo in okolje. Za določanje stopnje požarne ogroženosti (stopnje verjetnosti za nastanek in širjenje požarov v naravnem okolju) uporabljajo izpopolnjeno vzhodnonemško metodo (*Waldbrandt - Kennziffern - WBKZ*) (Pečenko, 1994). Stopnja požarne ogroženosti na ravni sedmih požarnih regij v Sloveniji nakazuje, kakšne so možnosti za nastanek požara, kakšen bo obseg požara in kako se bo širil. Indeks se izračunava na osnovi meteoroloških podatkov ob upoštevanju razvojne stopnje rastlinstva. Indeks pove, kakšna je stopnja požarne ogroženosti naravnega okolja in kakšne so razmere za širjenje požara (Pečenko, 1994). Pri izračunu indeksa požarne ogroženosti se upošteva temperatura zraka, razlika med nasičenim in dejanskim parnim pritiskom, dnevna količina padavin, hitrost vetra in razvojna stopnja rastlinstva. Metoda izračuna indeksa požarne ogroženosti naravnega okolja je podrobneje predstavljena v Pečenko (1994) in Ogris (2003).

4.1.3 Uprava RS za zaščito in reševanje

V okviru projekta Gozdni požari v Sloveniji je bil leta 2001 razvit empirični model požarne ogroženosti, ki je bil omejen le na gozdove. Dosežena zanesljivost modela pa ni zadoščala za operativno rabo (Kobler, 2001). Razširitev modela požarne ogroženosti naravnega okolja z veljavnostjo za celotno Slovenijo in posebej za Kras je bila narejena v okviru projekta Napovedovalni GIS model požarne ogroženosti naravnega okolja, ki je bil zaključen leta 2006 (Kobler in sod., 2006). Rezultati projekta so tudi prototipna implementacija teh modelov z navezavo na obstoječi sistem GIS (GIS-UJME) na Upravi RS za zaščito in reševanje in s sprotno povezavo na meteorološke podatke ALADIN (Kobler in sod., 2006). Za izračun modela je bila uporabljena metoda strojnega učenja na izbranih učnih podatkih. Izdelani so bili trije modeli verjetnosti izbruha požara, in sicer dva za celotno Slovenijo in poseben za Kras.

Dnevno ocenjevanje stopnje požarne ogroženosti naravnega okolja v Sloveniji temelji na metodi, ki jo uporablja Državna meteorološka služba. ZGS pa na podlagi karte dolgoročno potencialno požarno ogroženih gozdov načrtuje ukrepov varstva gozdov pred požari.

4.2 Evropa in svet

Upravljanje z gozdnimi požari se je najprej in najbolj razvijalo v državah, kjer požari povzročajo veliko ekonomsko škodo. V ta namen so bili izdelani različni požarni modeli, ki napovedujejo pojavljanje in širjenje požarov. Običajno sta to dva ločena, vendar tesno povezana požarna modela, ki uporabljata nekatere skupne vhodne spremenljivke. Z razvojem različnih požarnih modelov je bilo narejenih tudi več sistemov klasifikacije goriv. Najpomembnejše metode, ki se uporabljajo za napovedovanje požarne ogroženosti, so:

- European Forest Fire Information System (EFFIS, Evropa) (EC, 2011);
- Nesterov Index (NI, Rusija) (Stocks in sod., 1996; cit. po Kleschenko in sod., 2003);
- National Fire Danger Rating System (NFDRS, ZDA) (Burgan, 1988);
- Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS, Kanada) (Stocks in sod., 1989);
- McArthur Forest Fire Danger Rating System (McArthur Forest FDRS, Avstralija) (McArthur, 1966, 1967; cit. po Kleschenko in sod., 2003).

Metodam je skupno, da uporabljajo podatke o vremenskih spremenljivkah. Sistemi klasifikacije goriv pa se razlikujejo glede na število tipov goriv, vrsto uporabljenega požarnega ali odločitvenega modela ter državo, za katero je bil razvit. Obstaja šest glavnih klasifikacijskih sistemov, ki se uporabljajo v različnih ekosistemih in za različne namene (preglednica 2).

Preglednica 2: Najpomembnejši sistemi klasifikacije goriv (Arroyo in sod., 2008)

Table 2: Main fuel classification systems (Arroyo et al., 2008)

Sistem klasifikacije goriv	Število tipov goriv	Požarni /odločitveni model	Država nastanka
tipi goriv NFDRS	20	NDFRS/Rothermel-ov model širjenja požarov	ZDA
tipi goriv NFFL	13	BEHAVE in FARSITE	ZDA
FCCS	216	Rothermel-ov model širjenja požarov Modeli širjenja požarov Modeli posledic požarov	ZDA
McArthur-jevi tipi goriv	3	McArthur-jev sistem napovedovanja požarne ogroženosti (za gozdove in travnike)	Avstralija
tipi goriv FBP	16	Kanadski FBP sistem	Kanada
tipi goriv Prometheus	7	Rothermel-ov model širjenja požarov	Evropa - mediteranske države

4.2.1 Evropska unija

V Evropi je bilo razvitih več metod za ocenjevanje požarne ogroženosti na podlagi meteoroloških podatkov. Nekaterne metode so bile razvite za točno določeno vrsto pogojev (določena regija ali požarna sezona), druge pa so poskusile zajeti širši obseg. Evropska komisija (EK) je sofinancirala študijo primerjave metod ocenjevanja požarne ogroženosti, ki so bile v uporabi leta 1992 (Viegas in sod., 1994). Za študijo so bile izbrane metode, ki so jih uporabljali na Portugalskem, v Španiji, Franciji in Italiji, kot tudi CFFDRS (podsystem CFFWIS). Relativna učinkovitost različnih metod ocenjevanja požarne ogroženosti je bila statistično testirana z upoštevanjem različnih parametrov. V skoraj vseh primerih je bilo ugotovljeno, da so bili rezultati CFFWIS boljši od drugih metod. Priporočilo, kot posledica te študije, je bilo v letu 1997 poslano EK, da naj sprejme CFFDRS kot standardno metodo za ocenjevanje požarne ogroženosti držav Evropske unije (EU). EK oziroma Joint Research Centre (JRC) je zato leta 1998 ustanovil raziskovalno skupino, ki je delovala na razvoju in uporabi naprednih metod za ocenjevanje požarne ogroženosti gozdov in kartiranja pogorelih površin na evropski ravni. Razvili so spletno storitev, kjer so izračunane dnevne vrednosti komponent CFFDRS na mreži 10 km × 10 km in dostopne zainteresirani javnosti (EC, 2011).

Iz tega se je razvil EFFIS (*European Forest Fire Information System* - evropski informacijski sistem za gozdne požare), ki je začel delovati leta 2000. Evropska komisija je razvila EFFIS z namenom ocenjevanja tveganj za izbruh gozdnih požarov v Evropi. V ta požarni sistem je vključenih 19 članic EU, EK pa z njegovo pomočjo vsako leto pripravlja obširno poročilo o posledicah gozdnih požarov v Evropi. Poročila naj bi služila kot podlaga za napovedi in zaščito pred gozdnimi požari v prihodnosti. EFFIS vsebuje dva podsistema. Prvi je European Forest Fire Risk Forecasting System (EFFRFS), ki podaja napovedovanje požarne ogroženosti. Požarna ogroženost se napoveduje na podlagi meteorološkega modela za napovedovanje vremena in pomožnih informacij. Meteorološka požarna ogroženost je napovedana do 3 dni vnaprej, predstavljena na karti s petstopenjsko lestvico požarne ogroženosti in posredovana civilni zaščiti in službam za zaščito pred požari (EC, 2011). Drugi modul European Forest Fire Damage Assessment System (EFFDAS) na podlagi satelitskih posnetkov ocenjuje škodo, ki jo povzročijo požari. EFFDAS posreduje podatke o pogorelih površinah in statistikah škod iz vegetacijskega pokrova po administrativnih regijah, ko je požar že pogašen. Kartiranje požarne ogroženosti in pogorele površine v EFFIS-u so skladne na evropski ravni, kar omogoča primerjave med požarno ogroženostjo in škodo po požarih med evropskimi državami in regijami (Fujioka in sod., 2009).

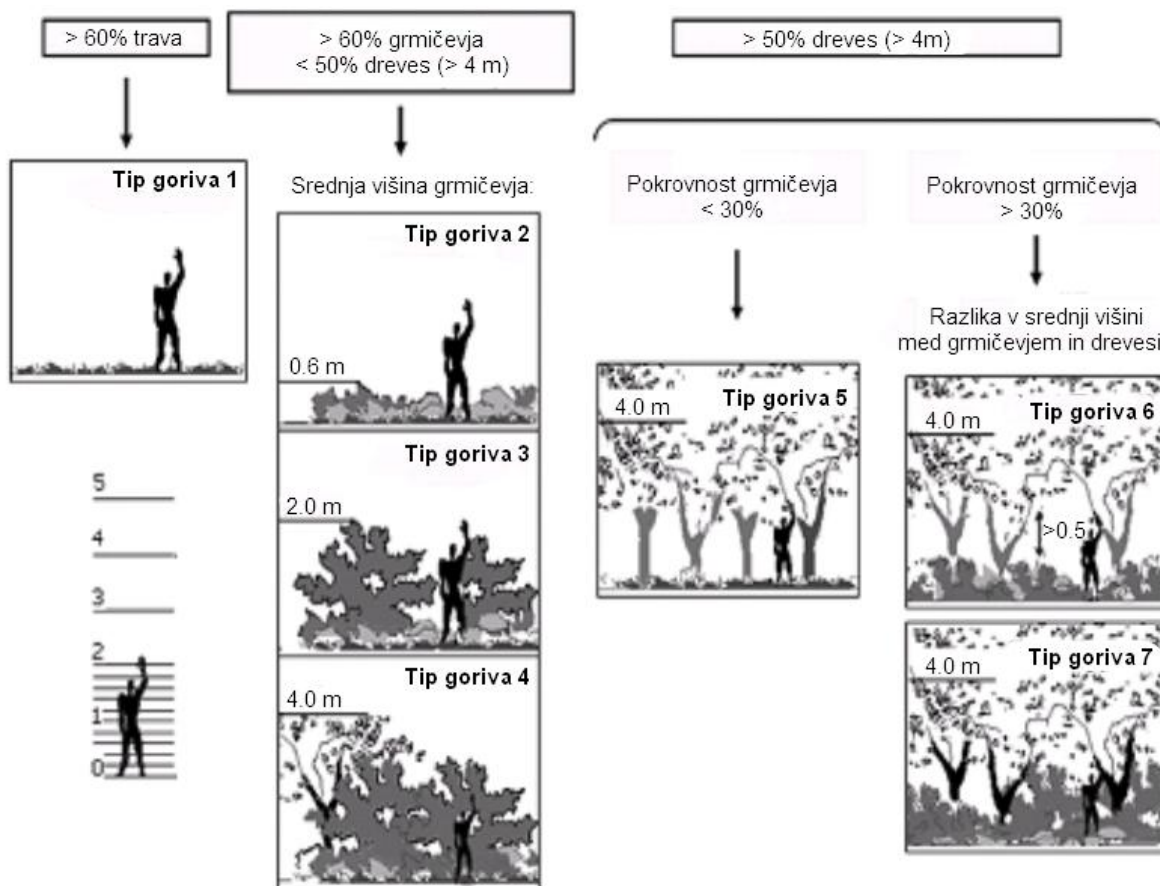
Tipi goriv so bili klasificirani na podlagi podatkov pokrovnosti in rabe tal CORINE (*COoRdinating INformation on the Environment*) *Land Cover*. CORINE Land Cover je narejena na osnovi fotointerpretacije satelitskih posnetkov Landsat in ima dokaj dobro prostorsko ločljivost z merilom kartiranja 1 : 100.000. Najmanjša enota kartiranja je 25 ha. Vendar pa je CORINE Land Cover lahko tematsko relativno slaba, saj je bilo izločenih samo 44 razredov rabe tal in pokrovnosti. Po drugi strani ima Zemljevid naravnega rastja Evrope (*Map of Natural Vegetation of Europe - MNVE*) nižje prostorsko ločljivost (merilo kartiranja 1 : 3.000.000), vendar je določnih več kot 100 vegetacijskih združb (Barbosa in sod., 2008). CLC razredi so bili stratificirani v podregije po fitocenoloških merilih, ki so predstavljale floristične sestave in druge dejavnike, ki urejajo porazdelitev vegetacije. Te podregije so nato povezane z modelom goriv U.S. National Fire Danger Rating System (NFDRS) z namenom določiti tip goriva za vsako podregijo. Evropski karti modelov goriv (preglednica 2) so bili nato dodeljeni tipi goriv NFDRS, ki ustrezajo vsakemu razredu goriva.

Preglednica 3: Model goriv NFDRS, ki ustreza tipom modela goriv Evropske karte modela goriv (Barbosa in sod., 2008)

Table 3: NFDRS fuel model corresponding to the fuel model classes assigned to the European fuel model map (Barbosa et al., 2008)

NFDRS model	Opisi evropskega modela tipov goriv
A	travniki, poraščeni z letnimi travami in zelmi
C	odprti borovi sestoji s trajnimi travami in zelmi
D	grmičava podrast in nadstojna borova drevesa
F	sklerofilna vegetacija hrastov
H	iglavci z redko podrastjo in tanko plastjo talnih goriv
L	travniki, poraščeni s trajnimi travami
N	močvirja v notranjosti in obalna močvirja
O	listnati gozdovi črnike, palm in hrastov
P	iglasti gozdovi z Ibersko-Atlantskimi gozdovi hrasta in oljk ter Kantabrijski bukovi gozdovi
R	listnati gozd
S	redko poraščene površine
T	prehodno gozdno grmičevje
X	negozd

V Evropi je bil razvit tudi nov model tipov goriv, imenovan Prometej (*Prometheus*), ki poenostavi in prilagodi razvrstitev NFDRS za sredozemske razmere (Arroyo in sod., 2008). Ta sistem razvrščanja goriv je namenjen za boljšo prilagoditev goriv, ugotovljenih v sredozemskem območju. Glavno merilo za razvrstitev v sistem je vrsta in višina razmnoževalnega elementa, ki je razdeljen v tri glavne skupine: trave, grmičevja in opad (slika 6). Svoje modele goriv so razvili tudi v posameznih evropskih državah kot so Švica (Allgöwer in sod., 1998), Grčija (Dimitrakopoulos, 2002) in Portugalska (Cruz in Fernandes, 2008; Fernandes, 2009).



Slika 6: Tipi goriv Prometej (Arroyo in sod., 2008)
Figure 6: Prometheus fuel types (Arroyo et al., 2008).

Poleg izdelave metod za ocenjevanje požarne ogroženosti na podlagi meteoroloških podatkov se razvijajo tudi modeli, ki izhajajo iz značilnosti gozdov. Namen takšnih modelov je, da se oceni verjetnost pojavljanja gozdnih požarov na določenih mestih v daljšem časovnem obdobju (Gonzalez in sod., 2006). Takšni modeli pokažejo tiste lastnosti gozdnih sestojev, ki vplivajo na verjetnost pojavljanja požarov, ter kako je to verjetnost mogoče zmanjšati s spreminjanjem lastnosti gozdnih sestojev v okviru gospodarjenja z gozdovi. Gonzalez in sod. (2006) so raziskovali povezave med preteklo požarno aktivnostjo v Kataloniji (Španija) in značilnostmi dreves na vzorčnih ploskvah. Ugotovili so, da na pojavljanje požarov v gozdu vplivajo (Gonzalez in sod., 2006):

- sestojna zgradba (srednji temeljnični premer, skupna površina temeljnice, koeficient variacije premera drevesa);
- drevesna sestava (delež listavcev);
- nadmorska višina.

Sklepali so, da navedene značilnosti vplivajo tudi na količino in značilnosti pritalnih goriv v gozdu ter posledično vplivajo tudi na širjenje požarov.

4.2.2 Rusija

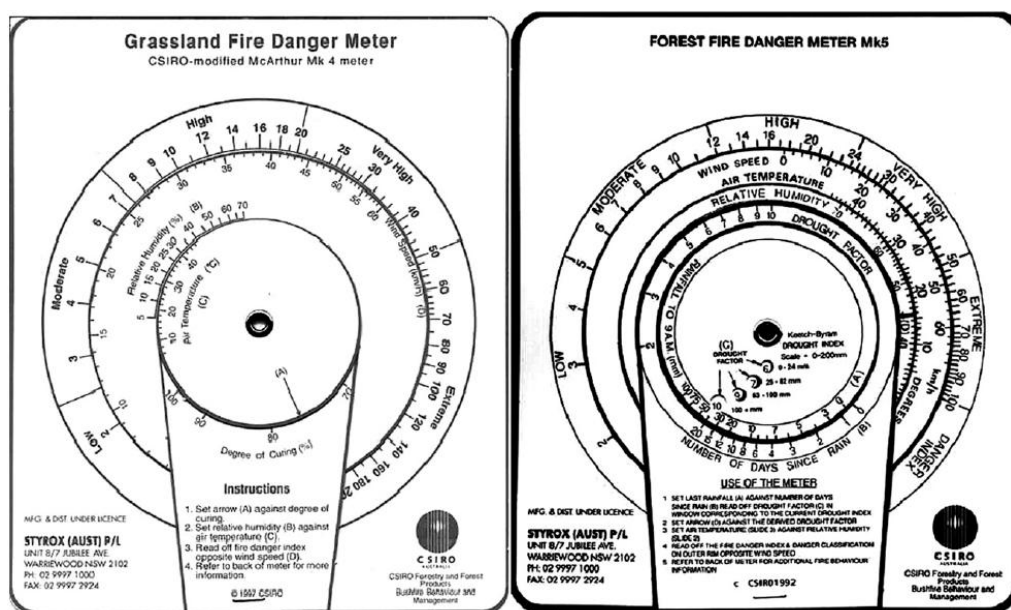
V Rusiji se za ocenjevanja požarne ogroženosti najbolj pogosto uporablja indeks vžiga, imenovan Nesterov Indeks (NI). Zagotavlja splošen indeks potencialnega vžiga (Stocks in sod., 1996; cit. po Kleschenko in sod., 2003). Dnevni vremenski podatki za izračun indeksa so (Buchholz in Weidemann, 2000):

- temperatura suhega termometra;
- temperatura točke rosišča (izračunana iz relativne vlažnosti in temperature);
- padavine.

Nesterov indeks je na začetku nastavljen na vrednost 0 in se nato določi na podlagi razlike med temperaturo zraka (temperatura suhega termometra) in temperaturo točke rosišča. Ta razlika se pomnoži s temperaturo zraka in potem kumulativno sešteje vrednosti po številu dni, od zadnjega dneva, ko je bilo več kot 3 mm padavin. Ko je 3 mm ali več dnevnih padavin, se vrednost indeksa vrne na ničlo. Nesterov indeks je bil kalibriran s strani različnih ruskih raziskovalcev v primeru lokalnih pogojev (Stocks in Lynham, 1996). Izdelana je bila logaritemska različica indeksa za zmanjšanje razlik na lokalnih nivojih.

4.2.3 Avstralija

V Avstraliji je Alan McArthur v šestdesetih letih 20. stoletja razvil indeks požarne ogroženosti in širjenja požara, ki temelji na več kot 800 poskusnih požarih v različnih vrstah goriv (McArthur, 1966, 1967; cit. po Kleschenko in sod., 2003). Indeks se izračuna z uporabo merilnikov požarne ogroženosti za gozdove in travnike (slika 7). Naslednji opis je povzet po Kleschenko in sod. (2003). Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) je merilnik posodobila v naslednje merilnike: merilnik požarne ogroženosti na traviščih (*Grassland Fire Danger Meter*), merilnik širjenja požara na traviščih (*Grassland Fire Spread Meter*), merilnik širjenja požara za Severno Avstralijo (*Fire Spread Meter for Northern Australia*) in merilnik požarne ogroženosti gozdov (*Forest Fire Danger Meter*). Ti merilniki se danes uporabljajo v računalniški obliki kot programi.



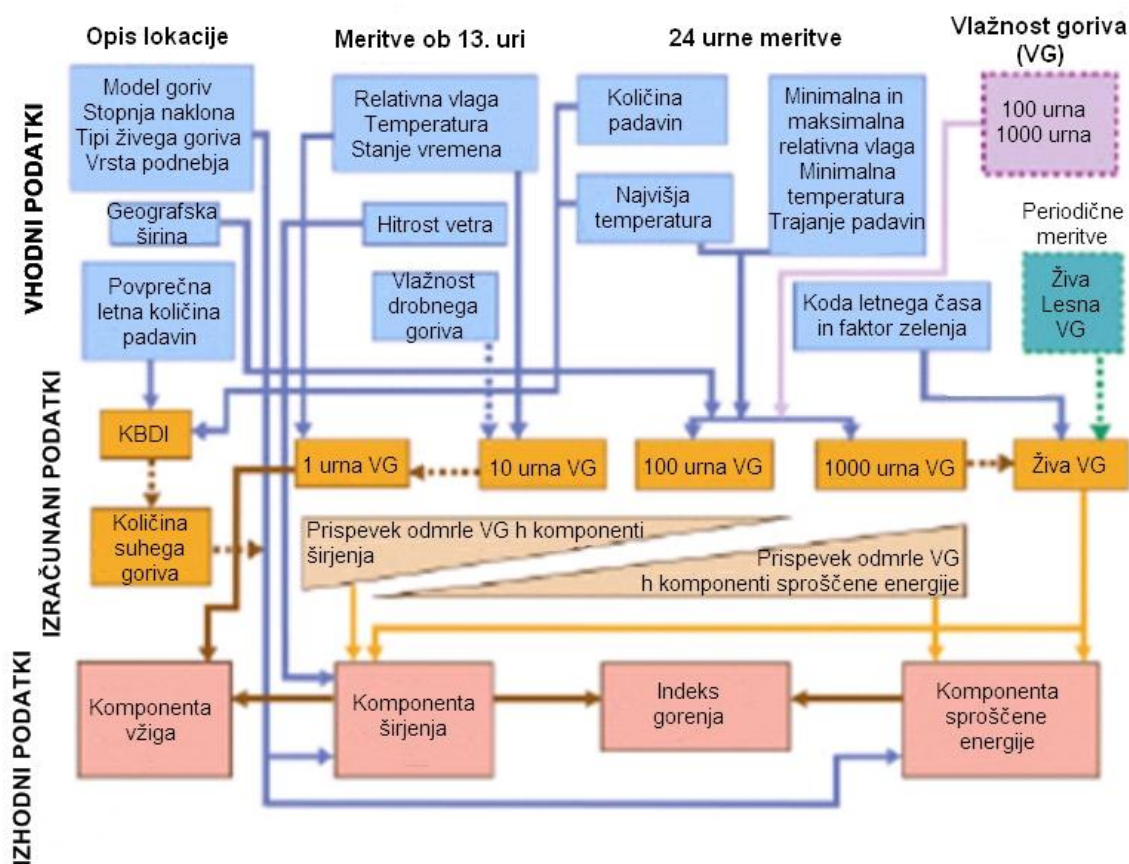
Slika 7: McArthur-jev merilnik požarne ogroženosti za gozdove (levo) in travnike (desno) (Arroyo in sod., 2008)
Figure 7: Australian McArthur Fire Danger Meter for forest (left) and grassland (right) (Arroyo et al., 2008)

Indeks požarne ogroženosti gozdov se računa iz relativne vlažnosti, temperature zraka, hitrosti vetra, količine padavin in faktorja suše. Temelji na lestvici od 0 do 100, kjer ocena 1 predstavlja požar, ki ne bo gorel ali bo gorel tako počasi, da je nadzor nad njim zelo enostaven. Ocena 100 pomeni požar, ki bo gorel tako hitro pri taki temperaturi, da je nadzor praktično nemogoč. Merilnik se lahko uporablja tudi za določitev stopnje širjenja požara na ravninah in pobočjih ter višine plamena. Prednost teh merilnikov je, da se lahko uporabljajo na terenu z uporabo dejanskih realnih urnih podatkov o vremenu. Za napovedovanje širjenja požarov v Avstraliji se uporabljata dva tipa goriv in sicer eden za gozdove in drugi za travnike. Podoben pristop se uporablja tudi v Zahodni Avstraliji, kjer je rezultat izkušenj opazovanj širjenja požarov v dolgem časovnem obdobju združen v tabele širjenja gozdnih požarov (*Forest Fire Behaviour Tables*). V tem primeru sta izračunana indeksa požarne ogroženosti za severne suhe gozdove, kjer prevladuje *Eucalyptus marginata*, in južne mokre gozdove, kjer prevladuje *Eucalyptus diversicolor*.

CSIRO je razvila tudi Bushfire Spread Simulator (SiroFire). SiroFire je bil narejen na podlagi McArthur-jevega sistema požarne ogroženosti in novega merilnika širjenja požara na traviških. To je računalniški program, ki uporablja tematske karte (GIS) in digitalni model reliefa za izdelavo karte širjenje požara. Uporablja se ga kot orodje za gasilske vaje in tudi v praksi (Kleschenko in sod., 2003).

4.2.4 Združene države Amerike

U.S. Forest Service za napovedovanje požarne ogroženosti uporablja National Fire Danger Rating System (NFDRS) (slika 8). Sedanji sistem je bil razvit leta 1972 (Deeming in sod., 1972) in dopolnjen leta 1978 z vključitvijo boljšega odziva na kratkotrajne suše, povečano sezonsko občutljivostjo, dodatnimi tipi goriv in drugimi spremembami (Bradshaw in sod., 1984). Dodatno je bil dopolnjen še leta 1988 z dodanim Keetch-Byram indeksom suše (*Keetch-Byram drought index-KBDI*), ki upošteva vremenske in podnebne razmere na vzhodu ZDA (Burgan, 1988).



Slika 8: Strukturalni diagram NFDRS (Fujioka in sod., 2009)

Figure 8: Structural diagram NFDR (Fujioka et al., 2009)

NFDRS v različnih modelih uporablja enajst vremenskih spremenljivk. Merjene spremenljivke v času opazovanja (od poldneva do zgodnjega popoldneva) vključujejo temperaturo zraka, relativno vlago, stanje vremena (količina oblakov in vrsta padavin), hitrost vetra in vlažnost goriva (merjeno ali ocenjeno). Dnevne spremenljivke za 24-urno obdobje so trajanje in količina padavin, najvišja in najnižja temperatura zraka ter najvišja in najnižja relativna vlažnost. Komponente širjenja požara v sistemu NFDRS so (NWCG, 2002):

- komponenta vžiga: podaja verjetnost nastanka požara,
- komponenta širjenja: podaja hitrost širjenja čelnega ognja,
- komponenta sproščene energije: potencialna izkoristljiva energija čelnega ognja,
- indeks gorenja: dolžina plamena ali intenzivnost požarne linije.

NFDRS predstavlja sistem požarne ogroženosti za velika območja. Vremenske razmere skupaj z modeli goriva NFDRS (preglednica 4) se uporabljajo za prikaze dnevnih in sezonskih gibanj požarne

ogroženosti na velikih območjih. Prvotno je bilo v modelu 9 tipov goriv, ki so bili razširjeni na 20 v letu 1978 (Deeming in sod., 1977; Cohen in Deeming, 1982; cit. po Arroyo in sod., 2008). Sistem požarne ogroženosti NFDRS upošteva dve glavni skupini modelov vlažnosti goriva (živo in odmrlo). Živa goriva so nadalje razvrščena v zeliščni in grmovni sloj, razredi časovnih zamikov 1-, 10-, 100- in 1000-h pomenijo odmrle goriva.

Preglednica 4: Tipi goriv v sistemu NFDRS (Cohen in Deeming, 1982; cit. po Arroyo in sod., 2008)

Table 4: NFDRS fuel classification system (Cohen in Deeming, 1982; cited in Arroyo et al., 2008)

Model goriva	Vrsta goriva
A	trave (enoletnice)
L	trave (trajnice)
N	navadna rezika–ostričevka
C	trave pod krošnjami borovcev
D	grmičasta palma
T	nebinovke–trave
B	odrasla, gosta polja grmičevja ($h \geq 1,8$ m)
F	grmičevje
E	gozdni opad listavcev (pozimi)
P	nasadi borovcev na jugu ZDA
R	gozdni opad listavcev (poleti)
U	borovci na zahodu ZDA
I	lesni ostanki iglavcev (več kot 61 t/ha)
J	lesni ostanki iglavcev (manj kot 61 t/ha)
K	lesni ostanki (manj kot 37 t/ha)
O	gostemu grmičevju podobno gorivo na jugozahodu ZDA
S	tundra
H	iglavci s kratkimi iglicami (manjša količina opada in lesnih ostankov)
G	iglavci s kratkimi iglicami (velika količina opada in lesnih ostankov)
Q	črna smreka

Model požarne ogroženosti v Oklahomi

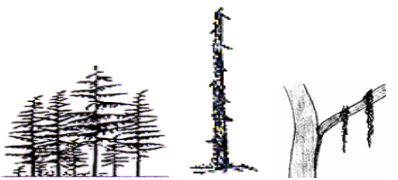


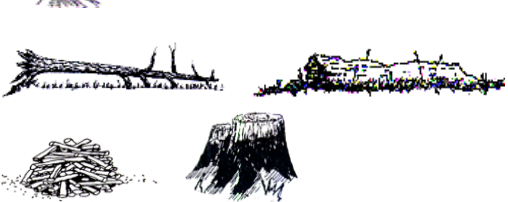

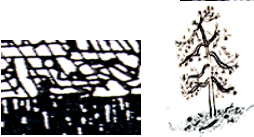
Model požarne ogroženosti v Oklahomi zagotavlja dober pregled naslednje generacije indeksov, ki vključujejo satelitske podatke z visoko gostoto omrežja vremenskih postaj za izdelavo modela požarne ogroženosti NFDRS (Carlson in Engle, 1998). Model izračuna vlago živega goriva iz relativnih in vizualnih vrednosti zelenja, ki temelji na vegetacijskem indeksu normalizirane razlike (*Normalized Difference Vegetative Index* - NDVI), ki se izračuna iz tedenskih satelitskih podatkov s kilometrsko ločljivostjo (*Advanced Very High Resolution Radiometer* - AVHRR). Vsaka kilometrska celica zemljišča je predstavljena kot tip goriva modela NFDRS, ki predstavlja avtohtono vegetacijo Oklahome. Izračuni so narejeni na podlagi tedenskih satelitskih podatkov in podatkov iz visoke gostote omrežja vremenskih postaj (več kot 100 postaj) po vsej državi. Izračunani so urna požarna ogroženost s prostorsko ločljivostjo 1 km, ki temelji na požarni ogroženosti NFDRS. Poleg tega se izračunajo še komponenta širjenja (SC), komponenta sproščene energije (ERC), indeks gorenja (BI), komponenta vžiga (IC) in vlažnost odmrlega goriva (FM).

Sistem določanja lastnosti goriv

Novejši sistem določanja goriv v ZDA je Sistem določanja lastnosti goriv (*Fuel characteristics classification system-FCCS*), ki ga je razvil U.S. Forest Service (Sandberg in sod., 2001). Glavna kriterija pri izdelavi sta bila, da je uporaben v celotnih ZDA in prilagojen za različne uporabnike, ki se ukvarjajo s požari na različnih prostorskih ravneh in imajo različno kakovostne podatke. Splošna zasnova FCCS omogoča uporabniku, da ustvari in vzdržuje katalog območij goriv, ki jih razvrsti glede na njihove zmožnosti za podporo požaru in kopičenju goriva. Uporabnik lahko sprejme privzete nastavitve ali spremeni nekatere ali vse s poznavanjem lastnosti goriv na določenem območju. Ko uporabnik zaključi z urejanjem kvalitativnih in kvantitativnih podatkov o območjih goriv, FCCS izračuna količinske lastnosti goriv (fizikalne, kemijske in strukturne) in verjetnostne parametre požara, značilne za točno določeno območje goriva. Vsako območje goriva se dodeli enemu od 216 stiliziranih razredov lastnosti goriv. FCCS opredeljuje območje goriva kot relativno homogeno enoto v pokrajini, ki predstavlja edinstveno zažigalno območje (Sandberg in sod., 2001). Model razdeli območja goriv na

šest horizontalnih slojev (preglednica 5). Vsak sloj (krošnje dreves, grmičevje, neolesenela vegetacija, lesno gorivo na gozdnih tleh, opad in talno gorivo) je razdeljen na dve ali več kategorij, ki kažejo na skupne značilnosti gorenja. Sistem omogoča izdelavo in spremembe prostorskih slojev, izpeljavo kvantitativnih značilnosti goriva (fizikalne, kemijske in strukturne lastnosti) in verjetnostne parametre požara, ki so specifični za vsako opisano območje goriva. Poleg tega sistem zagotavlja NFFL in NFDRS določitev goriv, kar omogoča njegovo široko uporabnost (Ottmar in sod., 2007).

Preglednica 5: Horizontalna razslojenost območij goriv na sloj in vrsto goriva v FCCS (Ottmar in sod., 2007)
Table 5: Horizontal stratification of FCCS fuelbeds by stratum and category (Ottmar et al., 2007)

Sloj goriva	Vrsta goriva	Slikovni prikaz
krošnja	drevesa, sušice, spodnje veje dreves (<i>ladder fuels</i>)	
grmičevje	grmičevje	
neolesenela vegetacija	trave, zeli	
lesna goriva	podrta drevesa, odmrla drevesa, skladovnice drv, štori, panji	
opad-lišaji-mahovi	opad, lišaji, mahovi	
talna goriva	delno razkrojeni rastlinski ostanki, humificirana organska snov	

Programi za modeliranje širjenja požarov

NFDRS se uporablja za velika območja in hkrati napoveduje požarno ogroženost in širjenje požarov. Za manjša območja, kjer prevladujejo lokalne posebnosti, se za širjenje požarov uporabljajo računalniški programi, ki so predstavljeni v nadaljevanju.

Behave je sistem za napovedovanje širjenja požara in upravljanja goriva. Sistem ustvari tabele širjenja požara v pogojih, ki jih določi uporabnik. Sestavljen je iz podprogramov za napovedovanja širjenja požarov, za načrtovanje testnih požarov in za modeliranje goriv. Rezultati sistema so predstavljeni v obliki preglednice. Sistem Behave uporablja klasifikacijo goriv NFFL (Burgan in Rothermel, 1984), ki vsebuje 13 tipov goriv (preglednica 6), ki temeljijo na osnovnih lastnostih površinskih goriv ter 40 standardnih tipov goriv širjenja požara (Scott in Burgan, 2005).

Preglednica 6: Klasifikacijski sistem tipov goriv NFFL (Anderson, 1982)
Table 6: NFFL fuel classification system (Anderson, 1982)

Model goriva	Vrsta goriva
	trava in prevladujoča trava
1	kratka trava (30 cm)
2	gozd (trava in podrast)
3	visoka trava (76 cm)

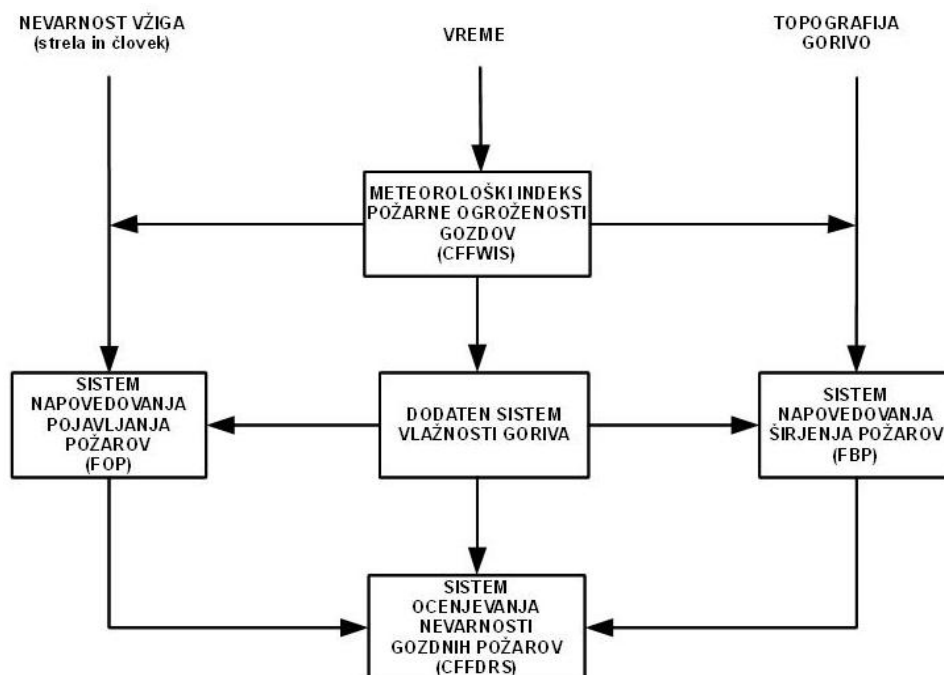
Model goriva	Vrsta goriva
	<u>grmičevja</u>
4	grmičevje (18 cm)
5	grmičevje (61 cm)
6	starejše grmičevje, lesni ostanki listavcev
7	grmičasta palma
	<u>gozdni opad</u>
8	strnjen gozdni opad
9	gozdni opad listavcev
10	gozd (opad in podrast)
	<u>lesni ostanki</u>
11	malo lesnih ostankov
12	srednje veliko lesnih ostankov
13	veliko lesnih ostankov

Farsite je model simulacije rasti požara, ki uporablja prostorske podatke o topografiji in gorivu skupaj s podatki o vremenu in vetru. Model rasti ognja je dvodimenzionalen in vključuje obstoječe modele za talne in vršne požare, zgorevanje za čelnim ognjem in pospeševanje ognja. Simulator širjenja požara Farsite uporablja dve standardni klasifikaciji goriv, in sicer NFFL in tipe goriv, ki sta jih razvila Scott in Burgan (2005).

FlamMap je program za kartiranje in analizo širjenja požara, ki izračuna potencialne značilnosti širjenja požara (hitrost širjenje, dolžino plamena, intenzivnost čelnega ognja itd.) za celotno območje pri konstantnih vremenskih pogojih in vlažnosti goriva. Ta program je poenostavljena različica programa Farsite (Stratton, 2006).

4.2.5 Kanada

V Kanadi se za ocenjevanje nevarnosti gozdnih požarov uporablja sistem CFFDRS (*Canadian Forest Fire Danger Rating System*) (slika 9), ki ga Canadian Forest Service razvija od leta 1968 dalje (Stocks in sod., 1989). Vključuje dva podsistema ali modula, to sta meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov (*Canadian Forest Fire Weather Index System-CFFWIS*) in napovedovanje širjenja gozdnih požarov (*Canadian Forest Fire Behavior Prediction System-FBP*).



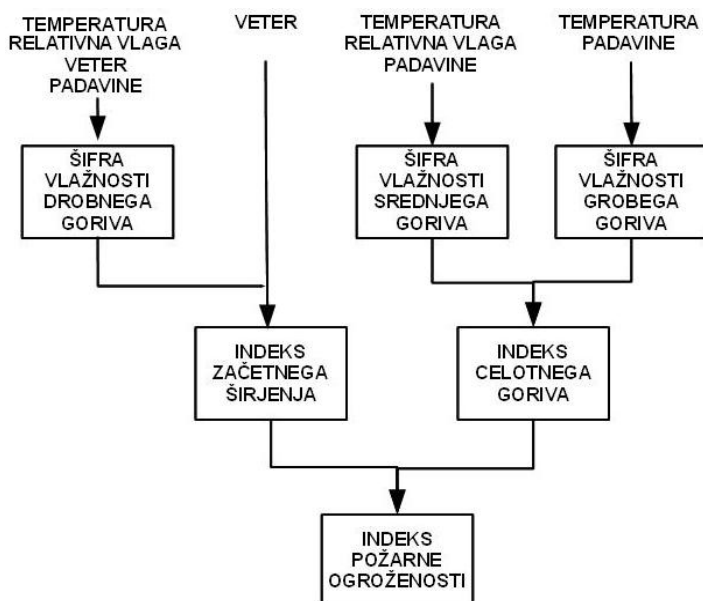
Slika 9: Komponente CFFDRS (CWFIS, 2009)

Figure 9: The components of the CFFDRS (CWFIS, 2009)

Vhodni podatki v sistem, potrebni za napovedovanje požarne ogroženosti in širjenje požara, so nevarnost vžiga (od človeka in strele), vreme, topografija in goriva.

Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov (CFFWIS)

Vremenske spremenljivke so temeljni vhodni podatki v CFFWIS (slika 10) in so skupaj s komponentami CFFWIS potrebne tudi za izračun rezultatov sistema FBP. CFFWIS je sestavljen iz šestih komponent vlažnosti goriva in širjenja požara, ki računa vpliv vlažnosti goriva in vetra na širjenje požara v standardnem tipu goriva (odrasel borov sesto) (Van Wagner, 1987).



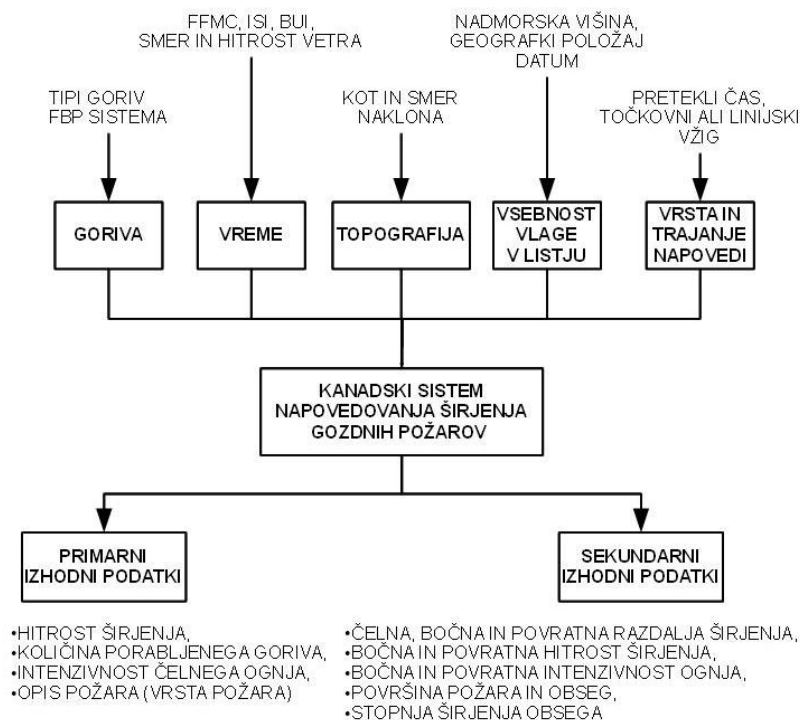
Slika 10: Komponente CFFWIS (CWFIS, 2009)

Figure 10: CFFWIS components (CWFIS, 2009)

CFFWIS in njegove komponente so podrobno predstavljeni v nadaljevanju, ker smo ga uporabili v raziskavi. Poznavanje sistema in njegovih rezultatov nam bo omogočilo njegovo testiranje na študijskem območju.

Sistem napovedovanja širjenja gozdnih požarov (FBP)

Drug večji podsistem CFFDRS-a je sistem napovedovanja širjenja gozdnih požarov (FBP) (slika 11).



Slika 11: Vhodni, izhodni podatki in struktura FBP (CWFIS, 2009)

Figure 11: FBP input, output and structure (CWFIS, 2009)

Modeli za napovedovanje širjenja požara in porabe goriva v tem sistemu so bili pridobljeni iz podatkovne baze, ki je vsebovala več kot 400 testnih, gozdnih in predpisanih požarnih opazovanj (Lawson in sod., 1985). Sistem razvršča goriva v pet glavnih skupin (iglavci, listavci, mešan gozd, grmičevje in odprte površine), ki so nadalje razdeljene na 16 osnovnih tipov goriv (preglednica 7). Te vrste goriv se uporablja za opisovanje značilnosti širjenja požarov, ki ga lahko pričakujemo na podlagi različnih pogojev gorenja.

Preglednica 7: Tipi goriv v sistemu FBP (Forestry Canada, 1992; Dimitrov, 1996)

Table 7: Fuel types in FBP (Forestry Canada, 1992; Dimitrov, 1996)

Skupina	Identifikator	Vrsta goriva
iglavci	C-1	sestoji smreke na subarktičnem območju
	C-2	sestoji smreke na borealnem območju
	C-3	odrasli sestoji kanadskega ali zavitega bora
	C-4	mladi sestoji kanadskega ali zavitega bora
	C-5	rdeči in zeleni bor
	C-6	nasadi iglavcev
	C-7	sestoji rumenega bora in duglazije
listavci	D-1	ameriška trepetlika izven vegetacijskega obdobja
mešani gozdovi	M-1	mešani gozdovi na borealnem območju-pomladi in jeseni
	M-2	mešani gozdovi na borealnem območju-poleti
	M-3	odmrli lesni ostanki balzamaste jelke-pomladi
	M-4	odmrli lesni ostanki balzamaste jelke-poleti
drevesni ostanki	S-1	drevesni ostanki kanadskega ali zavitega bora
	S-2	drevesni ostanki stožčaste smreke, skalne in balzamaste jelke
	S-3	drevesni ostanki odraslih mešanih sestojev iglavcev
odprto	O-1	trava

Kanadski model simulacije širjenja požarov v naravi Prometej (*Prometheus - the Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model*)

Prometej je deterministični model simulacije širjenja požara, ki temelji na CFFDRS oziroma njegovih podsistemih CFFWIS in FBP. Model izračuna podatke o širjenju in hitrosti požara na podlagi vhodnih

prostorskih podatkov (topografija, tipi goriv in vremenski podatki). Izhodni podatki so prostorski sloji, ki se lahko uporabljajo v tehnologiji GIS za nadaljnje analize.

4.2.5.1 Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov

Meteorološke spremenljivke temperatura, relativna vlažnost, veter in padavine (dež) vplivajo na možnost vžiga, stopnjo širjenja in težavnost gašenja požarov. Potrebne so za izračun šestih komponent CFFWIS, ki so (Van Wagner, 1987):

- šifra vlažnosti drobnega goriva (*Fine Fuel Moisture Code* - FFMC),
- šifra vlažnosti srednjega goriva (*Duff Moisture Code* - DMC),
- šifra vlažnosti grobega goriva (*Drought Code* - DC),
- indeks celotnega goriva (*Build-Up Index* - BUI),
- indeks začetnega širjenja (*Initial Spread Index* - ISI),
- indeks požarne ogroženosti gozdov (*Fire Weather Index* - FWI).

Vremenske spremenljivke

Opis vremenskih spremenljivk je povzet po Lawson in Armitage (2008).

Temperatura

Temperatura, merjena opoldne (ob 12. uri v °C), je potrebna za izračun vseh treh šifer vlažnosti goriva FFMC, DMC in DC. Temperatura, skupaj z relativno vlažnostjo in vetrom, vpliva na hitrost, s katero se vlažnost FFMC povečuje potem, ko se je zmanjšala zaradi dežja. Temperatura in relativna vlažnost sta potrebni za izračun faze sušenja DMC, medtem ko je za izračun faze sušenja DC potrebna samo temperatura. Faktorji sušenja za DMC in DC so prilagojeni glede na dolžino dneva, ki se spreminja odvisno od meseca.

Relativna vlažnost

CFFWIS zahteva relativno vlažnost izmerjeno ob 12. uri za določanje FFMC in DMC. Relativna vlažnost vpliva na vsakodnevno stopnjo sušenja FFMC in tudi na ravnovesje vlage (*Equilibrium Moisture Content* - EMC), ki predstavlja najnižjo vsebnost vlage, ki jo bo doseglo gorivo v dani kombinaciji vremenskih razmer. Ravnovesje vlage za FFMC pokriva obseg, ki je večji od obsega vnetljivosti. Npr. pri relativni vlažnosti 100 % je EMC 35 %, kar je nad zgornjo mejo za vžig finega goriva, medtem ko je EMC pri relativni vlažnosti 10 % približno 2 %-3 %. Nasprotno pa DMC temelji na predpostavki o nespremenjeni EMC (20 %), kar pomeni, da se ne spreminja glede na relativno vlažnost. Ta predpostavka pomeni, da ne glede na to, kako visoke vrednosti dosega DMC, je najnižja raven vlage v horizontu Of gozdnih tal 20 %. Dejavnik dnevnega sušenja, ki je dodan DMC, se spreminja s temperaturo in relativno vlažnostjo.

Veter

Veter (merjen na višini 10 m v km/h) je vključen v CFFWIS na dva načina. Relativno šibak vpliv se zazna v dnevni spremembi FFMC, kjer hitrost vetra vpliva predvsem na stopnjo njenega povečanja po dežju. Veliko močnejši učinek je vgrajen v indeks ISI, da tako odraža skupni vpliv vetra in vlage drobnega goriva na stopnjo širjenja požara.

Padavine

Vsebnost vlage v gozdnih gorivih se lahko dvigne do 300 % ali več v stiku s tekočo vodo, medtem ko je mogoča najvišja vrednost nasičenja približno 30 % za odmrlo lesno biomaso v nasičenem ozračju. Padavine, po navadi v obliki dežja, so potrebne, če želimo, da je vsebnost vlage drobnega goriva večja kot 30 %. Dež je tudi edino sredstvo, da se DMC in DC znižata na vrednosti, ki so nižje od tistih, zabeleženih prejšnjega dne. Skupna količina padavin v zadnjih 24 urah (merjeno v mm) mora presežati določeno mejno vrednost, preden se šteje, da ima kaj vpliva na vsebnost vlage v gorivih, ki ga predstavljajo šifre vlažnosti goriva. Te mejne vrednosti so določene za vsako šifro vlažnosti goriva (preglednica 8).

Preglednica 8: Mejne vrednosti padavin, ki že vplivajo na vlažnost goriva (Lawson in Armitage, 2008)

Table 8: Threshold rain values for fuel moisture codes (Lawson in Armitage, 2008)

Šifre vlažnosti goriva	Količina padavin v 24 urah (mm)
FFMC	>0,5
DMC	>1,5
DC	>2,8

Učinkovitost padavin pri zmanjševanju vrednosti šifer vlažnega goriva se spreminja glede na količino padavin in vrednost šifre vlažnosti goriva pred padavinami. Od časa do časa med požarno sezono se padavine lahko pojavijo tudi v obliki toče ali snega. V mnogih primerih se padavine, ki padejo v tej obliki, stopijo v intervalu med opazovanji, zato se med vremenske spremenljivke zapiše enakovredna količina vode, kot če bi bil dež. Če sneg (ali toča) obstane na tleh v času opazovanja, se izračun vrednosti treh šifer vlažnosti goriva nadaljuje s tem, da se količina snega, ki je zapadel od prejšnjega opazovanja, nadomesti s količino vode, pri čemer je 1 cm snega enako 1 mm dežja.

Komponente meteorološkega indeksa požarne ogroženosti

Šest standardnih komponent - tri šifre vlažnosti goriva in trije indeksi širjenja požara - indeksa meteorološke požarne ogroženosti CFFWIS zagotavlja številčno oceno verjetnosti nastanka gozdnega požara. Tri šifre vlažnosti goriva sledijo dnevnim spremembam vsebnosti vlage v treh razredih gozdnega goriva z različnimi stopnjami sušenja. Vsaka šifra vlažnosti se izračuna v dveh fazah - ena za mokrenje z dežjem in ena za sušenje - in so urejene tako, da višje vrednosti predstavljajo nižje vsebnosti vlage in s tem večjo vnetljivost (Van Wagner, 1987). Vmesna indeksa širjenja požara predstavljata stopnjo širjenja in količino razpoložljivega goriva. Končni indeks širjenja požara je indeks FWI, ki združuje vmesna indeksa in predstavlja intenzivnost širjenja požara. Uporablja se kot splošni indeks požarne ogroženosti (Lawson in Armitage, 2008).

Šifra vlažnosti drobnega goriva (Fine Fuel Moisture Code - FFMC)

Šifro vlažnosti drobnega goriva (FFMC) je opisana številčna mera vsebnosti vlage v drobnem gorivu na površini gozdnih tal (horizont O1 - organski podhorizont, ki ga sestavlja rastlinski opad: listje, iglice, vejice in drugi rastlinski ostanki). V CFFWIS je predstavljena kot 1,2 cm debela plast borovega opada s težo goriva 0,25 kg/m² (Van Wagner, 1987). Vrednost FFMC se povečuje s povečanjem suhosti, ki se spreminja od 0 pri nasičenosti (250 % vlage), do najvišje možne vrednosti 101, ko je plast drobnega goriva popolnoma suha. FFMC je kazalec relativne enostavnosti vžiga in vnetljivosti drobnega goriva.

Šifra vlažnosti srednjega goriva (Duff Moisture Code - DMC)

Šifra vlažnosti srednjega goriva (DMC) je številčna mera za vsebnost vlage v zgornjih plasteh gozdnih tal, kjer se drobno gorivo (opad) začne razkrajati (horizont Of - organski podhorizont iz delno razkrojenih (f = fermentiranih) rastlinskih ostankov, katerih poreklo se še razloči). Model DMC spremlja vlago v zgornjih sedmih centimetrih gozdnih tal v navadnem borovem sestoju in predstavlja količino goriva 5 kg/m² (Van Wagner, 1987). Običajni borov sestoj v tem primeru predstavljata rdeči bor (*Pinus sylvestris*) in kanadski bor (*Pinus banksiana*). Vlaga tudi v tej plasti narašča od vrednosti 0 (kar ustreza podani nasičenosti vlage 300 %). DMC nima zgornje meje, vendar so vrednosti nad 150 zelo redke. Sloj DMC pridobi vlago neposredno od dežja in se posuši do konstantne ravnovesne vlažnosti. Mera, pri kateri pride do sušenja, je odvisna od relativne vlažnosti in temperature. DMC je indikator porabe goriva v srednje globokih organskih tleh in srednje velikega lesnega materiala.

Šifra vlažnosti grobega goriva (Drought Code - DC)

Šifra vlažnosti grobega goriva (DC) upošteva vpliv dolgoročnega sušenja na goriva na gozdnih tleh. DC je številčna mera vsebnosti vlage v globljih plasteh gozdnih tal ter v velikih lesnih ostankih in odmrli lesni biomasi na gozdnih tleh. DC spremlja vlago v 18 cm debeli organski plasti (horizont Oh - organski podhorizont iz humificirane organske snovi) s količino goriva 25 kg/m² (Van Wagner, 1987). Ta plast nima neposrednega stika z ozračjem, temveč vpija vlago le s padavinami. Stopnja sušenja je odvisna samo od temperature. Vsebnost vlage v plasti, ki jo predstavlja DC, se pretvori v vrednost,

kjer njeno povečanje pomeni povečanje stopnje sušnosti v globljih gozdnih tleh ali velikih lesenih ostankih na gozdnih tleh. V CFFWIS vrednost $DC = 0$ ustreza največji teoretični nasičenosti vlage 400 %. DC je indikator sezonskih sušnih posledic na gozdno gorivo in sposobnost tlenja ognja v globokih humusnih plasteh.

Indeks celotnega goriva (*Build-Up Index - BUI*)

Indeks celotnega goriva (BUI) računa vsebnost vlage v gorivih, ki jih predstavljata DMC in DC. Indeks BUI se uporablja kot številčna mera potencialnega goriva na površini, ki je na voljo kot kurivo (poraba materiala na in v gozdnih tleh, ki je znotraj požarne linije). Indeks BUI ne upošteva dejanske količine goriva na tleh za vsak posamezen gozdni sestoj. Predpostavlja standardno količino in razporeditev goriva in predvideva, da bi bila ta količina goriva primerna za ohranjanje širjenja požara (Van Wagner, 1987). Indeks BUI se pogosto uporablja kot pokazatelj morebitnih težav pri gašenju podtalnega požara ali kot pokazatelj, da bo požar še naprej podtalni ali v velikih lesenih ostankih. Višje vrednosti indeksa BUI nakazujejo večje možnosti za tlenje ognja in s tem potencialno nakažejo več časa potrebnega za gašenje.

Indeks začetnega širjenja (*Initial Spread Index - ISI*)

Indeks začetnega širjenja (ISI) združuje vsebnost vlage drobnega goriva (FFMC) in hitrost vetra in je številčna ocena pričakovane hitrosti širjenja požara brez vpliva spremenljivke o količini goriva (Van Wagner, 1987). Indeks ISI je dober pokazatelj stopnje širjenja požara v različnih tipih gozdov.

Indeks požarne ogroženosti gozdov (*Fire Weather Index - FWI*)

Indeks meteorološke požarne ogroženosti gozdov (FWI) je končni indeks CFFWIS, ki združuje indeksa ISI in BUI in predstavlja intenzivnost širjenja požara. Indeks FWI omogoča splošen povzetek požarnega vremena in vlažnosti goriva in je uporaben, kadar je potreben en sam pokazatelj splošne požarne ogroženosti, npr. pri sporočanju požarne ogroženosti javnosti (Van Wagner, 1987). Protipožarne službe se pri vsakodnevem operativnem načrtovanju sklicujejo tudi na več komponent CFFWIS, npr. indeksa BUI in ISI ter FFMC.

Vsaka šifra vlažnosti goriva izraža neposredne informacije o različnih vidikih gozdnega požara. Obstaja majhna verjetnost širjenja požara v horizontu OI, če je FFMC manj kot 74 (Lawson in Armitage, 2008). Horizont Of ne prispeva k čelni intenzivnosti ognja, dokler vrednost DMC ne doseže 20. Talna in podtalna požarna aktivnost obstajata, če so DC vrednosti večje od 400. Razlike v dolžini dneva med letnimi časi vplivajo na DMC in DC, kar je upoštevano v mesečnem popravku, ki se nanaša na vsakodnevni faktor sušenja. Za ti dve šifri vlažnosti goriva je količina vlage, ki jo izgubita horizonta Of in Oh na dan, odvisna od dolžine dneva in od opoldanskih pogojev ozračja. V nasprotju s tem je FFMC, ki predstavlja hitro sušeča goriva, manj odvisna od dolžine dneva.

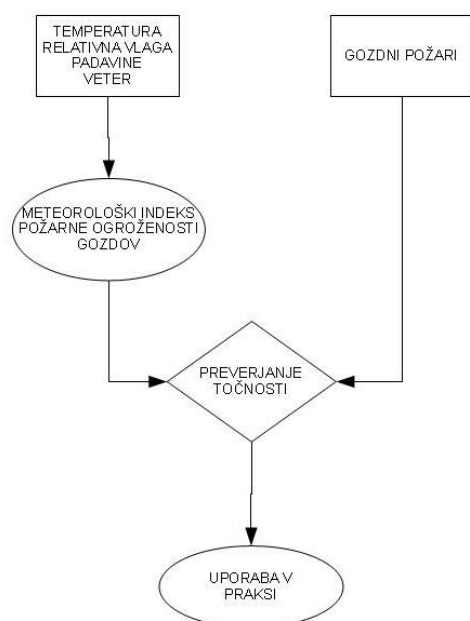
Pred začetkom izračuna komponent CFFWIS je potrebno za šifre vlažnosti goriva določiti začetne vrednosti. Lawson and Armitage (2008) za Evropo priporočata uporabo enakih začetnih standardnih vrednosti, kot se uporabljajo v Kanadi (privzete začetne vrednosti: FFMC = 85, DMC = 6, DC = 15). Šest standardnih komponent CFFWIS napoveduje dnevno verjetnost nastanka požara. Za vsako komponento CFFWIS je določena ena vrednost dnevno, zato sistem ne kaže urnih sprememb, niti ne upošteva sprememb v vrsti goriva med letnimi časi ali od kraja do kraja. Hkrati pa zagotavlja referenčne lestvice, ki omogočajo primerjavo požarne ogroženosti z drugimi dnevi in na drugih lokacijah. CFFWIS omogoča rekonstrukcijo pretekle požarne ogroženosti, če so na voljo pretekli podatki o vremenskih spremenljivkah. Na ta način lahko primerjamo podatke CFFWIS s preteklimi požari (Harrington in sod., 1983; Amiro in sod., 2004). CFFWIS je odvisen od vremenskih razmer in ne upošteva razlik v vzroku nastanka požara, vrsti goriva in topografiji. Glede na vrednosti indeksa FWI in napovedi vremena je možna tudi napoved požarne ogroženosti za naprej.

5 OBMOČJE RAZISKAVE, PODATKI IN METODE DELA

Narejene so bile številne raziskave, ki opisujejo povezavo med podnebjem, vremenom, značilnostmi gozdov in gozdnimi požari. Verjetnost pojavljanja gozdnih požarov je zelo odvisna od trenutnih vremenskih razmer (Andrews, 1986; Van Wagner, 1987). Meritve vremenskih spremenljivk omogočajo dnevno napovedovanje in spremljanje požarne ogroženosti gozdov. Za napovedovanje pojavljanja požarov se uporabljajo tudi značilnosti gozdov oziroma gozdnih sestojev (Gonzalez in sod., 2006). Ti modeli pokažejo na tiste značilnosti gozdnih sestojev, ki vplivajo na verjetnost pojavljanja požarov in načine, kako lahko zmanjšamo to verjetnost v okviru gospodarjenja z gozdovi.

Najprej smo pridobili in pregledali podatke o pretekli požarni aktivnosti na študijskem območju. Podatke o gozdnih požarih v Sloveniji smo pridobili na ZGS. Zbirka podatkov o gozdnih požarih, ki smo jo uporabili v raziskavi, vsebuje vse podatke o pretekli požarni aktivnosti na Kraškem GGO v obdobju od 1. 1. 1995 do 31. 12. 2009. Pregledali smo vse podatke za posamezen požar, ki se zbirajo na obrazcu Poročilo o požaru (priloga A). Raziskovali smo njihove značilnosti in značilnosti pogorelih površin oziroma vegetacije, ki je bila prizadeta v požarih. Iskali smo značilne statistične povezave med pojavljanjem požarov v času in prostoru ter dejavniki okolja.

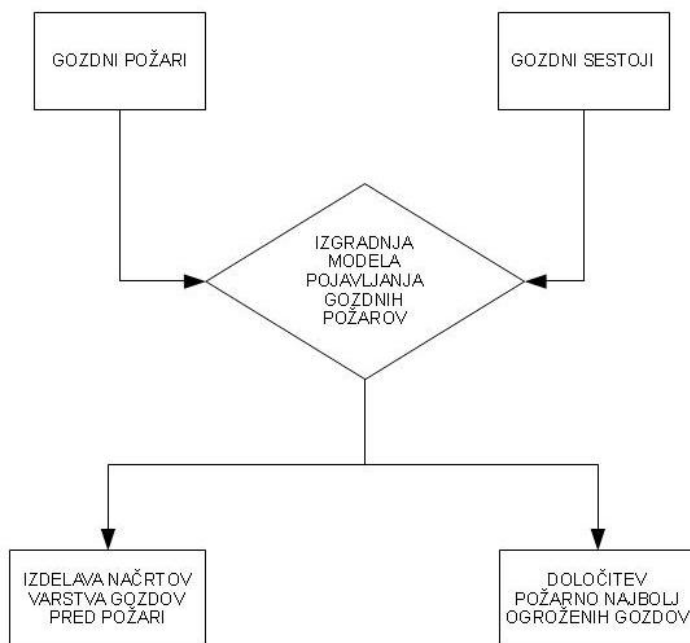
Na študijskem območju smo preizkusili CFFWIS, ki je v Evropi postal standardno orodje za oceno požarne ogroženosti. Za izračun požarne ogroženosti v CFFWIS potrebujemo podatke o vremenskih spremenljivkah: temperatura zraka, relativna vlaga, količina padavin in hitrost vetra. Te podatke smo za obdobje raziskave pridobili na Agenciji RS za okolje v Državni meteorološki službi. Rezultate CFFWIS smo primerjali s preteklo požarno aktivnostjo in ugotavljali njegovo uporabnost na študijskem območju (slika 12).



Slika 12: Diagram poteka preverjanja uporabnosti CFFWIS
Figure 12: Flowchart of CFFWIS testing

Za izdelavo modela pojavljanja požarov na podlagi značilnosti sestojev smo najprej pregledali model, ki so ga zgradili Gonzalez in sod. (2006). Njihov model temelji na podatkih meritev dreves na stalnih vzorčnih ploskvah. Ker imamo v Sloveniji in tudi na študijskem območju izdelane sestojne karte, smo se odločili, da zgradimo model, ki napoveduje verjetnost pojavljanja požarov na ravni gozdnih sestojev (slika 13). Podatke o sestojnih kartah smo pridobili na ZGS. V trenutku začetka raziskave so bili na voljo podatki, ki obsegajo časovno obdobje od 1998 do 2007. Pred izgradnjo modela smo analizirali kakovost sestojnih kart. Prikazali smo rezultate analize kakovosti (Šturm, 2009), v kateri je

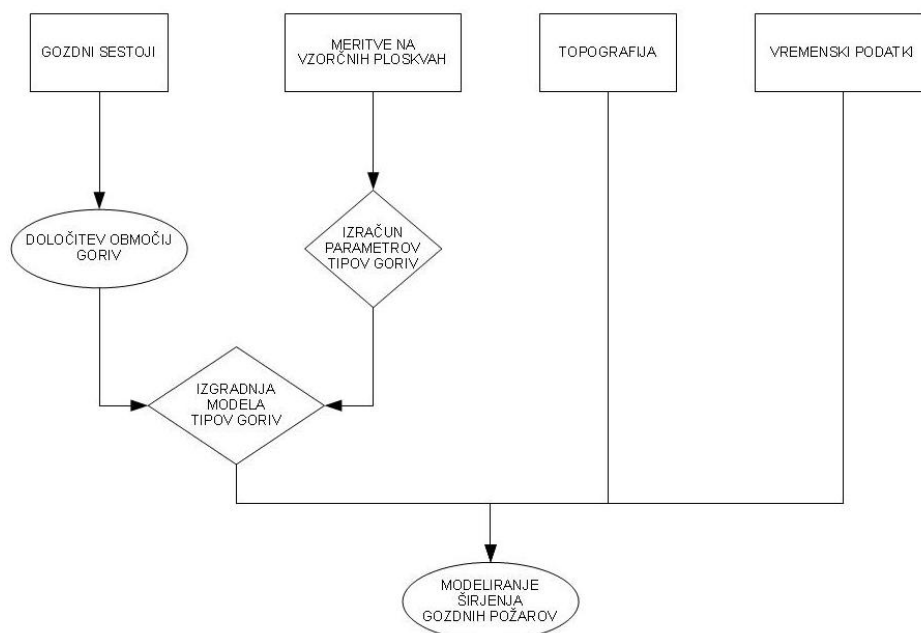
primerjal podatke sestojnih kart s Pravilnikom (1998). Še dodatno smo preverili skladnost podatkov sestojnih kart z dejanskim stanjem na terenu. Na Geodetski upravi RS smo pridobili še podatke o digitalnem modelu višin z ločljivostjo 12,5 m (DMV). Za preverjanje rezultatov modela smo uporabili podatke o gozdnih požarih, ki so se pojavili v letih 2010 in 2011. Rezultate modela smo primerjali tudi z rastiščnogojitvenimi razredi gozdov na študijskem območju (ZGS, 2003), kjer je za vsak RGR zapisano, ali in v kakšni meri je požarno ogrožen.



Slika 13: Diagram poteka izgradnje modela pojavljanja gozdnih požarov

Figure 13: Flowchart of building model of forest fire probability model

Prav tako smo raziskali možnosti za napovedovanje širjenja gozdnih požarov z uporabo računalniških programov. Osnovni vhodni podatek v programe za simulacije širjenja gozdnih požarov je, poleg vremenskih spremenljivk in topografije, model tipov goriv. V želji, da preizkusimo simulacije, smo pregledali modele tipov goriv in njihove parametre. Iz zbirke podatkov o gozdovih v Sloveniji smo poskusili narediti model tipov goriv za študijsko območje (slika 14). Poleg podatkov ZGS smo pregledali tudi podatke o gozdovih, ki jih zbira in vzdržuje Gozdarski inštitut Slovenije (v nadaljevanju GOZDIS).



Slika 14: Diagram poteka izgradnje modela tipov goriv
Figure 14: Flowchart of building a fuel model

5.1 Kraško gozdnogospodarsko območje

Opis Kraškega gozdnogospodarskega območja je povzet po ZGS (2003). Kraško GGO zajema skrajni JZ del Slovenije in meri 152.476 ha (slika 15). Gozdovi v celoti zajemajo submediteransko fitogeografsko območje. Njihova površina znaša 86.463 ha, kar predstavlja 57 % pokritosti z gozdom.

Zgodnja poselitev kraškega in obalnega območja ter intenzivna izraba prostora v kmetijske namene je povzročila uničenje prvotne gozdne vegetacije (toploljubni hrastovi gozdovi s črnim gabrom ter termofilni in mezofilni bukovi gozdovi). Ponovna pogozditev Krasa z borom ter proces zaraščanja, ki je v drugi polovici 20. stoletja zajel celotno območje, pa sta oblikovala gozdne sestoje, ki se precej razlikujejo od naravne podobe.

Za današnje stanje gozdov je značilen predvsem večji delež iglavcev, zlasti bora, ki povsem prevladuje na 20 % površine. Glede na drevesno sestavo gozda prevladujejo listnati gozdovi, borovi gozdovi, mešani gozdovi iglavcev in listavcev ter bukovi gozdovi. Med drevesnimi vrstami ima največji delež v lesni zalogi črni bor (*Pinus nigra*, 23 %), med listavci pa bukev (*Fagus sylvatica*, 18 %). Prevladujoče drevesne vrste so še graden (*Quercus petraea*), cer (*Quercus cerris*), puhasti hrast (*Quercus pubescens*) in črni gaber (*Ostrya carpinifolia*).



Slika 15: Študijsko območje (ZGS; Državna pregledna karta 1 : 500.000, 1998, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS)

Figure 15: Study area

Za celotno obravnavano območje je značilno močno spreminjanje srednje in absolutne temperature obale v notranjost. Od morske obale proti notranjosti se svet hitro dviguje (od 0 do skoraj 1000 m nad morjem) in temperatura znižuje. Srednja letna temperatura skoraj povsod presega 10°C , najvišja je ob morju (14°C). Dolgotrajna poletna suša, ki traja povprečno od konca junija do začetka septembra, je najznačilnejši pojav, ki je lahko usoden za vegetacijo. Suha in vroča poletna vročina močno stopnjuje sušo, katero suhi severni vetrovi, ki zapihajo čez poletje, še okrepijo. Padavin je dovolj (od 1000 mm do 2000 mm), vendar je njihova sezonska razporeditev neugodna. Največ padavin je jeseni in spomladi, v poletnih mesecih, ko sta vročina in suša največji, pa padavin skoraj ni. Neugoden vpliv vetrov na vegetacijo je predvsem mehanski (lomljenje in podiranje drevja, ukrivljena rast, vetrna erozija) in fiziološki (izsuševanje tal in vegetacije).

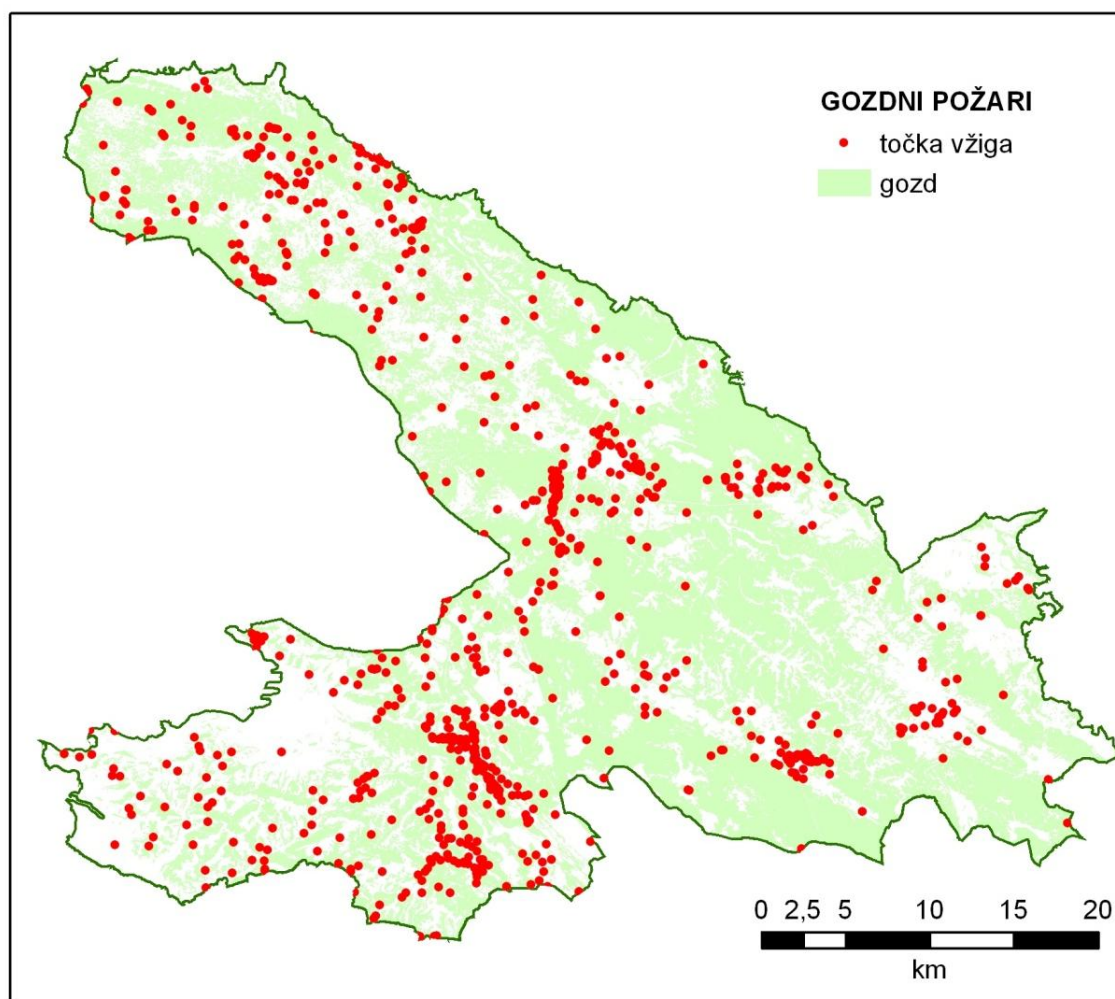
Požarna ogroženost naravnega okolja na obravnavanem območju je v slovenskem merilu posebej izražena predvsem zaradi suhe in tople submediteranske klime v kombinaciji z degradiranimi rastišči in obojemu prilagojenim rastjem. Požarno ogroženost dodatno povečujejo prometni koridorji skozi območje, predvsem železnica. Študijsko območje je požarno najbolj ogroženo območje v Sloveniji glede na število požarov, predvsem pa po velikosti pogorelih površin.

5.2 Priprava podatkov

V nalogi smo uporabili podatke o pretekli požarni aktivnosti, vremenskih spremenljivkah ter o stanju gozdov na študijskem območju.

5.2.1 Podatki o požarih

Za prikaz požarne aktivnosti na študijskem območju smo uporabili podatkovno zbirko o požarih za obdobje 1995–2009, ki smo jo pridobili na ZGS. Podatki se zbirajo skladno s Pravilnikom o varstvu gozdov (2009) na obrazcu Poročilo o požaru (priloga A). Poročilo o požaru vsebuje podatke o značilnostih mesta nastanka požara (drevesna sestava, gozdna združba, vremenske razmere), lokaciji (koordinati X in Y, topografija), času nastanka in času pogasitve požara, opožarjeni površini (ha) glede na vrste gozdov, poškodovani lesni masi (m^3) in tipu gozdnega požara (podtalni, talni in vršni). V podatkovni zbirki o gozdnih požarih je popisanih 1345 požarov, od katerih se jih je na izbranem študijskem območju zgodilo 882. Iz zbranih podatkov smo izločili podatke o 11 gozdnih požarih, pri katerih ni bil vpisan datum začetka požara. V raziskavi smo tako uporabili podatke o 871 gozdnih požarih, katerih skupna velikost požarišč je 6046,9 ha (slika 16).



Slika 16: Lokacije gozdnih požarov na študijskem območju (1995–2009) (ZGS)

Figure 16: Forest fires in study area (1995–2009)

5.2.2 Vremenske spremenljivke

Za izračun dejanske požarne ogroženosti gozdov se v sistemih uporabljajo podatki o vremenskih spremenljivkah, ki se merijo na vremenskih postajah. Temperatura zraka, relativna vlaga, hitrost vetra in količina padavin so tiste spremenljivke, ki se v CFFWIS uporabljajo za izračun požarne ogroženosti. V nalogi smo uporabili podatke tistih vremenskih postaj v Sloveniji, na katerih se hkrati merijo vse štiri vremenske spremenljivke (temperatura, relativna vlaga, padavine in veter) in imajo 15-letni neprekinjen niz opazovanj v obdobju 1. 1. 1995 - 31. 12. 2009. Temperatura, relativna vlaga in

hitrost vetra so merjeni ob 14. uri, količina padavin je izmerjena v 24 urah. Podatki, ki smo jih pridobili za posamezno postajo, so:

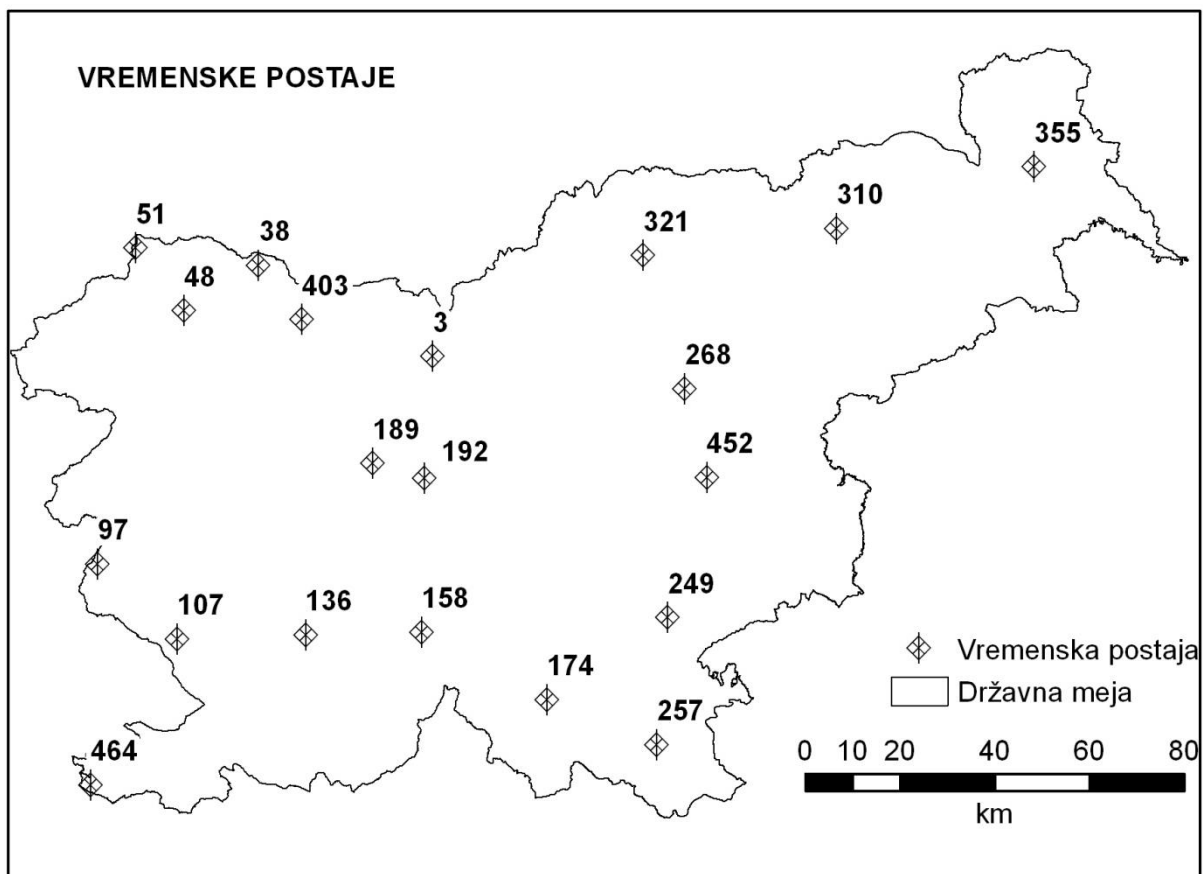
- temperatura zraka ($^{\circ}$ C),
- relativna vlaga (%),
- veter (podatki so podani v m/s in smo jih preračunali v km/h),
- padavine (mm).

Za kakovost meteoroloških podatkov skrbi ARSO - Urad za meteorologijo. Nad podatki, po priporočilih Svetovne meteorološke organizacije, izvajajo kontrolo s kontrolnimi postopki, logičnimi in prostorskimi, ki so jih razvili v Oddelku za kontrolo podatkov (Roethel-Kovač in Vičar, 2005).

Po pregledu podatkov o vremenskih spremenljivkah, ki imajo 15-letni neprekinjen niz opazovanj, nam je ostalo 15 vremenskih postaj v Sloveniji. Zaradi njihove neenakomerne prostorske porazdelitve (zelo slabo pokrita Štajerska, Karavanke in Bloke) smo dodali še 5 postaj, ki zmanjšajo nepokritost in imajo zelo malo manjkajočih vrednosti (manj kot 0,05 %). Manjkajoče vrednosti smo nadomestili z ocenjenimi glede na najbližjo vremensko postajo, kjer so bile te vrednosti merjene. Tako smo dodali še postaje:

- 3 (Krvavec): manjka meritev relativne vlage za en dan,
- 158 (Nova vas na Blokah): manjkajo meritve temperature, relativne vlage in hitrosti vetra za en dan,
- 268 (Celje - Medlog): manjka meritev hitrosti vetra za en dan,
- 310 (Maribor - Tabor): manjkajo meritve hitrosti vetra za pet dni,
- 403 (Lesce): manjkajo tri meritve relativne vlage in osem meritev hitrosti vetra za enajst dni.

Za Slovenijo smo tako določili 20 vremenskih postaj (slika 17), katerih meritve vremenskih spremenljivk smo uporabili v nadaljnjih analizah. Podrobnejši podatki o vremenskih postajah (ime, lokacija, nadmorska višina) so prikazani v prilogi B.



Slika 17: Vremenske postaje (ARSO, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje)

Figure 17: Weather stations

5.2.3 Gozdarske podatkovne zbirke

Spremljanje stanja in razvoja gozdov ter vodenje evidenc in baz podatkov za gozdarstvo je dejavnost javne gozdarske službe, ki jo v Sloveniji opravljata ZGS in GOZDIS (ZG, 2010). ZGS zbira podatke o značilnostih gozdov predvsem za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo. GOZDIS skladno s PVG (2009) izdeluje letna poročila o stanju gozdov tudi na podlagi metodologije za spremljanje stanja gozdov, ki je skladna z mednarodnimi zavezami, zlasti Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje prek meja in Okvirne konvencije Združenih narodov o spremembi podnebja, Resolucij Ministrskih konferenc o varstvu gozdov v Evropi ter poročil Organizacije Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo o gozdovih.

Najprej smo pregledali, katere gozdarske prostorske zbirke se zbirajo na študijskem območju in katere značilnosti gozdov vsebujejo. V nadaljevanju so predstavljene naslednje zbirke podatkov, ki jih vzdržuje ZGS (gozdni sestoji in stalne vzorčne ploskve) in zbirke podatkov, ki jih vzdržuje GOZDIS (podatki ploskev 4 km × 4 km in ploskev 16 km × 16 km ter trajne raziskovalne ploskve). Osredotočili smo se predvsem na značilnosti gozdnih sestojev. Te podatke smo uporabili za izgradnjo modela pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Parametre, ki jih potrebujemo za izdelavo modela tipov goriv, smo primerjali s podatki gozdarskih podatkovnih zbirk ZGS in GOZDIS ter pokazali na tiste, ki jih lahko uporabimo za izdelavo modela tipov goriv.

5.2.3.1 Gozdni sestoji

Gozdni sestoji so elementi vodoravne strukture gozda, ki se po določenih kriterijih (sestava in zgradba) razlikujejo od svoje okolice tako, da jih je možno razmejiti. S pojmom vodoravna struktura se označuje, kakšni so razmestitev, oblika, velikost sestojev ter kakšen je delež posameznih sestojnih tipov (razvojnih faz). Navpično strukturo sestojev lahko opišemo kot zastiranje vertikalnih plasti vegetacije, kar pomeni, da je razvitost spodnjih plasti vegetacije odvisna od zastiranja zgornjih plasti (Bončina, 2000). Za vertikalno strukturo gozda je značilna svojevrstnost rastlinskih in z njimi povezanih živalskih vrst ter ustrezna različnost abiotičnih dejavnikov okolja. Gozdni sestoji niso stalne ureditvene enote, njihove meje se v času in prostoru bolj ali manj spreminjajo. Z razvojem sestojev se spreminjajo obilje in diverzitetna zeliščne plasti, drevesna sestava, lesna zaloga, prirastek, kakor tudi delež mrtve biomase ter razmere za pomlajevanje (Poljanec, 2005).

Podatke o gozdnih sestojih zbira in vzdržuje ZGS (Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih, 2010; v nadaljevanju Pravilnik) ter izdeluje sestojne karte za potrebe gozdnogospodarskega načrtovanja oziroma izdelavo gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarskih enot (Matijašič in Šturm, 2006). Izdelana sestojna karta je sestavljena iz grafičnega in opisnega dela. Grafični del predstavlja vodoravno členitev gozda na sestoje, opisni del pa značilnosti le teh (priloga C). Skladno s Pravilnikom (2010) se pri opisu sestojev zajema podatke o stanju sestojev: razvojno fazo oziroma zgradbo, zasnovo, sklep, drevesno sestavo mladovja glede na površino (tri najbolj zastopane drevesne vrste), negovanost, lesno zalogo na hektar (m³/ha), drevesno sestavo glede na lesno zalogo, delež mladovja, drevesne vrste pod 1 % lesne zaloge in površino. V gozdovih gospodarskih razredov oziroma rastiščnogojitvenih razredov (RGR), kjer se lesna zaloga ugotavlja z okularnim ocenjevanjem, se za skupine drevesnih vrst oceni tudi struktura lesne zaloge po debelinskih razredih. Popisovalec opisne podatke z uporabo posebnega šifranta vpisuje v popisni list (priloga B).

ZGS je hkrati s pripravo Pravilnika (1998) izdelal podatkovni model, ki je povzema vse parametre, ki jih le ta zahteva. Tako so na posamezni gozdni sestoj »vezali« tri osnovne podatkovne zbirke (Matijašič in Šturm, 2006):

1. datoteka s podatki o značilnostih sestoja in načrtovanem možnem poseku vsebujejo zbrane podatke o razvojnih fazah sestojev, sklepu, negovanosti, pomlajeni površini, negovanosti ter lesni zalogi in prirastku, ločeno za iglavce in listavce. Zbirka hrani tudi podatke o smernicah za ukrepanje, predvidenih vrstah sečnje in načrtovanega možnega poseka (ločeno za iglavce in listavce). Za nekatere (mlajše) razvojne faze se v zbirko beležijo tudi podatki o zasnovi sestoja;

2. datoteka s podatki o dendrometrijski strukturi sestoja zajema podatke o deležu drevesnih vrst po lesni zalogi ter njeni debelinski strukturi. Debelinska struktura se oceni na terenu le v primeru, če sestoj pripada gospodarskemu razredu, v katerem se lesna zaloga ocenjuje le okularno in v njem ni meritev na stalnih vzorčnih ploskvah. V isti datoteki so tudi podatki o strukturi prirastka ter o strukturi pomladka (če se pojavlja v sestoj);
3. datoteka s podatki o načrtovanih gojitvenih in varstvenih delih vsebuje površino in intenziteto posameznih načrtovanih gojitvenih in varstvenih del v določenem sestoj. Pri tem si popisovalec pomaga tudi s posodobljenim gozdnogojitvenim načrtom.

V letu 2007 so bile izdelane sestojne karte za celo Slovenijo. Skladno z veljavnima standardoma ISO 19113:2002 in ISO 19114:2003 je Šturm (2009) analiziral njihovo kakovost. V analizi je primerjal podatke o značilnostih sestojev in načrtovanem možnem poseku s Pravilnikom (1998). V nadaljevanju je povzetek analize kakovosti sestojnih kart na ravni Slovenije, ki jo je naredil Šturm (2009).

Kakovost sestojnih kart

Kakovost sestojnih kart je ocenjena iz vidika petih osnovnih elementov kakovosti:

- podatkovna popolnost:

dosega veliko skladnost s Pravilnikom (1998). Zapisnih je tudi veliko število nadštevilnih vrednosti, predvsem vrednosti za sestojni sklep (14 % na študijskem območju), ki sestojne karte še dodatno obogatijo;

- logična usklajenost:

razmejevanje sestojev je odvisno predvsem od strukture gozdnih sestojev, popisovalca, rastišča in intenzivnosti gospodarjenja z gozdovi. V Sloveniji so razlike med opisi sestojev, ki so pogojene z različnimi, ne vedno človeškimi, vplivi. Opisni del sestojnih kart dosega zadovoljivo skladnost s Pravilnikom (1998) medtem, ko je pri grafičnem delu največja pomanjkljivost veliko število premajhnih površin (3 % na študijskem območju) in veliko število multipoligonov (na študijskem območju jih ni). Karta je topološko pravilno izdelana in kot taka brez napak;

- položajna natančnost:

položajna natančnost sestojnih kart je v najboljšem primeru enaka ocenjeni natančnosti DMV v gozdu, kar pomeni, da je natančnost karte največ 7 m. Odvisna je predvsem od kvalitete DOF5 in od napak v natančnosti interpretacije;

- časovna natančnost:

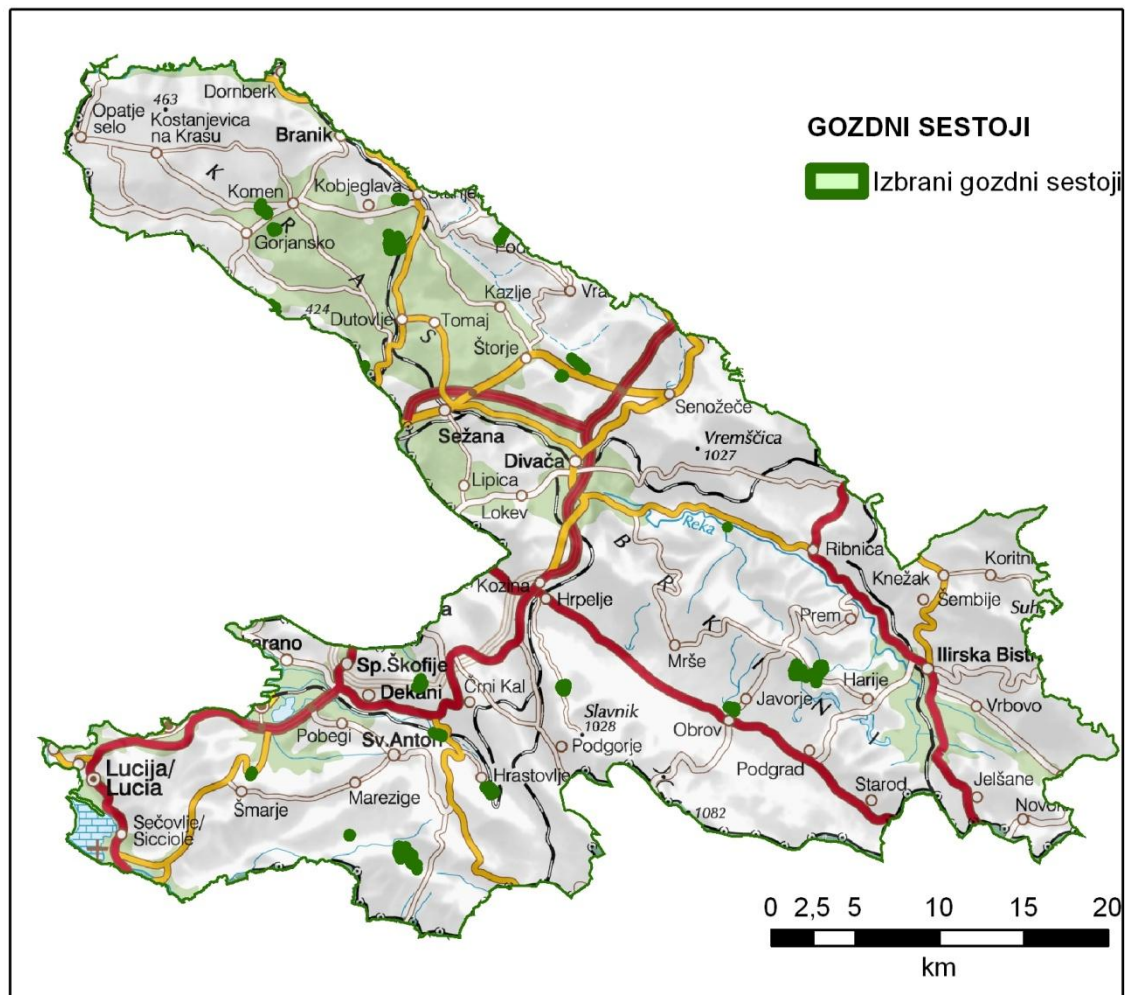
Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote (v nadaljevanju GGE) se izdeluje za obdobje desetih let in za isto obdobje se zajemajo tudi podatki o sestojih. Prve sestojne karte za posamezno GGE so bile izdelane že leta 1998, zadnje pa leta 2007. Iz tega sledi, da je povprečna starost sestojne karte pet let. Frekvenca obnavljanja podatkov je približno 10 % Slovenije vsako leto. Gozd, kot osnovni predmet sestojnih kart, se v desetih letih ne spremeni veliko. Izjeme so posegi človeka kot so krčitve, nedovoljeni poseki, preseke zaradi daljnovodov, cestnega omrežja ali nepričakovane in uničujoče naravne ujme (požari, vetrolomi, snegolomi). Te spremembe so lahko tako velike, da se gozdnogospodarski načrt dopolni, ko sprememba nastopi in ne šele pri obnovi. Iz Poročil ZGS za leti 1998 in 2007 je bilo ocenjeno, da se je površina gozdov v tem obdobju povečala za 73.621 ha ali 7 % na ravni Slovenije. Drevesna sestava gozdov po drevesnih vrstah se je v istem obdobju spremenila za manj kot 2 %. Delež teh sprememb je nastal tudi kot posledica novega načina zajema podatkov oziroma naprednejših tehnologij;

- tematska natančnost:

Pri oceni tematske natančnosti je ugotovil, da med posameznimi GGE obstajajo razlike pri izločanju negozdnega prostora (gozdne prometnice) iz gozda. Razlike med zajemanjem negozdnega prostora se pokažejo tudi pri (ne)skladnosti karte gozdnih odsekov in karte sestojev. Neskladnost med kartama lahko pripišemo predvsem različnim načinom pojmovanja in zajemanja opisov sestojev v začetku nastajanja sestojne karte leta 1998. Te razlike pa ne vplivajo bistveno na same sestojne karte.

Analiza kakovosti je pokazala, da je sestojna karta velik tehnološki dosežek slovenskega gozdarstva, je kakovostno izdelana in omogoča podroben vpogled v stanje gozdov na mikro ravni (Šturm, 2009).

V oceni, ki jo je izdelal Šturm (2009), je bila narejena primerjava zbranih podatkov s Pravilnikom (1998), ni pa bilo narejenega preverjanja z dejanskim stanjem na terenu. Zato smo v raziskavi še dodatno na študijskem območju opravili terenski pregled naključno izbranih dvajsetih gozdnih sestojev (slika 18). Najpomembnejše opisne lastnosti za 20 izbranih sestojev so prikazane v prilogi H.



Slika 18: Lokacije na terenu preverjenih gozdnih sestojev na Kraškem GGO (ZGS; Državna pregledna karta 1 : 500.000, 1998, Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS)

Figure 18: Selected forest stands in study area

Na terenskem ogledu smo primerjali zbrane podatke o gozdnih sestojih (položaj in sestojna struktura) s stanjem v naravi. Pregledali smo grafični zaris sestojev in zapise v zbirki podatkov (prisotnost in delež drevesnih vrst, razvojna faza in sestojni sklep), ki prikazujejo sestavo in zgradbo gozdnih sestojev.

Terenski pregled je pokazal, da zbrani podatki izbranih gozdnih sestojev opisujejo dejansko stanje v naravi ter tudi na primerno natančnost grafičnega zarisa sestojev. Ocena kakovosti oziroma primerjava zbranih podatkov o gozdnih sestojih s Pravilnikom (1998), ki jo je naredil Šturm (2009) in terenski ogled izbranih gozdnih sestojev sta pokazala, da zbrani podatki o gozdnih sestojih kakovostno prikazujejo stanje v naravi.

Značilnosti gozdnih sestojev

V podatkovni zbirki je na študijskem območju opisanih 13024 gozdnih sestojev. Preverili smo zbrane podatke, ki bi jih lahko uporabili za izgradnjo modela pojavljanja požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev in izdelavo modela tipov goriv. Pregledali smo naslednje parametre:

a) vektorska grafična slika sestojev:

prikazuje njihovo prostorsko porazdelitev. Grafični prikaz je topološko vzdrževan, kar je osnova za izvedbo prostorskih analiz v vektorskem podatkovnem modelu (Šumrada, 2005),

b) razvojna faza oziroma zgradba sestoja:

je pogojena s starostjo gozda, ki določa višino in debelino gozdnega drevja. V Sloveniji se skladno s Pravilnikom (2010) opisuje enajst razvojnih faz (v nadaljevanju RF), ki vključujejo tako dejanske RF kot tudi zgradbo gozda. Podrobnejšo členitev izključno na RF predstavljajo mladovje (oznaka 1), drogovnjak (2), debeljak (3) in sestoj v obnovi (4). Ostale kategorije predstavljajo zgradbo gozda in jo opisujejo kot dvoslojni sestoj (5), posamično do šopasto raznomerni sestoj (6), skupinsko do gnezdasto raznomerni sestoj (7), panjevec (8), grmičav gozd (9), pionirski gozd z grmišči (10) in tipični prebiralni sestoj (11),

c) sestojni sklep:

predstavlja gostoto (sklenjenost krošenj in njihovo zastornost) v plasti krošenj. Sestojni sklep se opisuje kot tesen, normalen, rahel ter vrzelast do pretrgan (Pravilnik, 2010). Podatki o sestojnem sklepu se prav tako vpisujejo na opisni list (priloga C). V Pravilniku (2010) so navedene RF, za katere je potrebno obvezno popisati sestojni sklep. Podatek o sestojnem sklepu na študijskem območju je zbran za 97 % vseh sestojev (ne glede na RF), kar nam omogoči njegovo uporabnost v nadaljnjih analizah,

d) drevesna sestava:

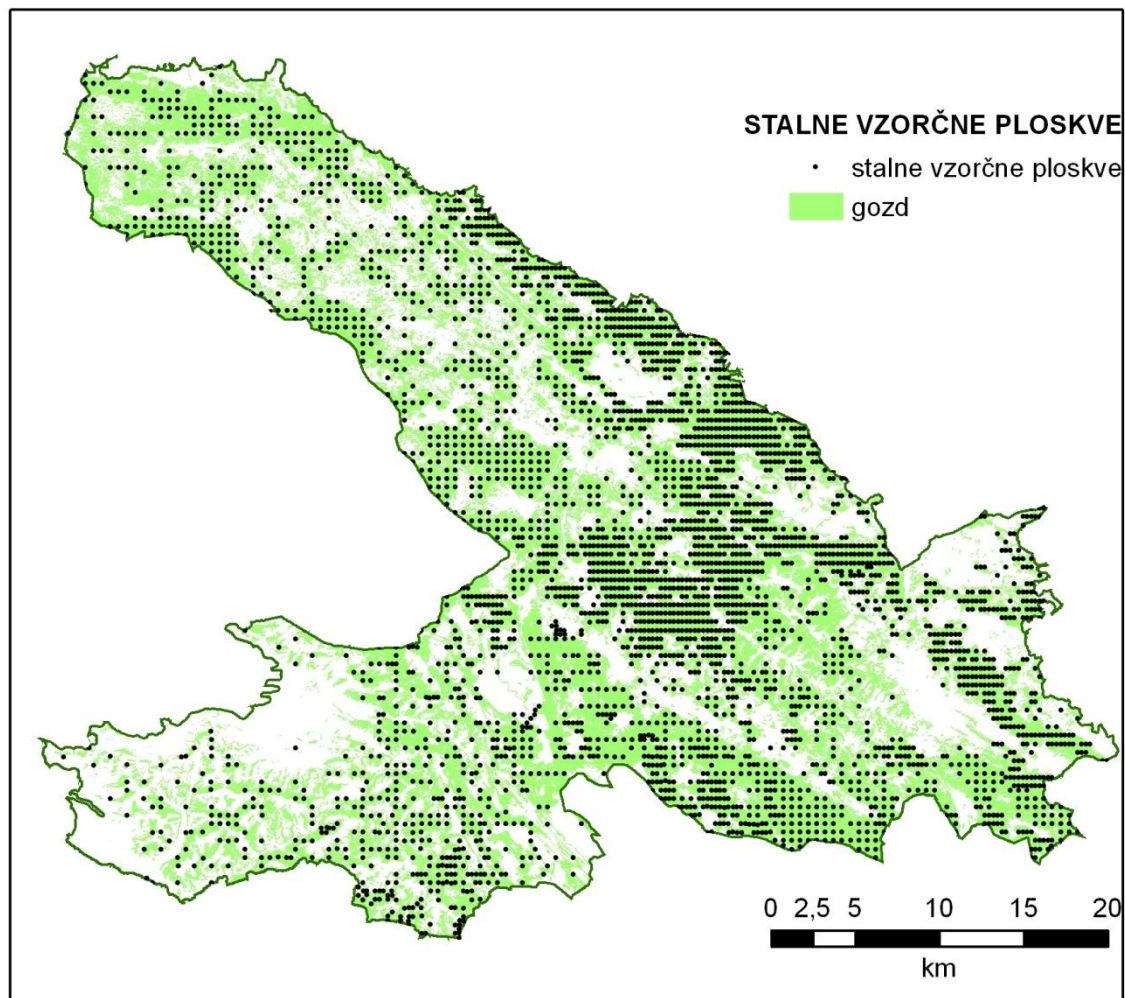
predstavlja mešanost sestojev. Za vsak gozdni sestoj je po drevesnih vrstah zapisana višine lesne zaloge (m^3). Iz teh podatkov se izračuna mešanost sestojev, ki predstavlja delež iglavcev v lesni zalogi in je razdeljena na štiri kategorije (priloga A):

- 100 % do 90 % iglavcev v lesni zalogi (oznaka 1),
- manj kot 90 % in več kot 50 % iglavcev v lesni zalogi (2),
- manj kot 50 % in več kot 10 % iglavcev v lesni zalogi (3),
- manj kot 10 % iglavcev v lesni zalogi (4).

Višina lesne zaloge (m^3) je za vsak gozdni sestoj zapisana tudi po debelinskih stopnjah. Debelinske stopnje oziroma debelinski razredi so (Pravilnik, 2010): I: 10–19 cm; II: 20–29 cm, III: 30–39 cm, IV: 40–49 cm, V: 50 in več cm.

5.2.3.2 Stalne vzorčne ploskve

Zbiranje podatkov za ugotavljanje stanja in razvoja gozdov na podlagi podatkov s stalnih vzorčnih ploskev je postalo obvezno s sprejemom Pravilnika (1998). Na ZGS so bila izdana Navodila za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah (v nadaljevanju SVP) (ZGS, 2010). Na študijskem območju je bilo v letu 2009 postavljenih 3622 SVP (slika 19), na katerih so bile posnete značilnosti 59.414 dreves.



Slika 19: Položaj stalnih vzorčnih ploskev ZGS na študijskem območju v letu 2009 (ZGS)
Figure 19: Slovenia forest service permanent sample plots on study area in year 2009

V Navodilih za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah (2010) je podrobno predstavljena metoda snemanja na SVP, podatki, ki se zbirajo na teh točkah (priloga D) in ukrepi za zagotavljanje kakovosti inventure. SVP so zakoličeni koncentrični krogi s stalno površino. Drevje s premerom ≥ 30 cm se snema na celem vzorcu velikosti petih arov ($R1 = 12,61$ m), drevje s premerom < 30 cm pa le na notranjem krogu velikosti dveh arov ($R2 = 7,98$ m). Na SVP se popiše vsa drevesa, tako živa kot odmrta (sušice). Podatki, ki se zbirajo pri snemanju na terenu, so (ZGS, 2010):

- opis vzorčne ploskve (opis in skica dostopa in posebnosti na ploskvi ter opis znakov vezanih na SVP),
- popis dreves na ploskvi,
- popis odmrle lesne mase,
- popis ostalih znakov (pomembnih z vidika varstva narave, krepitve vlog gozda ipd.).

Znaki o drevesih, ki se popisujejo na SVP, vključujejo tudi spremljanje zgodovine drevesa na ploskvi. Med opisovanjem zgodovine dreves se štejejo tudi sušice in posekana drevesa. Odmrta lesna masa je razdeljena na ležečo in stoječo odmrlo maso. Ležeče mrtvo drevje so ležeča drevesa, ki so rasla znotraj vzorčne ploskve, lahko so tudi posekana in v gozdu puščena drevesa, in sicer le tista drevesa, ki bodo nedvoumno ostala v gozdu. Med stoječe mrtvo drevje se štejejo vse stare sušice kot tudi vsa stoječa, v zadnjem inventurnem obdobju odmrta drevesa (ZGS, 2010).

Kakovost inventure na ZGS zagotavljajo s sprotim pregledovanjem izpolnjenih obrazcev (priloga D), kjer se odpravijo manjkajoče in nelogične vrednosti. Kontrola snemanja vključuje tudi ponovno izmero vzorčno izbranega števila SVP (ZGS, 2010).

5.2.3.3 Druge gozdarske zbirke podatkov

Stanje gozdov in gozdnih ekosistemov na ploskvah vzorčnih mrež spremlja tudi GOZDIS. Vzpostavljeno imajo mrežo ploskev na dveh ravneh (Ferlan in sod., 2010):

- a) 4 km × 4 km (»I. raven«; 800 grozdov), periodična snemanja (na 5–10 let),
- b) 16 km × 16 km (»I. raven«; 45 ploskev), od leta 1986 so snemanja vsako leto,
- c) na 10 trajnih raziskovalnih ploskvah (»II. raven«).

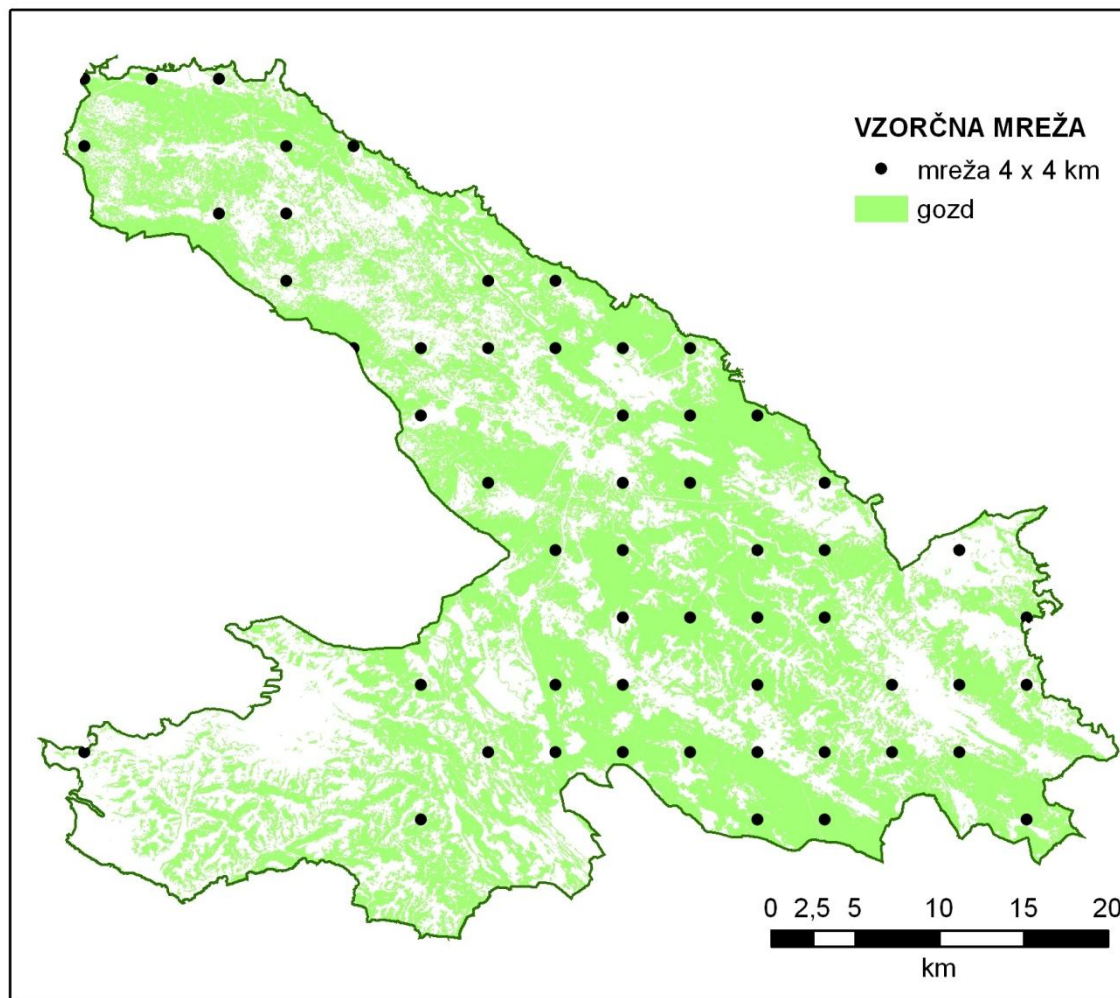
V določenih obdobjih so bili na različno gostih vzorčnih mrežah izvedeni še popisi stanja gozdnih tal in preskrba drevja s hranili (16 × 16 km) (Urbančič in sod., 2009) ter ocene zalog ogljika in dušika v opadu in tleh (8 × 8 km) (Urbančič in Simončič, 2005). Število ploskev posamezne ravni na študijskem območju je:

- a) mreža 4 km × 4 km: 55 ploskev,
- b) mreža 16 km × 16 km: 4 ploskve,
- c) trajna raziskovalna ploskev je ena.

Od navedenih podatkov smo se odločili, da najprej pregledamo, kateri podatki se zbirajo na ploskvah mreže 4 × 4 km (slika 20). Dela obsegajo podroben opis ploskve (rastišča in sestoja), meritve in ocenjevanje izbranih znakov na drevesih, ocenjevanje osutosti in poškodovanosti dreves ter ocenjevanje pokrovnosti epifitskih lišajev. Meritve in ocenjevanje na posameznih vzorčnih ploskvah obsega (Kovač, 2007):

- podroben opis ploskve (rastišča in sestoja),
- meritve in ocenjevanje dreves (prsni premer, razdalja od središča, azimut, drevesna vrsta, socialni položaj, višina in starost, določena na treh najdebelejših drevesih, status drevesa glede na biomaso, osutost in poškodovanost),
- meritve odmrle drevesne biomase (premer, dolžina, tip, razkrojenost),
- ocenjevanje pokrovnosti lišajev na šestih izbranih drevesih,
- anketo o gozdnih funkcijah.

Pri inventuri se popisujejo tudi podatki o lesnatih rastlinah (do debeline 10 cm in višine manjše od 1,3 m) in tankem (živem) drevju (do debeline 10 cm in višine enake ali višje od 1,3 m). Vpisuje se podatke samo o drevesnih vrstah, grmovnic se ne upošteva (Kovač, 2007). Odmrta biomasa obsega meritve ležečih dreves (podrtic), stoječih dreves (sušic), štorov (panjev), štrcljev in kosov, ki imajo premer enak ali več kot 10 cm. Na GOZDIS smo pridobili podatke meritev na vzorčni mreži 4 × 4 km. Pregledali smo njihove vrednosti in preverjali uporabnost za izdelavo modela tipov goriv na študijskem območju.



Slika 20: Vzorčna mreža 4 × 4 km na študijskem območju (GOZDIS, ZGS)

Figure 20: Sampling net 4 × 4 km in study area

Na ploskvah mreže 16 x16 km se zbirajo podatki o stanju gozdnih tal. To so podatki o organskih podhorizontih (opad – Ol, fermentacijske plasti – Of, humificirane organske plasti – Oh) in mineralnem delu tal (Urbančič in sod., 2009). Na teh ploskvah so prav tako zbrali podatke o vrstni sestavi, višini osebkov in stopnji zastiranja (pravokotna projekcija plasti na površino ploskve) posameznih vertikalnih plasti vegetacije (drevesne, grmovne, zeliščne in mahovne plasti). Raziskav gozdnih tal in pritalne vegetacije na študijskem območju je veliko (Lebez Lozej in Urbančič, 1998; Urbančič in sod., 1999; Urbančič in sod., 2001; Urbančič in Dakskobler, 2001; Urbančič, 2002; Kralj, 2008), vendar so ponavadi narejene na posameznih točkah, na manjših površinah ali s točno določenim namenom.

5.3 Analiza podatkov

Pred napovedovanjem pojavljanja gozdnih požarov smo naprej naredili analizo pretekle požarne ogroženosti. Osnovne statistične analize in prikaze podatkov smo naredili s programom Excel 2007. Preteklo požarno aktivnost na študijskem območju smo analizirali glede na opisne podatke o gozdnih požarih, ki se zbirajo v Poročilih o požaru (priloga A):

- število požarov in velikosti pogorelih površin po mesecih,
- število požarov in velikosti pogorelih površin po letih,
- vrsto in zgradbo vegetacije, ki je bila prizadeta v požarih,
- poškodovano lesno maso v neto m³ (iglavci, listavci),
- tipe požarov (podtalni, talni, vršni).

Poleg analize opisnih podatkov pretekle požarne aktivnosti, smo naredili tudi prostorsko analizo porazdelitve gozdnih požarov v prostoru (lokacije požarov). Obe analizi skupaj sta nam dober omogočili vpogled v značilnosti pojavljanja gozdnih požarov na študijskem območju.

Za preverjanje točnosti meteorološkega indeksa požarne ogroženosti (CFFWIS) uporabili prostorske analize (Thiessenovi poligoni, prostorska interpolacija), logistično regresijo in klasifikacijsko drevo. Rezultate CFFWIS smo analizirali, jih primerjali s preteklo požarno aktivnostjo in tako dobili odgovor o točnosti meteorološkega indeksa požarne ogroženosti na študijskem območju.

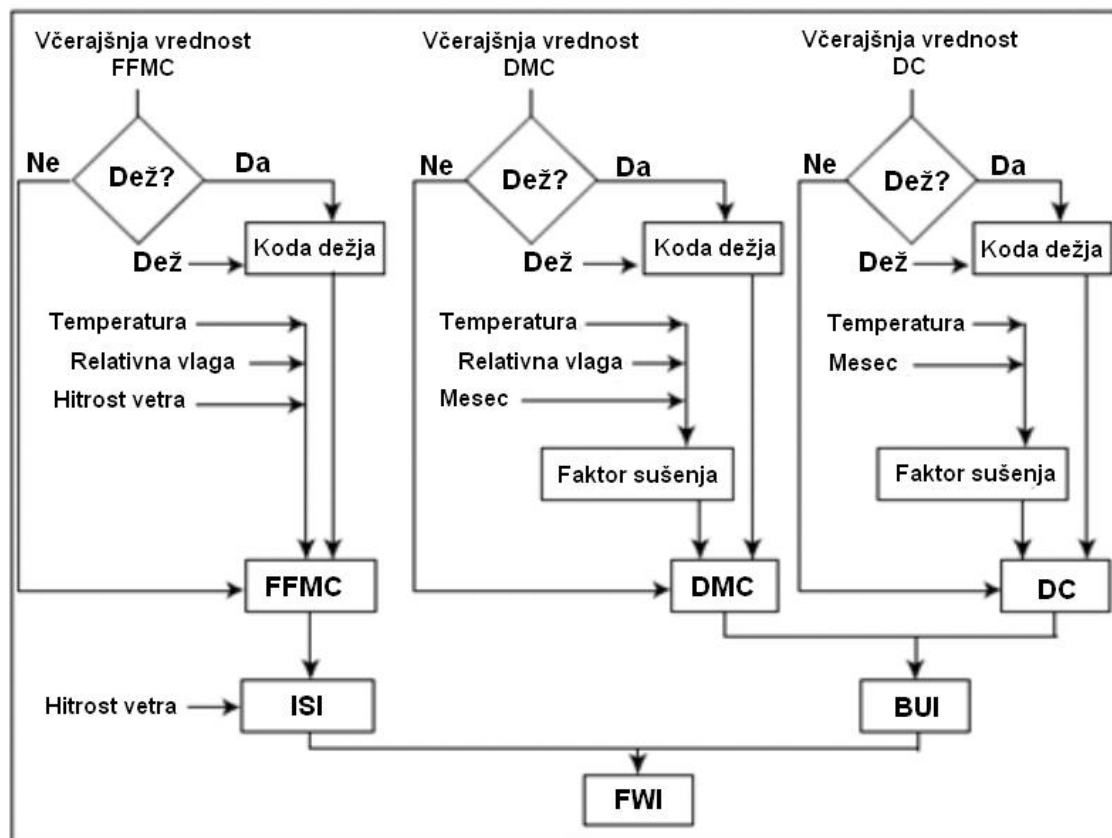
Prostorski model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili s statističnimi prostorskimi analizami. Najprej smo z analizami opisnih podatkov o značilnostih gozdnih sestojev pripravili ustrezne spremenljivke, ki jih potrebujemo za izgradnjo modela pojavljanja požarov. Rezultate modela smo primerjali s požarno aktivnostjo v letih 2010 in 2011 ter tako preverili njegovo točnost.

5.4 Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov

Za izračun meteorološkega indeksa požarne ogroženosti smo uporabili podatke o vremenskih spremenljivkah temperatura, relativna vlaga, količina padavin in hitrost vetra. Za vseh 20 vremenskih postaj v Sloveniji smo za vsak dan v obdobju raziskave izračunali komponente CFFWIS. CFFWIS se navadno računa iz opazovanj merjenih ob 12. uri (Van Wagner, 1987; Lawson in Armitage, 2008), vendar teh podatkov nismo imeli na voljo. Za izračun smo zato uporabili podatke meteoroloških meritev ob 14. uri. Izračunali smo tri šifre vlažnosti goriva (Van Wagner, 1987):

- šifro vlažnosti drobnega goriva (FFMC), ki predstavlja vsebnost vlage v opadu in drugem suhem gorivu,
- šifro vlažnosti srednjega goriva (DMC), ki predstavlja vsebnost vlage v zgornjih plasteh gozdnih tal, kjer se drobno gorivo začne razkrajati,
- šifro vlažnosti grobega goriva (DC), ki predstavlja vsebnosti vlage v globljih plasteh gozdnih tal in tri indekse širjenja požara (Van Wagner, 1987):
- indeks začetnega širjenja (ISI), ki je kombinacija hitrosti vetra in FFMC in predstavlja hitrosti širjenja požara brez vpliva spremenljivke o količini goriva,
- indeks celotnega goriva (BUI), ki je kombinacija DMC in DC in predstavlja količino goriva, ki je na voljo za širjenje požara,
- indeks požarne ogroženosti gozdov (FWI), ki je kombinacija indeksov ISI in BUI in predstavlja intenzivnost širjenja požara ter je kazalec splošne požarne ogroženosti.

Izračun posameznih komponent je podrobno predstavljen v Van Wagner in Pickett (1985) ter v Van Wagner (1987). Shematski diagram poteka izračuna komponent CFFWIS je prikazan na sliki 21. Za začetne vrednosti za šifre vlažnosti goriva smo prevzeli vrednosti, ki jih priporočata Lawson and Armitage (2008): FFMC = 85, DMC = 6, DC = 15.



Slika 21: Shematski diagram izračuna šestih standardnih komponent CFFWIS (Lawson in Armitage, 2008)

Figure 21: Schematic diagram for calculating the six standard components of the CFFWIS (Lawson in Armitage, 2008)

Iz vrednosti indeksa FWI smo na podlagi metode percentilov (Helfman in sod., 1987; Andrews in sod., 2003) za vsako vremensko postajo določili pet stopenj požarne ogroženosti (Preglednica 9). Določili smo stopnje požarne ogroženosti (zelo majhna, majhna, srednja, velika, zelo velika), katerih poimenovanje je skladno z Uredbo o varstvu pred požarom v naravnem okolju (2006).

Preglednica 9: Stopnje požarne ogroženosti, percentilni razredi in vrednosti indeksa FWI na študijskem območju (1995–2009)

Table 9: Fire danger rating, percentile ranges and FWI values in the study area (1995–2009)

Stopnja požarne ogroženosti	Požarna ogroženost	Razred (percentili)
1	zelo velika	97,5
2	velika	90
3	srednja	½ od 90
4	majhna	¼ od 90
5	zelo majhna	0

Za rekonstrukcijo preteklega požarnega vremena na študijskem območju smo izbrali tiste vremenske postaje, ki merijo vremenske razmere na Kraškem GGO. Te postaje smo določili z metodo Thiessenovih poligonov (poglavje 5.5.2). Najprej smo izračunali povprečne vrednosti vremenskih spremenljivk iz teh postaj. Iz povprečnih vrednosti vremenskih spremenljivk smo izračunali vrednosti komponent CFFWIS. Določili smo stopnje požarne ogroženosti (preglednica 9) in jih povezali s podatki o pretekli požarni aktivnosti (Harrington in sod., 1983; Amiro in sod., 2004). Naredili smo primerjavo med stopnjami požarne ogroženosti in preteklo požarno aktivnostjo. Za vsako stopnjo smo določili glavne značilnosti požarne aktivnosti, ki je predstavljena kot število dni s požarno aktivnostjo, številom požarov na dan, dnevno pogorelo površino in velikostjo požara.

Pregledali smo tudi pojavljanje požarov v povezavi s posameznimi stopnjami požarne ogroženosti in ugotavljali glavna odstopanja od komponent CFFWIS. Z uporabo logistične regresije (Hosmer in Lemeshow, 2000) smo poskusili ugotoviti ali lahko s sprejemljivo natančnostjo napovemo dan, v katerem se bo zgodil požar ter določiti, katere komponente CFFWIS vplivajo na pojavljanje požarov. Dnevne vrednosti komponent CFFWIS smo uporabili kot neodvisne spremenljivke, kot odvisno spremenljivko smo uporabili požarni dan. Požarni dan ima vrednost 1, če se je na ta dan zgodil eden ali več požarov, in vrednost 0, če požara ni bilo. Za statistično ocenjevanje komponent CFFWIS smo uporabili test χ^2 (hi-kvadrat) razmerja verjetnosti. Natančnost modela smo ocenili s površino pod krivuljami ROC (*Receiver Operator Characteristic*).

Z uporabo klasifikacijskega drevesa (De'ath in Fabricius, 2000) smo določili vpliv trenutnih vremenskih razmer (izražene skozi indeks ISI) in pogojev za nastanek suše (izražene skozi indeks BUI). Indeksa ISI in BUI predstavljata gonilni sili gozdnega požara, tj. vremenske razmere in razpoložljivo gorivo. Uporabili smo vrednosti indeksov ISI in BUI in ju primerjali s požarnim dnevom.

5.5 Prostorske analize

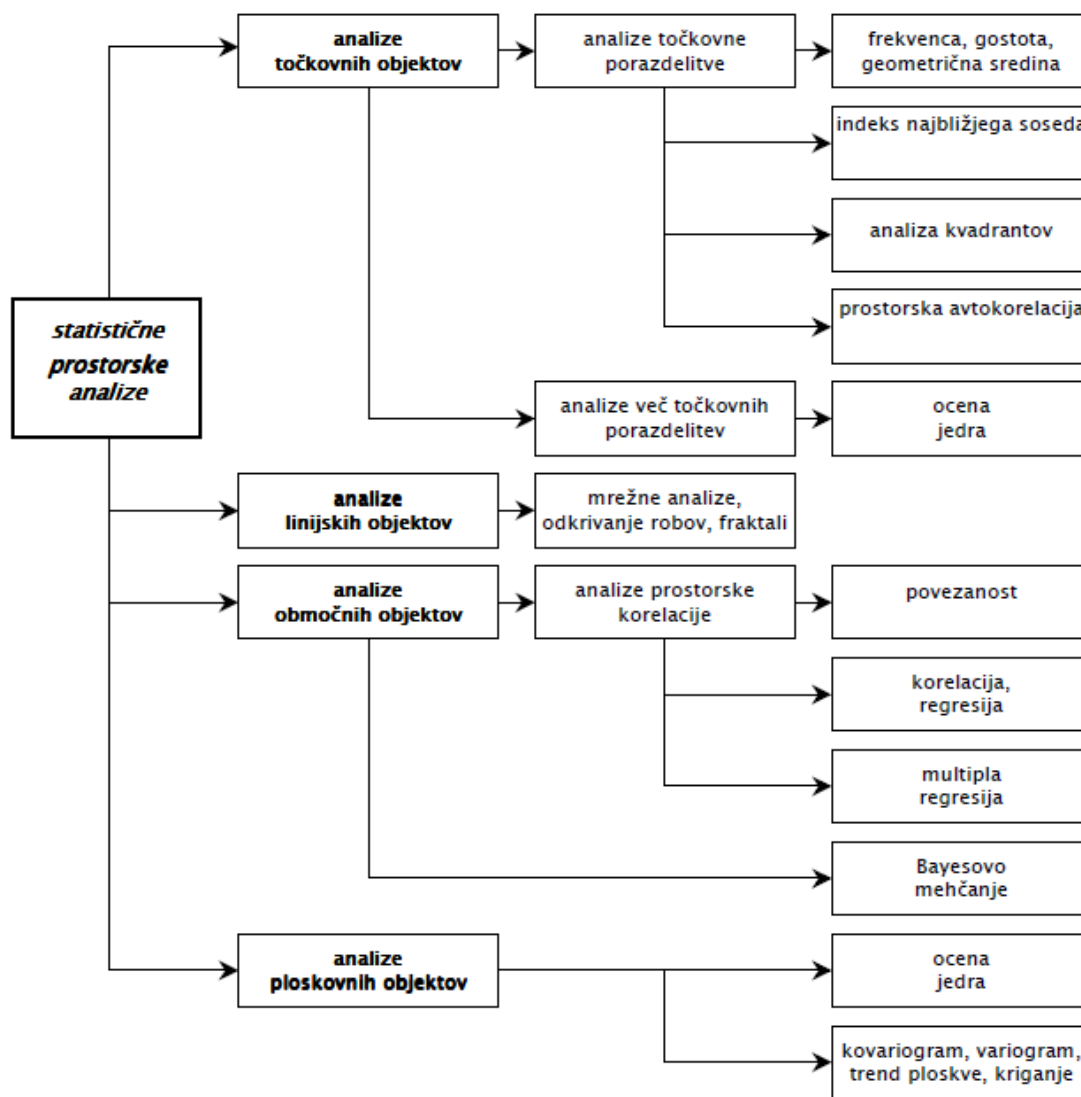
V nalogi smo analizo pretekle požarne aktivnosti, preverjanje točnosti CFFWIS in izgradnjo prostorskega modela pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev naredili s prostorskimi analizami. Zato smo jih najprej na kratko predstavili in podrobneje predstavili tiste, ki smo jih uporabili. Prostorske analize je opredelil Berry (1987, cit. po Podobnikar, 1998) in sicer kot analize, s katerimi analiziramo prostorske podatke in ustvarjamo nove informacije. Razdelil jih je na:

- analitične operacije: kamor spadajo določanje in spreminjanje meja razredov, prekrivanje podatkovnih slojev, geometrične operacije ter analize sosedstva,
- operacije prostorskih interpolacij: različne točkovne in območne metode,
- operacije statističnih prostorskih analiz: metode raziskovalnih in potrjevalnih statističnih analiz prostorskih podatkov,
- operacije ocenjevanja in testiranja napak: metode ocenjevanja ter testiranja vgrajenih in operativnih napak prostorskih podatkov.

Statistične analize prostorskih podatkov obravnavamo glede na grafične objektne tipe (Kvamme in sod., 1997, cit. po Podobnikar in Drobne, 1999):

- točkovni objektni tip (0D),
- linijski objektni tip (1D),
- območni (arealni) objektni tip (2D),
- ploskovni objektni tip (3D).

Statistične prostorske analize, opredeljene po grafičnem pristopu, so prikazane na sliki 22.



Slika 22: Grafični pristop delitve statističnih prostorskih analiz v GIS-u (Podobnikar in Drobne, 1999)
 Figure 22: Graphic approach of statistical spatial analysis distribution (Podobnikar in Drobne, 1999)

V nadaljevanju so predstavljene prostorske analize uporabljene v nalogi.

5.5.1 Ocena jedra

V nalogi smo uporabili metodo ocene jedra ali funkcijo jedrne gostote (*kernel density*), ki spada med analize več točkovnih porazdelitev. Z njo smo izračunali gostoto požarov v mreži celic. Uporabili smo mrežo kvadratnih celic z velikostjo 12,5 m. Vrednost ploskve (gostota) je največja na lokaciji požara in pada z oddaljenostjo od točke, ter doseže vrednost 0 na izbrani razdalji (Bobnar in sod., 2010). Izbira razdalje je izredno pomembna, ker večje razdalje ustvarijo bolj gladko ploskev (večja generalizacija) in obratno, manjše razdalje prikazujejo več detajlov. Za izbiro primerne razdalje smo uporabili srednjo naključno razdaljo (*mean random distance* - RDmean), ki se izračuna po formuli (De la Riva in sod., 2004):

$$RDMean = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{N}}$$

kjer je:

A: velikost območja (m²),

N: število požarov znotraj območja.

Za izbrano razdaljo so v preteklih raziskavah priporočali dvojno vrednost RDmean (De la Riva in sod., 2004; Koutsias in sod., 2004), ki smo jo uporabili tudi v tej raziskavi.

V primeru naše raziskave je velikost območja velikost Kraškega GGO, ki meri 1524,76 km² (ZGS, 2003). Število požarov znotraj območja je število požarov, ki so zajeti v raziskavo, tj. 871. Tako smo izračunali srednjo naključno razdaljo 1323 m, ki je naša izbrana razdalja za izračun jedrne gostote. Jedrna gostota se uporablja za študije določanja požarno ogroženih območij (Koutsias in sod., 2004; Asgary in sod., 2010), pa tudi na drugih področjih (Jerina, 2006). Iz teh raziskav smo tudi prevzeli splošne razrede, ki aktivnosti ali pojave razvrščajo v tri skupine ($p = 0.35$, $p = 0.65$, $p = 0.95$). Območja povečane gostote pojavljanja požarov smo tudi raziskali in poskušali ugotoviti, če in kakšne posebnosti vsebujejo.

5.5.2 Thiessenovi poligoni

Za potrebe statistične analize preteklega požarnega vremena na študijskem območju smo najprej določili tiste vremenske postaje, katerih meteorološke meritve prikazujejo stanje vremena na študijskem območju. To smo storili z metodo Thiessenovih poligonov (tudi Voronojevi diagrami oziroma Dirichletove celice), ki so enostavna metoda določitve območij oddaljenosti (Burrough 1986, cit. po Podobnikar, 1998). Izračun Thiessenovih poligonov spada med geometrične operacije, s katerimi določamo relativne položaje pojavov na podatkovnem sloju (Podobnikar, 1998). S to metodo ločimo enakovredne točkovne pojave na delovnem območju med seboj. Rezultat analize so neprekinjeni poligoni oziroma mnogokotniki, ki razmejujejo vsak točkovni pojav od sosednjih tako, da so vse točke v notranjosti posameznega mnogokotnika najbližje pripadajočemu tokovnemu pojavu (kot centroidom posameznih mnogokotnikov).

Vhodne točke v prostoru so vremenske postaje z znanimi koordinatami. Vremenske postaje, ki imajo vplivno območje na študijskem območju, smo izbrali s primerjavo meje študijskega območja in vplivnih območij vremenskih postaj. Na ta način smo določili vremenske postaje 97 (Bilje), 107 (Godnje), 136 (Postojna), 158 (Nova vas na Blokah) in 464 (Portorož – letališče). Pri pregledu rezultatov smo izločili vremensko postajo Nova vas na Blokah, ki s svojim vplivnim območjem zelo malo oziroma skoraj ne sega na študijsko območje. Za preverjanje ustreznosti sistema CFFWIS na študijskem območju smo izbrali podatke meritev vremenskih spremenljivk štirih vremenskih postaj Bilje, Godnje, Postojna in Portorož - letališče.

5.5.3 Prostorska interpolacija

Požarna ogroženost se izračunava za lokacijo, kjer je postavljena vremenska postaja, protipožarne službe pa morajo poznati požarno vreme na območjih med vremenskimi postajami (Flannigan in Wotton, 1989). Vremenske postaje v osnovi niso namenjene raziskavam gozda in so pogosto postavljene izven gozdnih površin. V tem primeru potrebujemo prostorsko interpolacijo komponent CFFWIS, ki omogoča določitev požarne ogroženosti med njimi (Aguado in sod., 2003).

Operacije prostorskih interpolacij, ki omogočajo tudi ocenjevanje neznanih vrednosti med danimi lokacijami (Podobnikar, 1998), smo uporabili za izdelavo interpoliranih ploskev, ki prikazujejo vrednosti indeksa FWI za vsako točko na študijskem območju. Metod interpolacije je veliko, za izračun vrednosti indeksa FWI med vremenskimi postajami, ki se uporablja za določitev splošne požarne ogroženosti (Van Wagner, 1987), smo uporabili metodo prostorske interpolacije z zlepci (*spline*), ki producira krivulje najmanjših ukrivljenosti skozi dane točke (Podobnikar, 1998). Flannigan in Wotton (1989) sta s testom ugotovila, da je za interpolacijo indeksa FWI to najbolj primerna metoda. Izdelava interpoliranih zveznih ploskev v programskem paketu ArcGIS (esri, 1999–2010) je mogoča, kadar imamo najmanj 10 točk v prostoru. Zato smo za izdelavo zveznih ploskev požarne ogroženosti z metodo prostorske interpolacije uporabili vse izbrane vremenske postaje v Sloveniji (slika 17). Poleg njih smo želeli uporabiti tudi vremenske spremenljivke tistih vremenskih postaj, ki se nahajajo v bližini študijskega območja v Italiji in na Hrvaškem. Naše poizvedovanje po teh podatkih ni bilo uspešno. Zato smo se omejili samo na vremenske postaje v Sloveniji.

Prikaz interpoliranih zveznih ploskev in rezultatov smo omejili na študijsko območje. Za preverjanje natančnosti rezultatov interpolacijske metode smo uporabili 20 dni z največjo požarno aktivnostjo. Za vsak izbrani dan smo izračunali stopnje požarne ogroženosti, naredili zvezne ploskve po izbrani metodi prostorske interpolacije in preverili njihove vrednosti na lokacijah pojavljanja požarov.

Postopek izdelave posamezne zvezne ploskve in določanje stopnje požarne ogroženosti je lahko dolgotrajen. Zato smo z orodjem *Model builder* (esri, 1999–2010) izdelali model, ki nam je omogočil hitrejšo in avtomatizirano izdelavo zveznih ploskev. Postopek izdelave modela za izdelavo zveznih ploskev in njihovo klasifikacijo v stopnje požarne ogroženosti je za izbrano interpolacijsko metodo naslednji:

1. določitev parametrov interpolacijske metode zlepkov in izdelava zveznih ploskev stopenj požarne ogroženosti na podlagi vrednosti indeksa FWI,
2. izdelava modela, ki na podlagi indeksa FWI naredi zvezno ploskev, jo primerja s stopnjami požarne ogroženosti in izdela karto stopenj požarne ogroženosti za izbrani dan,
3. izdelava interpolirane zvezne ploskve vrednosti indeksa FWI za izbrani dan.

Izhodni podatek iz modela je prostorska zvezna ploskev, ki med vremenskimi postajami prikazuje stopnje požarne ogroženosti za izbrani dan. Celice zveznih ploskev vsebujejo vrednosti na lestvici od 1 do 5, kjer 1 predstavlja zelo veliko, 5 pa zelo majhno požarno ogroženost. Zvezne ploskve imajo velikost prostorske celice 500×500 m. Za tako velikost celice smo se odločili zaradi hitrosti obdelave podatkov. Vrednosti celic zveznih ploskev smo pripisali lokacijam pojavljanja gozdnih požarov v študijskem obdobju. Predpostavili smo, da mora biti na mestu, kjer se je pojavil požar, stopnja požarne ogroženosti zelo velika in označena s številko 1. Preverjali smo, kdaj in kolikokrat ima celica zvezne ploskve na mestu, kjer se je pojavil požar, vrednost 1.

5.5.4 Geografsko utežena regresija

Model pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev smo izdelali z operacijami statističnih prostorskih analiz nad območnimi (arealnimi) objektnimi tipi (gozdni sestoji). S statističnimi analizami območnih objektov analiziramo odnose med posameznimi območji v podatkovnem sloju. V to skupino analiz štejemo predvsem razne analize prostorske korelacije, kontingence ter regresije, kot tudi ocene jedra ter analize štetja in razmerij. Analize lahko razdelimo na (Podobnikar in Drobne, 1999):

- analiza povezanosti (za nominalne vrednosti),
- korelacijski koeficient in linearna regresija,
- multipla regresija,
- logistična regresija.

Izmed naštetih smo v nalogi uporabili logistično regresijo, katere uporabo za študije odvisnosti požarov v naravi od več parametrov, priporočajo tudi drugi avtorji (Podobnikar, 1998; Podobnikar in Drobne, 1999). Logistična regresija je najbolj splošen statistični model za reševanje problemov, v katerih napovedujemo verjetnost dogodka, pri katerih ima odvisna spremenljivka binomsko porazdelitev, neodvisne spremenljivke pa so lahko opisne ali/in številске (Košmelj, 2001). Najenostavnejši predstavnik te družine je linearni verjetnostni model, ki je v bistvu regresijska analiza izvedena s pomočjo metode najmanjših kvadratov.

V nalogi smo za izgradnjo modela prostorskega pojavljanja gozdnih požarov na študijskem območju uporabili metodo najmanjših kvadratov (*ordinary least squares* - OLS) in geografsko uteženo regresijo (*geographically weighted regression* - GWR). Metoda najmanjših kvadratov je klasična metoda linearnega regresijskega modeliranja, ki temelji na predpostavki, da je razmerje med odvisno in pojasnjevalno spremenljivko konstantno, ne glede na njuno geografsko lokacijo (Fotheringham in sod., 1998; Koutsias in sod., 2005). Ta predpostavka je znana kot stacionarnost. Metoda najmanjših kvadratov je globalni regresijski model, ki ga zapišemo kot (Fotheringham in sod., 1998):

$$y_i = a_0 + \sum_k \alpha_k x_{ik} + e_i,$$

kjer je y odvisna spremenljivka, x je vrednost neodvisne spremenljivke, α predstavlja parametre, ki jih ocenjujemo, ε predstavlja standardno napako ocene, i predstavlja točko v prostoru, kjer so na lokaciji x , y zapisane meritve. Razmerje med y in x naj bi bilo enakomerno razporejeno v celotnem preučevanem območju.

Predpostavka stacionarnost je v realnosti pogosto prekršena. To omejitev presega pristop, ki je poznan kot geografsko utežena regresija (*geographically weighted regression* – GWR). Metoda GWR pri izračunu upošteva, da se odnos med spremenljivkami glede na njihov položaj v prostoru spreminja (Fotheringham in sod., 1998). Pri metodi GWR se namesto globalnega modela izračunava lokalni model, ki ga zapišemo kot (Fotheringham in sod., 1998):

$$y_i = \alpha_0(u_i, v_i) + \sum_k a_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i,$$

kjer (u_i, v_i) predstavljata koordinate točke i v prostoru in $\alpha_k(u_i, v_i)$ predstavlja izračun funkcije $\alpha_k(u, v)$ na točki i . Pomembno je dejstvo, da je koeficient α odvisen od lokacije i in je zato načeloma za vsako prostorsko enoto drugačen, kar je temeljna razlika od običajne globalne regresije (Rogerson 2006, cit. po Bole, 2010). Metoda GWR pri izračunu upošteva, da je razmerje med odvisno in pojasnjevalno spremenljivko spremenljivo glede na njuno geografsko lokacijo. To spremenljivost upošteva pri izračunu lokalnih vrednosti.

Uteževanje, ki poteka v tej metodi, je odvisno od posamezne prostorske enote. Pri tem velja, da imajo vrednosti v okolici točke i večji vpliv na ocenjevanje regresijskih koeficientov, kot tiste vrednosti, ki so od točke i bolj oddaljene (Fotheringham in sod., 1998). Uteževanje poteka po formuli (Fotheringham in sod., 1998):

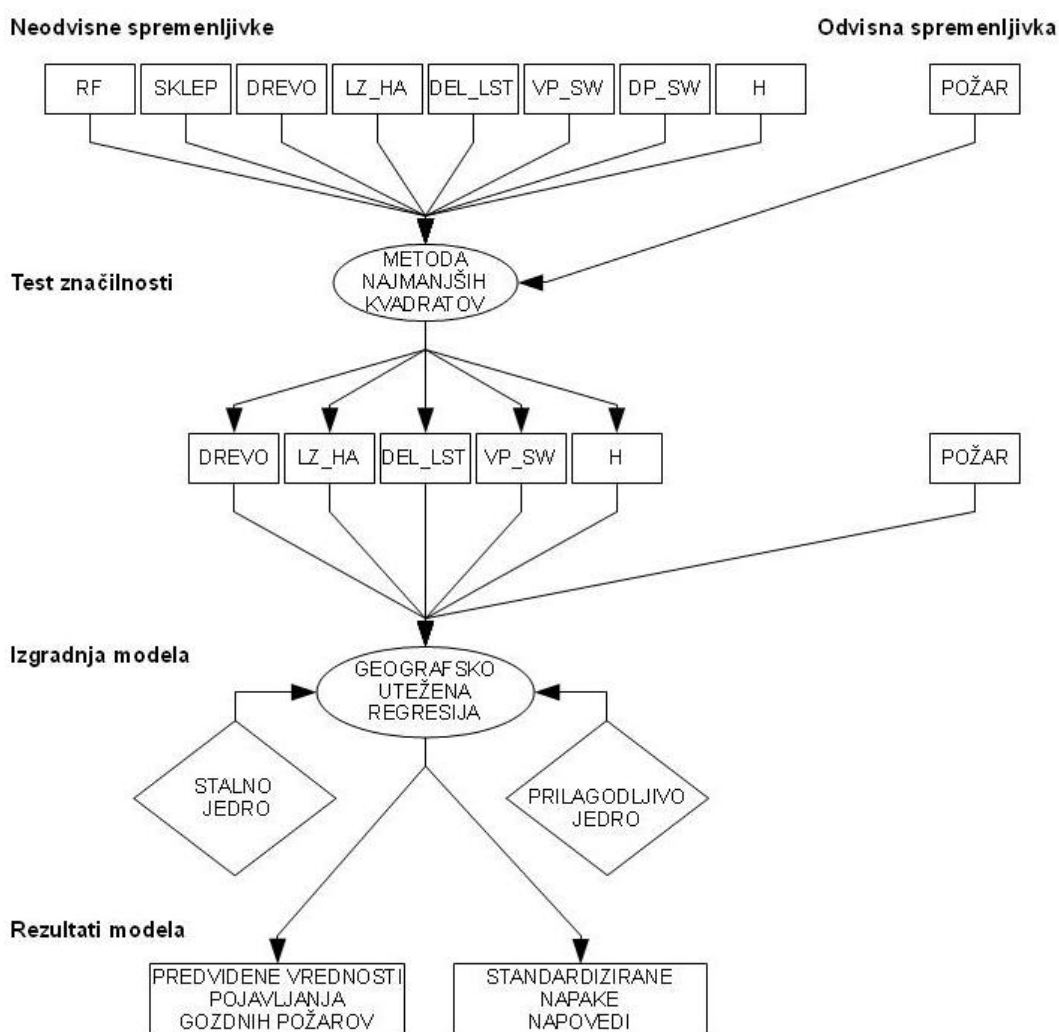
$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{\beta^2}\right),$$

kjer je d razdalja med i in j lokacijo, β pa predstavlja pasovno širino (*bandwidth*). Pasovna širina pomeni, da so uteži med bližnjimi prostorskimi enotami večje, med bolj oddaljeni pa manjše in se približujejo ničli (Fotheringham in sod., 1998). Za določanje vrednosti pasovne širine β se uporabljajo različni načini, na primer AICc (*akaike information criteria*) ali CV (*cross validation* – navzkrižno preverjanje) vrednost. Lahko pa jo določimo tudi sami (esri, 1999–2010). Z metodo GWR za vsako prostorsko enoto izračunamo svojo regresijsko enačbo. Pomembni so tudi ostali rezultati metode GWR, predvsem napake napovedi (*residuals*) in lokalne vrednosti R^2 (stopnja ujemanja). Končni rezultat metode GWR je v obliki kartografskega prikaza, kjer lahko vizualno ocenjujemo razmerja med odvisno in neodvisnimi spremenljivkami.

Najprej smo določili odvisno in neodvisne spremenljivke. Za odvisno spremenljivko smo izbrali podatek o preteklem gozdnem požaru v gozdnem sestoju. Vsakemu sestoju smo glede na geografsko lokacijo gozdnega požara pripisali podatek o gozdnem požaru (požgano/nepožgano). Neodvisne spremenljivke so merjene z zveznimi parametri na nivoju gozdnega sestoja. Pri določitvi neodvisnih spremenljivk smo izhajali iz podatkov o značilnostih gozdnih sestojev in njihovi dendrometrijski strukturi. Osnova za določitev neodvisnih spremenljivk so bili vsi zbrani opisni podatki o gozdnih sestojih.

Model prostorskega pojavljanja gozdnih požarov smo naredili na grafičnem sloju gozdnih sestojev v programskem paketu ArcGIS (esri, 1999–2010). Postopek izgradnje modela je prikazan na sliki 23, poimenovanje spremenljivk je navedeno v poglavju 5.5.4.1. Najprej smo zgradili globalni regresijski model z metodo najmanjših kvadratov, brez upoštevanja dejanskih lokacij prostorskih enot in brez uteževanja. Z metodo OLS izračunamo eno globalno regresijsko enačbo, ki predstavlja razmerja med določenimi spremenljivkami. Metoda OLS nam na globalni ravni pokaže, kakšen je model (močan, šibek), statistično pomembnost modela in ali so v modelu odvečne spremenljivke. Če so v modelu, glede na test značilnosti, odvečne spremenljivke, teh ne uporabimo pri izgradnji modela z metodo GWR. Uporabimo samo tiste neodvisne spremenljivke, ki izkazuje statistično značilnost in vplivajo na odvisno spremenljivko. Neodvisne spremenljivke smo naprej uporabili pri izgradnji modela z metodo GWR v programskem paketu ArcGIS, ki omogoča izvajanje metode z še dodatnimi možnostmi. Prva

možnost je izbira jedra (*kernel*), ki se uporablja za geografsko uteževanje. Izbiramo lahko med stalnim (*fixed*) in prilagodljivim (*adaptive*) jedrom. Stalno jedro ima faktor izravnave konstanten (razdalja), prilagodljivo jedro pa se spreminja glede na gostoto podatkov (število sosedov). Stalno jedro ima manjšo sistematično napako in varianco (Seaman in Powell, 1996). Prilagodljivo jedro zmanjša variabilnost ocene predvidevanja na območjih z nizko gostoto in jo poveča na območjih z veliko gostoto (Van Kerm, 2003). To pomeni, da se ocene predvidevanja pristransko povečajo na območjih, kjer je veliko število dogodkov in obratno. Druga možnost je izbira metode določanja pasovne širine (*bandwidth*) za uteževanje. Izbiramo lahko med tremi metodami: AICc, CV ali uporabniško določenim koeficientom pasovne širine. Uporabniško določen koeficient pasovne širine je odvisen od izbire jedra. Če izberemo stalno jedro, potem moramo vpisati razdaljo, če pa izberemo prilagodljivo jedro, lahko vpišemo število sosedov.



Slika 23: Postopek izgradnje prostorskega modela pojavljanja gozdnih požarov
 Figure 23: Process of building forest fire occurrence model

Z geografsko uteženo regresijo smo izdelali dva modela pojavljanja gozdnih požarov, v katerih smo za vsak sestoj izračunali predvideno verjetnost pojavljanja gozdnega požara. Pri prvem GWR modelu smo uporabili stalno jedro z uporabniško določeno razdaljo, ki je enaka razdalji, ki smo jo uporabili za izračun jedrne gostote gozdnih požarov (1323 m). Pri GWR modelu s prilagodljivim jedrom smo izhajali iz izhodišča, da želimo določiti površino 10.000 ha gozdov, ki so na Kraškem GGO požarno najbolj ogroženi. Pri tem smo uporabili tolikšno število sosedov, da je skupna površina požarno najbolj ogroženih gozdnih sestojev manjša ali enaka 10.000 ha.

Metodi OLS in GWR s stalnim jedrom smo primerjali med seboj glede na vrednosti R^2 (stopnja ujemanja) in izbrali bolj ustrezno. Prav tako smo med sabo primerjali rezultate izdelane po GWR

metodi (s stalnim in prilagodljivim jedrom). Rezultate metod smo prikazali na štiristopenjski lestvici požarne ogroženosti. Za določitev razredov smo uporabili metodo kvartilov (Martinez in sod., 2009; Lutz in sod., 2011). Grafično smo prikazali gibanje povprečne verjetnosti pojavljanja požarov po neodvisnih spremenljivkah, ki smo jih uporabili v metodi GWR s stalnim jedrom. Za prikaz vpliva posamezne neodvisne spremenljivke smo njihove vrednosti razdelili v različne razrede, ki so odvisni od vrste spremenljivke. Nadmorske višine smo na primer razdelili v razrede po 100 m, lesno zalogo smo razdelili v razrede po 50 m³/ha, delež listavcev smo razdelili na razrede po 10 %, vrstno pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu smo razdelili po metodi kvartilov (Ogris in sod., 2006). Za določitev povprečne verjetnosti pojavljanja gozdnega požara v posameznem razredu smo uporabili metodo utežene aritmetične sredine, kjer smo za utež uporabili površino gozdnega sestoja. Povprečno verjetnost pojavljanja požara smo izračunali tudi za vsak rastiščnogojitveni razred (RGR). Te vrednosti smo primerjali z opisi rastiščnogojitvenih razredov v gozdnogospodarskem načrtu Kraškega GGO (ZGS, 2003). V načrtu je za vsak RGR zapisano, če in v kolikšni meri je požarno ogrožen. Območja, ki prikazujejo zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti po metodi GWR s prilagodljivim jedrom, smo primerjali z lokacijami gozdnih požarov, ki so se pojavili v letih 2010 in 2011.

5.5.4.1 Priprava podatkov

Model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili na podlagi podatkov o značilnosti gozdnih sestojev in lokacij preteklih gozdnih požarov. Gozdni sestoji so bili razmejeni v obdobju 1998–2007 medtem, ko gozdni požari opisujejo preteklo požarno aktivnost v obdobju 1995–2009. Obdobji se med sabo ne ujemata popolnoma, se pa zelo prekrivata. Nekateri gozdni sestoji so bili opisani, preden se je v njih pojavil požar, spet drugi pa opisujejo stanje po požaru. Kasneje smo v raziskavi ugotovili, da je večina požarov talnih, pri katerih ne zgorijo debela in drevesne krošnje, ki so glavni predmet opisovanja gozdnih sestojev. Različni časovni obdobji vhodnih podatkov ne vplivata na rezultate modela, ker se značilnosti gozdnih sestojev spreminjajo zelo počasi (v daljših časovnih obdobjih) (Šturm, 2009).

Za vsak gozdni sestoj smo iz zbranih podatkov privzeli in izračunali osem njegovih značilnosti oziroma neodvisnih spremenljivk:

- razvojna faza (RF),
- sestojni sklep (SKLEP),
- vodilna drevesna vrsta glede na lesno zalogo (DREVO),
- lesna zaloga na hektar (LZ_HA),
- delež listavcev glede na lesno zalogo (DEL_LST),
- vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu (VP_SW),
- debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu (DP_SW),
- nadmorska višina sestoja (H).

Vsakemu sestoju smo tudi pripisali podatek ali se je v njem pojavil gozdni požar. Zapisali smo vrednost 1, če je bil požar v gozdnem sestoju in 0, če požara ni bilo.

Razvojna faza

Na študijskem območju je največji delež po površini sestojev ocenjen z RF drogovnjak, ki mu sledita debeljak in panjevec (preglednica 10). Ostale razvojne faze dosegajo zelo majhne deleže. Dvoslojnih sestojev in tipičnih prebiralnih sestojev se na študijskem območju ni. Poimenovanja RF smo spremenili v šifre, ki smo jih potem uporabili za izgradnjo modela.

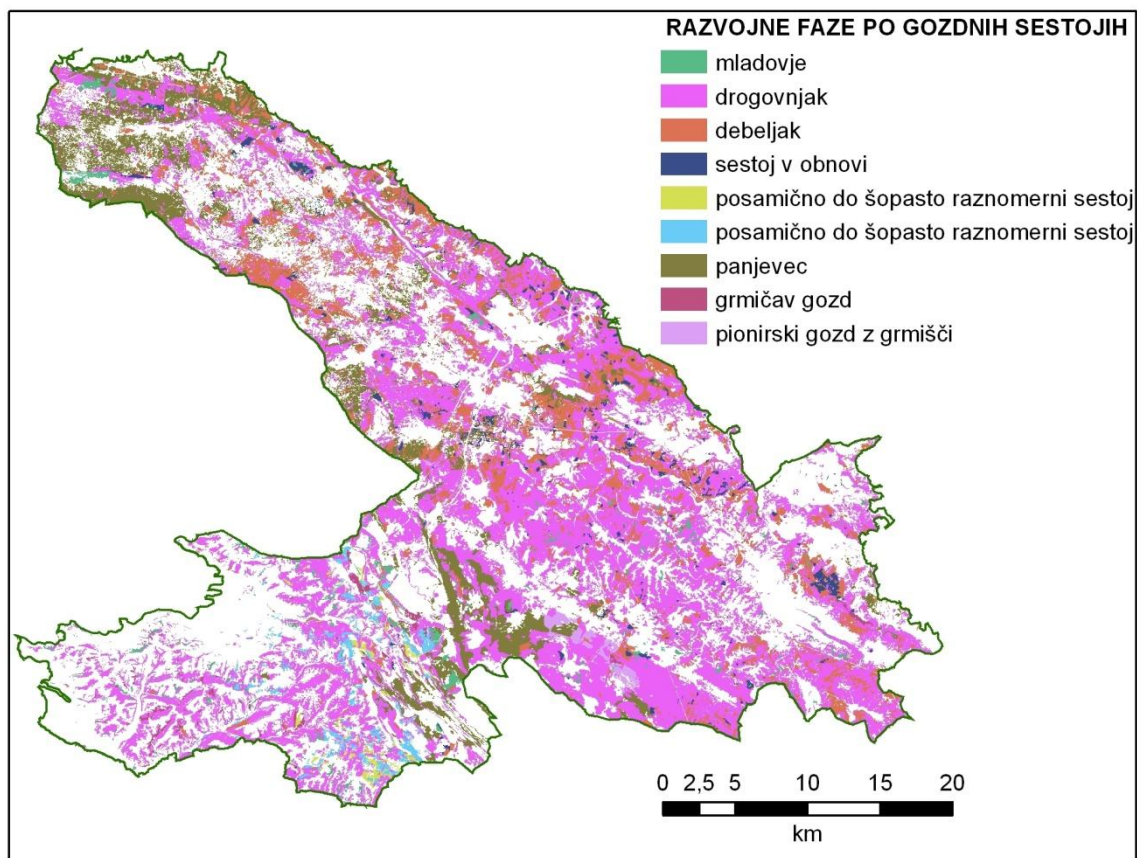
Preglednica 10: Deleži razvojnih faz na študijskem območju (1999–2008)

Table 10: Shares of development stages in the study area (1999–2008)

Razvojna faza	Število sestojev	Površina (ha)	Delež površine (%)
mladovje	628	1722,5	2
drogovnjak	7432	51.933,9	60
debeljak	2868	14.394,8	17
sestoj v obnovi	483	1876,3	2

Razvojna faza	Število sestojev	Površina (ha)	Delež površine (%)
posamično do šopasto raznomerni sestoj	92	531,8	1
skupinsko do gnezdasto raznomerni sestoj	210	1472,3	2
panjevec	1125	12.048,0	14
grmičav gozd	97	662,2	1
pionirski gozd z grmišči	89	866,1	1

Prostorska razporeditev RF je prikazana na sliki 24.



Slika 24: Razvojne faze po gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)

Figure 24: Forest stands development stages in the study area (1999–2008)

Sestojni sklep

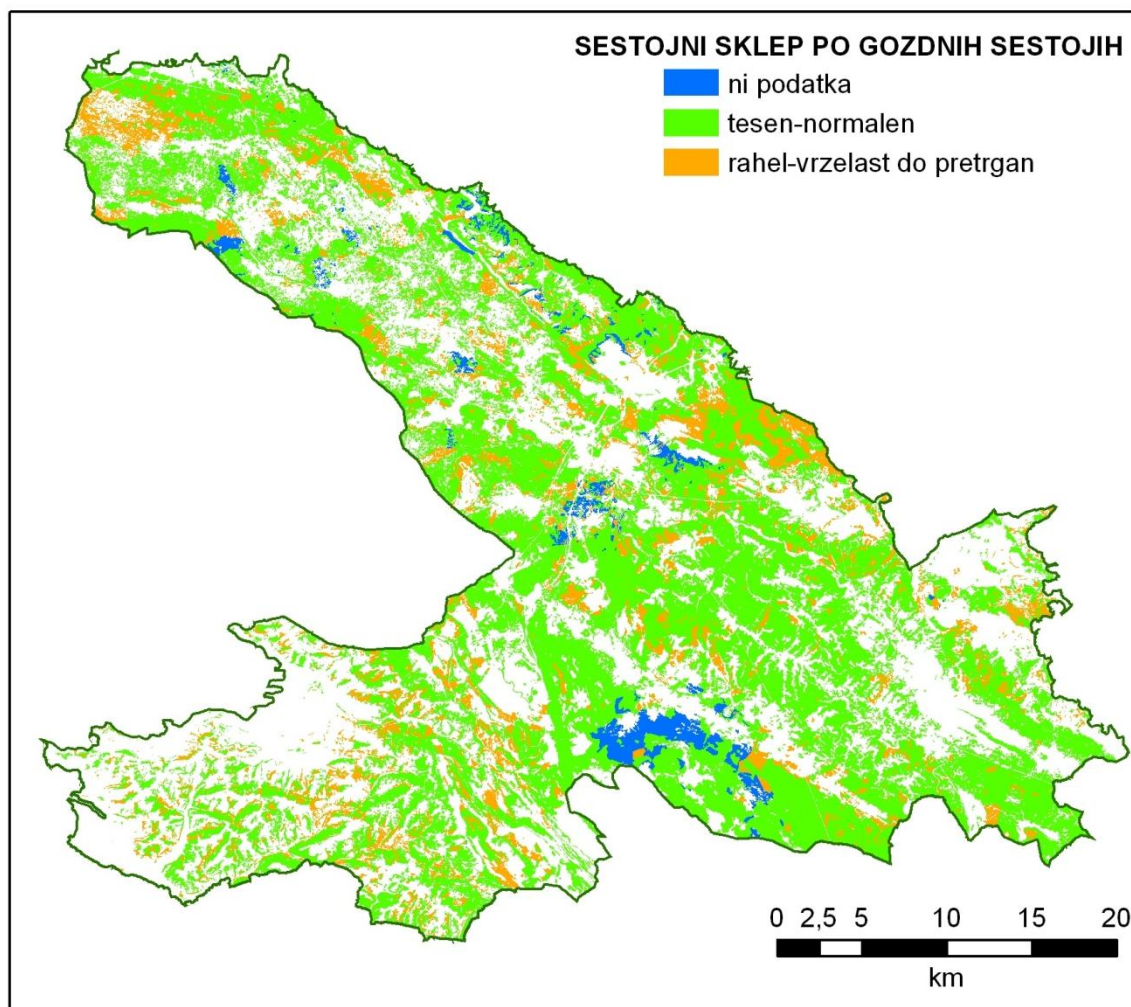
Podatke o sestojem sklepu smo oblikovali v tri skupine. V prvi skupini smo združili tesen in normalen sklep, ter v drugi skupini rahel in vrzelast do pretrgan sklep. V tretjo skupino smo uvrstili sestoje, ki nimajo podatka o sestojnem sklepu. Na študijskem območju prevladujejo gozdni sestoji z tesnim in normalnim sklepom, ki pokrivajo 79 % vseh gozdov (preglednica 11). Sledijo jim sestoji z rahlim in vrzelastim do pretrganim sklepom. Gozdnih sestojev brez podatka o sklepu je 346 ali manj kot 3 % in pokrivajo 4 % površine.

Preglednica 11: Vrste in deleži sestojnega sklepa na študijskem območju (1999–2008)

Table 11: Shares of canopy closure in the study area (1999–2008)

Sestojni sklep	Število sestojev	Površina (ha)	Delež površine (%)
ni podatka	346	3027,5	4
tesen - normalen	10127	67.645,2	79
rahel - vrzelast do pretrgan	2551	14.835,3	17

Prostorski prikaz skupin, v katere smo razdelili podatke o sestojnem sklepu, je viden na sliki 25.



Slika 25: Sestojni sklep po gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)

Figure 25: Forest stands canopy closure in the study area (1999–2008)

Vodilna drevesna vrsta

Za vsak gozdni sestoj smo izračunali vodilno drevesno vrsto v sestojju glede na višino lesne zaloge (preglednica 12). Največkrat se na študijskem območju pojavljajo gozdni sestoji, kjer prevladujejo črni bor (21 %), graden (14 %), bukev (13 %), puhasti hrast (13 %), črni gaber (10 %) in cer (10 %). Gozdni sestoji, v katerih prevladujejo smreka, rdeči bor, zeleni bor, kostanj, robinja, beli gaber, mali jesen in črna jelša dosegajo deleže med 1 % in 10 % površine območja gozdov na študijskem območju. V to skupino spadajo tudi gozdni sestoji, kjer je navedena RF mladovje, v kateri se ne ocenjuje lesna zaloga (Pravilnik, 2010). Gozdnih sestojev, kjer prevladujejo druge drevesne vrste, katerih delež glede na površino je manjši od 1 %, je 381 in pokrivajo 1486,31 ha gozdov (2 %).

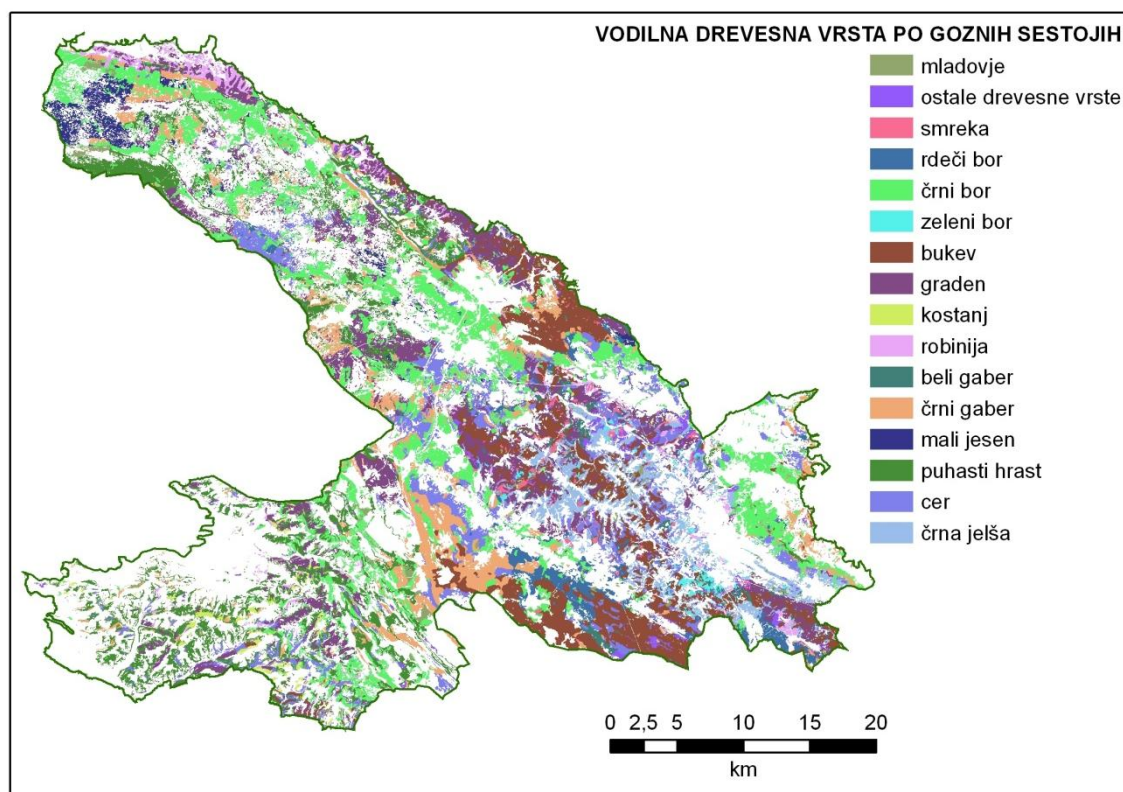
Preglednica 12: Vodilne drevesne vrste v gozdnih sestojih in površinski deleži teh sestojev na študijskem območju (1999–2008)

Table 12: Main tree species and their area shares in forest stands in the study area (1999–2008)

Drevesna vrsta	Število sestojev	Površina (ha)	Delež površine (%)
mladovje	677	1678,3	2
smreka	380	927,2	1
rdeči bor	378	2657,6	3
črni bor	2910	17.533,1	21
zeleni bor	196	610,7	1

Drevesna vrsta	Število sestojev	Površina (ha)	Delež površine (%)
bukev	1479	11.392,1	13
graden	1758	11.793,8	14
kostanj	129	672,5	1
robinija	636	2266,7	3
beli gaber	183	939,9	1
črni gaber	817	8361,2	10
mali jesen	100	1848,9	2
puhasti hrast	1252	10.837,0	13
cer	1198	8453,4	10
črna jelša	550	4049,3	5

Na sliki 26 so prikazane vodilne drevesne vrste po gozdnih sestojih.

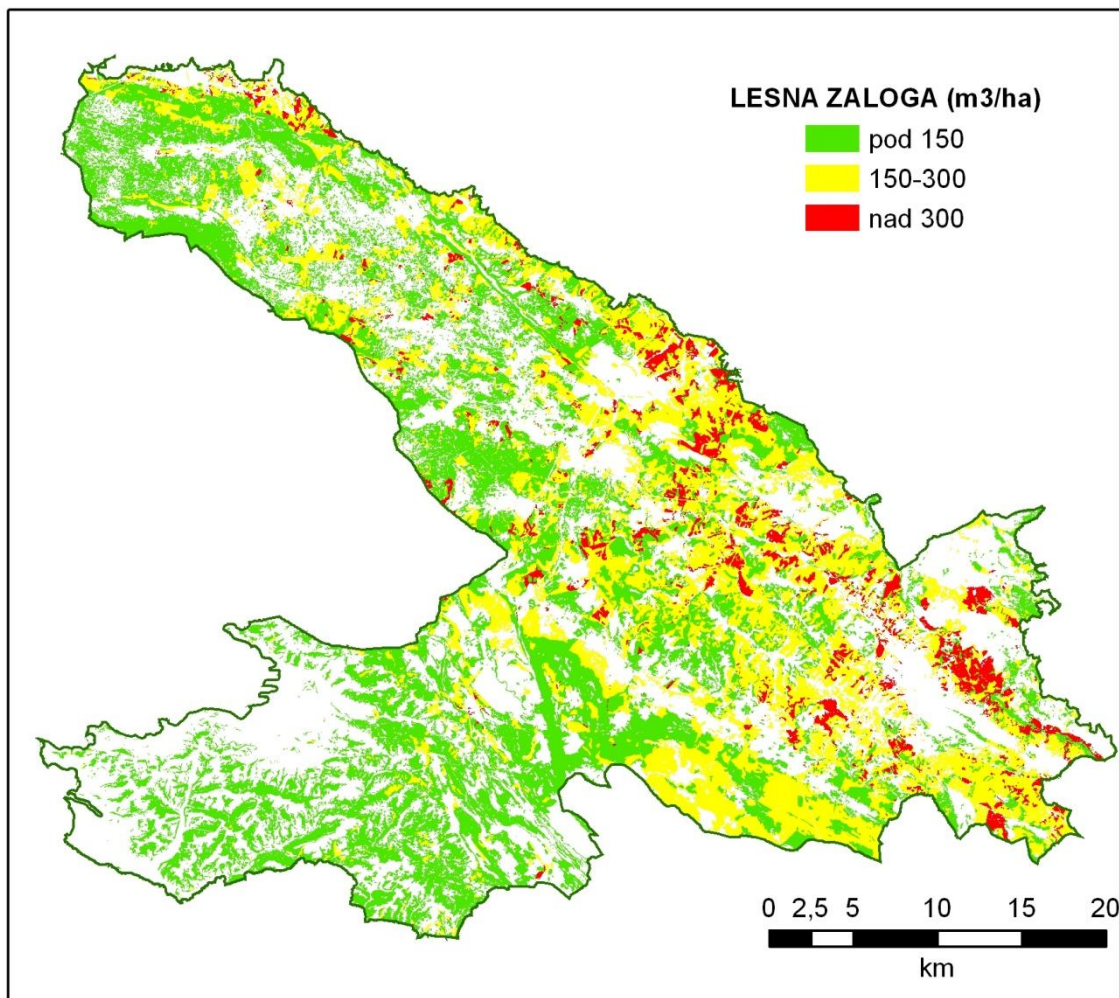


Slika 26: Vodilne drevesne vrste gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)

Figure 26: Forest stands main tree species in the study area (1999–2008)

Lesna zaloga na hektar

Za vsak gozdni sestoj smo izračunali lesno zalogo na hektar (m^3/ha). Na velikem delu študijskega območja lesne zaloge ne dosegajo velikih vrednosti (slika 27). Največje lesne zaloge se pojavljajo na območju Brkinov in Vremščice.



Slika 27: Lesna zaloga na hektar na študijskem območju (1999–2008)
Figure 27: Growing stock per hectare in the study area (1999–2008)

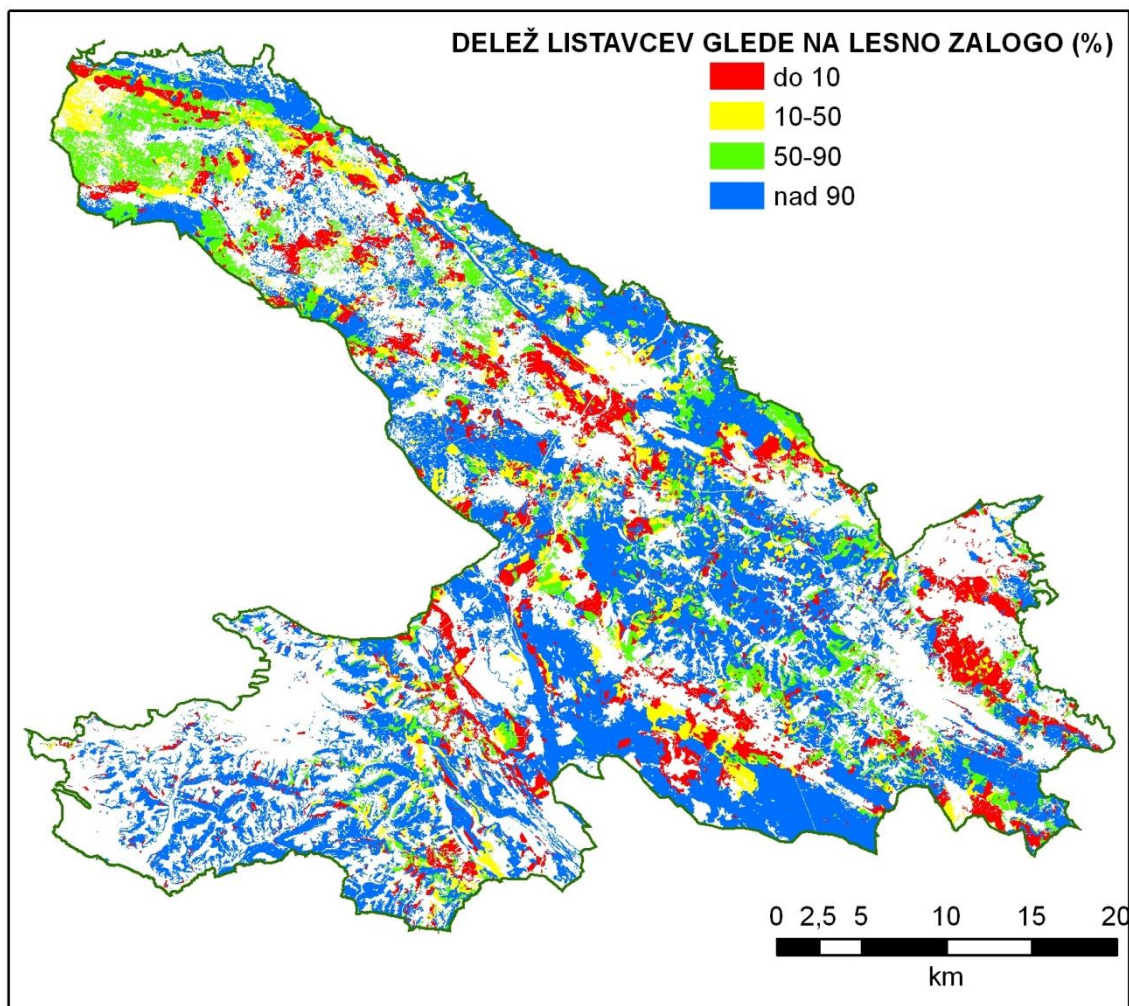
Delež listavcev glede na lesno zalogo

Delež listavcev glede na lesno zalogo (%) smo izračunali iz podatkov o lesni zalogi po drevesnih vrstah, kjer smo združili vse listavce v eno skupino in izračunali njihov delež glede na celotno lesno zalogo v gozdnem sestoju. Za vsak razred smo pregledali število in površine gozdnih sestojev v njem (preglednica 13). Na sliki 28 smo prikazali delež listavcev po gozdnih sestojih, ki smo ga razdelili v štiri razrede (priloga A).

Preglednica 13: Deleži listavcev glede na lesno zalogo po razredih iz priloge A na študijskem območju (1995–2009)

Table 13: Share of broadleaves trees per wood stock in the relation to the classes in Annex A in the study area (1995–2009)

Delež listavcev (%)	Število sestojev	Delež (%)	Površina (ha)	Delež (%)
do 10	2913	22	14.408,81	17
10-50	1540	12	8397,25	10
50-90	1595	12	12.356,18	14
nad 90	6976	54	50.345,77	59



Slika 28: Delež listavcev v lesni zalogi gozdnih sestojev na študijskem območju (1999–2008)
Figure 28: Share of broadleaves trees per wood stock in forest stands in the study area (1999–2008)

Vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu

Vrstno pestrost v sestoji smo izračunali s Shannon-Wienerjevim indeksom:

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

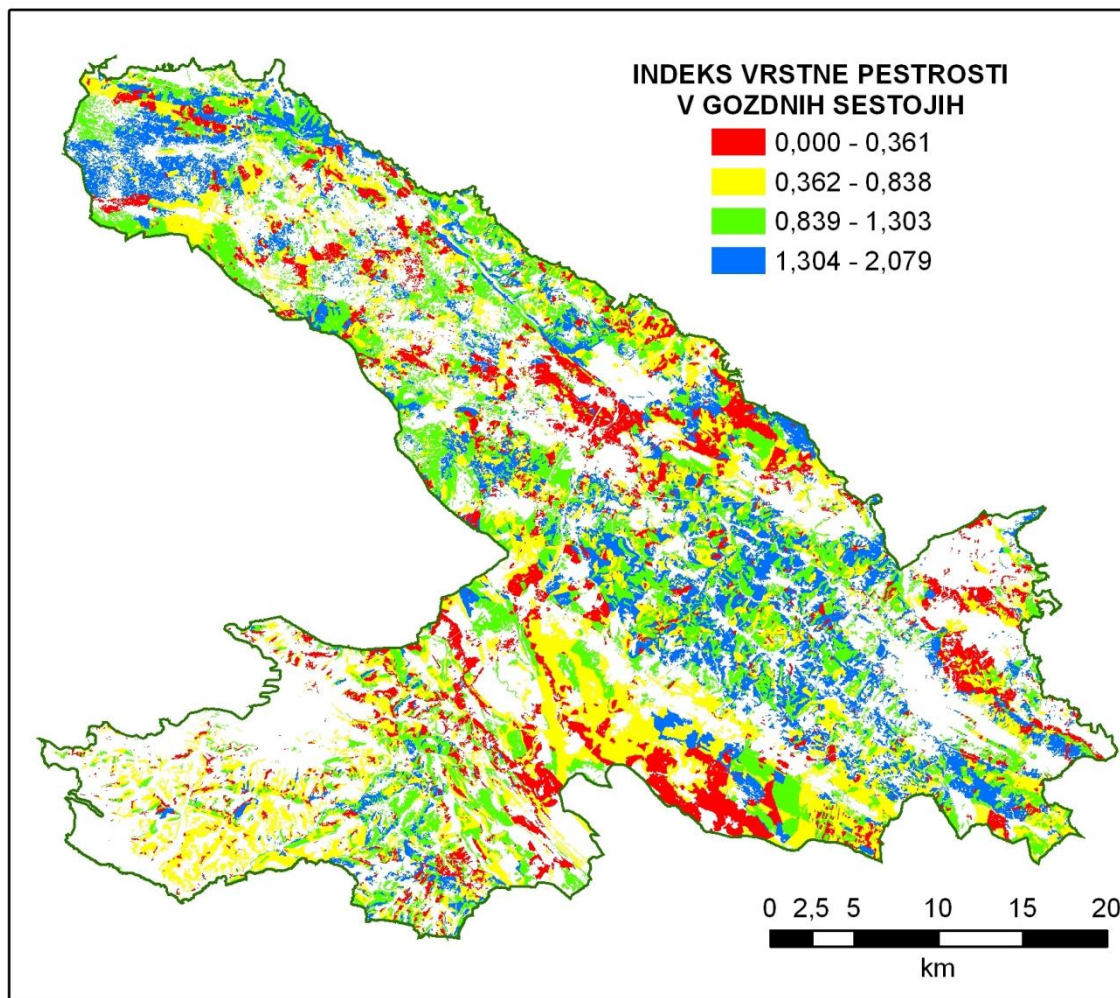
V primeru izračuna vrstne pestrosti v sestoji pomeni:

H : indeks vrstne raznolikosti,

s : število drevesnih vrst,

p : delež posamezne drevesne vrste v skupni lesni zalogi gozdnega sestoja.

V posameznem gozdnem sestoji je zapisanih največ 9 in najmanj 1 drevesna vrsta. Debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu na študijskem območju je prikazana na sliki 29. Razdelili smo jo v štiri razrede z metodo kvantilov (Ogris in sod., 2006). Manjša vrednost Shannon-Wienerjevega indeksa pomeni manjšo vrstno pestrost oziroma manj drevesnih vrst v posameznem gozdnem sestoji in obratno.



Slika 29: Vrstna pestrost po Shannon-Wienerjev indeksu v gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)
Figure 29: Shannon-Wiener species diversity in forest stands in the study area (1999–2008)

Debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu

Debelinsko pestrost v sestoju smo izračunali s Shannon-Wienerjevim indeksom:

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

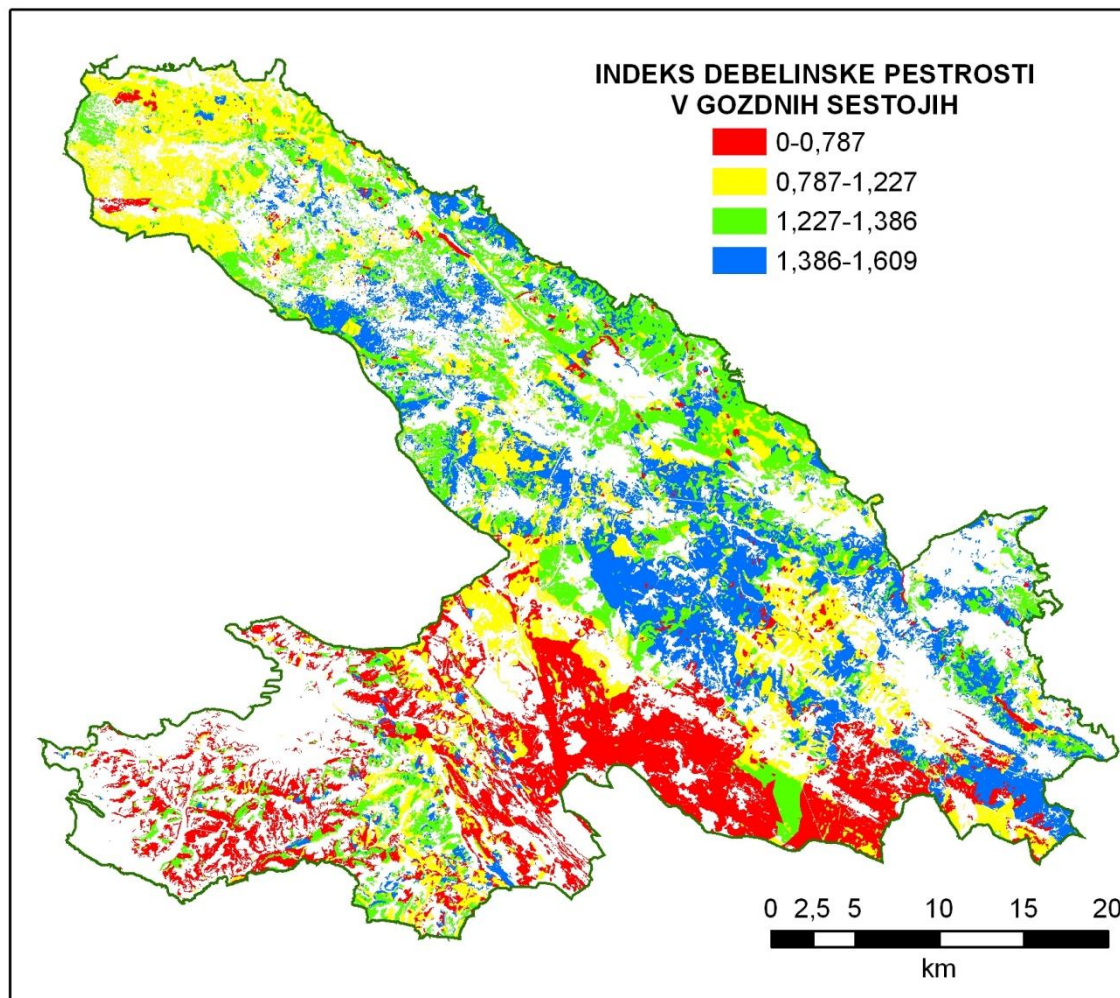
V primeru izračuna debelinske pestrosti v sestoju pomeni:

H : indeks debelinske raznolikosti,

s : število debelinskih razredov,

p : delež posameznega debelinskega razreda v skupni lesni zalogi gozdnega sestoja.

V posameznem gozdnem sestoju je zapisanih največ 5 in najmanj 1 debelinska stopnja. Debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu na študijskem območju je prikazana na sliki 30. Razdelili smo jo v štiri razrede z metodo kvantilov (Ogris in sod., 2006). Manjša vrednost Shannon-Wienerjevega indeksa pomeni manjšo debelinsko pestrost oziroma so premeri dreves v gozdnem sestoju približno enaki in obratno.

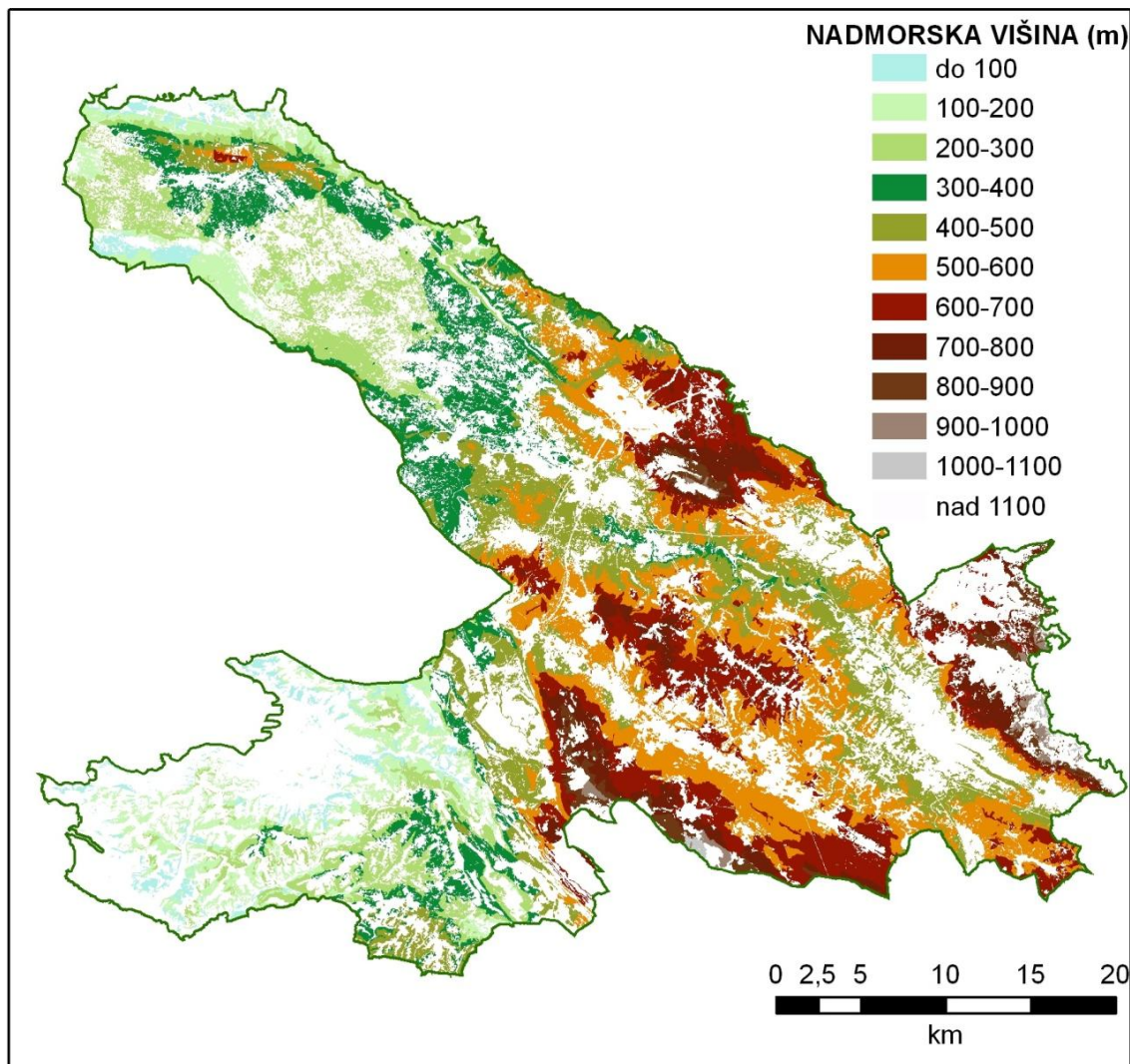


Slika 30: Debelinska pestrost po Shannon-Wienerjev indeksu v gozdnih sestojih na študijskem območju (1999–2008)

Figure 30: Shannon-Wiener tree diameter diversity in forest stands elevation in the study area (1999–2008)

Nadmorska višina sestoja

Nadmorsko višino sestoja (m) smo izračunali za njegov centroid iz podatkov digitalnega modela višin z ločljivostjo 12,5 m (slika 31).



Slika 31: Nadmorske višine gozdnih sestojev na študijskem območju (1999–2008)

Figure 31: Forest stands elevation in the study area (1999–2008)

5.6 Podatki za izdelavo modela tipov goriv

Za izdelavo modela tipov goriv potrebujemo podatke o gozdnih gorivih. Obstajata dve glavni skupini goriv, in sicer površinska goriva, ki predstavljajo goriva, ki so v stiku s tlemi, in goriva v drevesnih krošnjah. Z vidika upravljanja z gozdnimi požari so najpomembnejša goriva v stiku z gozdnimi tlemi, s katerimi se ukvarjamo tudi v tej raziskavi. Goriva v stiku z gozdnimi tlemi se delijo na površinska (trava, grmičevje, opad in odmrta lesna masa v stiku s tlemi) in talna goriva (organski horizonti tal, korenine in gnijoči lesni ostanki v gozdnih tleh). Za izdelavo modela tipov goriv na študijskem območju potrebujemo podatke terenskih meritev o odmrlem in živem lesnem gorivu v stiku z gozdnimi tlemi.

Gozdarske zbirke podatkov smo primerjali s podatki, ki jih potrebujemo za izračun parametrov tipov goriv. Preverili smo, ali lahko iz obstoječih podatkov izračunamo količino goriva po razredih časovnega zamika. Zanimajo nas podatki o:

- opadu,
- neoleseneli vegetaciji,
- odmrlem lesnem gorivu in
- grmičevju.

Iz zbranih podatkov smo najprej poskušali ugotoviti ali obstajajo meritve teh slojev in v kolikšnem prostorskem obsegu. Nadalje bomo preverili ali lahko določimo pokrovnost (%) in višino (cm) posameznega sloja. Na koncu bomo iz zbranih podatkov določili razrede časovnega zamika. Ostale parametre, ki jih še potrebujemo v modelih tipov goriv:

- vsebnost mineralnih snovi,
- oblika goriva,
- vsebnost toplote,
- vsebnost vlage v odmrlem gorivu,
- vsebnost vlage v živem gorivu,
- naklon terena,

lahko povzamemo iz literature, kar so naredili tudi na Portugalskem (Fernandes in sod., 2006).

Za izdelavo strategij upravljanja s požari je prav tako bistvenega pomena poznavanje prostorske razširjenosti tipov goriv (Arroyo in sod., 2008). Za uporabo modela tipov goriv v programih za prostorsko simulacijo širjenja požarov mora biti prostorsko predstavljen na karti. Predpostavili smo, da območje goriva lahko predstavlja gozdni sestoj oziroma grafična slika gozdnega sestoja. Izhajali smo iz stališča, da obstaja interakcija med slojem krošenj ter slojem podrasti (Gilliam in Turrill, 1995; Sagers in Lyon, 1997; Légaré in sod., 2001). Značilnosti gozdnih sestojev vplivajo na pritalno vegetacijo in količino lesne biomase na gozdnih tleh. Pitkänen (1997) je ugotovil, da imata največji vpliv na spreminjanje podrasti v sestojih plodnost rastišč in starost sestojev.

Drugi pomembni dejavniki pa so sestojna temeljnica, vrstna sestava in pokrovnost krošenj. Struktura, sestava in starost gozdov vplivajo na skupnosti rastlin v podrasti zaradi svojega vpliva na mikroklimo, kakovost in količino gozdnega opada in njegovo razgradnjo. Macdonald in Fenniak (2007) sta poročala, da so drevesne krošnje v gozdu eden od glavnih dejavnikov, odgovornih za zmanjšanje biomase v podrasti, ker prevladujoča drevesa tekmujejo z vegetacijo v podrasti za nadzemne in podzemne vire. Glede na gostoto dreves, ki vpliva na sklep krošenj, se rast in količina podrasti lahko zmanjšata zaradi povečanja konkurence za vodo, svetlobo in hranila (Koukoura in Kyriazopoulos, 2007). Sestojni sklep vpliva na količino svetlobe, ki pride do gozdnih tal (Messier in sod., 1998). Razmerje med listavci in iglavci v sestoji lahko vpliva na raznolikost in sestavo podrasti (Macdonald in Fenniak, 2007). Poleg tega se več svetlobe prenese do sloja podrasti v sestojih, ki so sestavljeni pretežno iz svetlobojnih drevesnih vrst kot v sestojih, sestavljenih iz senco vzdržnih vrst (Messier in sod., 1998).

Prav tako je pomemben dejavnik, ki vpliva na vzpostavitev, razvoj in preživetje podrasti, gozdni opad. Listavci in zimzelene vrste se razlikujejo v količini in kakovosti opada in s tem v sestavi podrasti (Svenning in Skov, 2002) zaradi razlik v stopnji razgradnje in kroženja hranil v sestojih (Macdonald in Fenniak, 2007). Vsaka drevesna vrsta vsebuje različne kemične spojine, ki vplivajo na stopnjo razgradnje opada in njegovo kopičenje na terenu. Zaradi obsežnega kopičenja opada v nekaterih sestojih, kjer hkrati razkroj opada poteka počasi, se globina gozdnega opada lahko poveča in vpliva na razvoj populacij rastlinskih vrst z zaviranjem prodora sadik iz gozdnih tal (Nilsson in sod., 2008). V mladih sestojih sta pogosta relativno visok delež grmovnih rastlin in visoka pokrovnost zelišč. V nasprotju s tem je bil sloj grmičevja zelo skromen v sestojih s tesnim sklepom. V najstarejših sestojih je sloj grmišč skromen. Zeliščni sloj je bistveno večji kot v mladih sestojih in sestojih s tesnim sklepom (Muukkonen in Mäkipää, 2006; Jules in Sawyer, 2008). Sloj grmičevja v podrasti je odvisen od temeljnice in prevladujoče drevesne vrste v sestoji. Sloj grmičevja pod drevesi je v povezavi z razvojnimi fazami in prevladujočimi drevesnimi vrstami predvsem tam, kjer prevladujejo listavci, kar je povezano s količino svetlobe, ki prodre do gozdnih tal (Kerns in Ohmann, 2004). Količina podrasti se poveča tudi z zmanjšanjem gostote dreves (McKenzie in Halpern, 1999).

Primerjava med podatki, ki jih potrebujemo za izračun parametrov tipov goriv, z gozdarskimi zbirkami podatkov bo pokazala, ali iz njih lahko izdelamo model tipov goriv za študijsko območje. Če ga ne moremo izdelati, bomo predlagali, katere količine je še potrebno izmeriti na terenu, da tak model lahko izdelamo. Prav tako bomo potrdili, da gozdne sestoje lahko uporabimo za prostorski prikaz modela tipov goriv.

6 REZULTATI

Rezultate raziskave lahko razdelimo na tri večje skope. V prvi sklop spada analiza pretekle požarne aktivnosti, kjer smo prikazali njihovo časovno in prostorsko dinamiko ter značilnosti gozdov, prizadetih v požarih. V drugi sklop spada meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov (CFFWIS). V ta sklop spadajo tudi statistične prostorske analize, s katerimi smo zgradili model pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Tretji sklop predstavlja pregled podatkov, ki jih potrebujemo za izdelavo modela tipov goriv na študijskem območju. Predstavili smo, katere podatke potrebujemo za izdelavo modela tipov goriv, katere imamo izmerjene v Sloveniji in katere meritve je potrebno še opraviti.

6.1 Značilnosti gozdnih požarov

Na študijskem območju je bilo v študijskem obdobju 1. 1. 1995–31. 12. 2009 evidentiranih 871 požarov s skupnimi pogorelimi površinami 6046,9 ha. Požari so se pojavili v 592 različnih dnevih, od tega se je v 181 dnevih pojavil več kot en požar na dan. Največ požarov je bilo 31. 8. 2004, in sicer devet. Na Kraškem GGO se je v študijskem obdobju vsako leto pojavilo povprečno 58 gozdnih požarov s povprečno površino 6,9 ha. Največ požarov se je pojavilo v letih 1998 (11 % vseh požarov), 2003 (16 %) in 2009 (10 %) (preglednica 14). Največje opožarjene površine so bile v letih 1998 (16 % vseh opožarjenih površin), 2003 (26 %) in 2006 (22 %), kar predstavlja 64 % vseh opožarjenih površin v študijskem obdobju. Požarno najmanj aktivno leto je bilo 1995, ko se je pojavilo 16 požarov (2 %), najmanjše pogorele površine so bile v letu 2008, in sicer 36 ha (1 %).

Preglednica 14: Število požarov in velikost požarišč po letih na Kraškem GGO (1995–2009)

Table 14: Number of fires and burnt area per month in the Karst forest management area (1995–2009)

Leto	Število požarov	Delež (%)	Velikost požarišč (ha)	Delež (%)	Število talnih požarov
1995	16	2	154,6	3	15
1996	28	3	240,8	4	26
1997	33	4	418,5	7	29
1998	92	11	965,5	16	76
1999	46	5	310,1	5	39
2000	58	7	105,2	2	50
2001	46	5	321,2	5	36
2002	29	3	125,4	2	28
2003	143	16	1552,0	26	115
2004	46	5	135,0	2	44
2005	59	7	141,7	2	58
2006	72	8	1315,9	22	61
2007	78	9	76,8	1	76
2008	34	4	36,0	1	31
2009	91	1	148,2	2	78
skupaj	871	100	6046,9	100	762

Podatki o tipih gozdnega požara se ocenjujejo po odstotkih opožarjene površine (priloga A) in razdelijo požare na podtalne, talne in/ali vršne požare. V preglednici 14 je prikazano število vseh gozdnih požarov in število samo talnih požarov. Na študijskem območju je 87 % vseh požarov izključno talnih (preglednica 14).

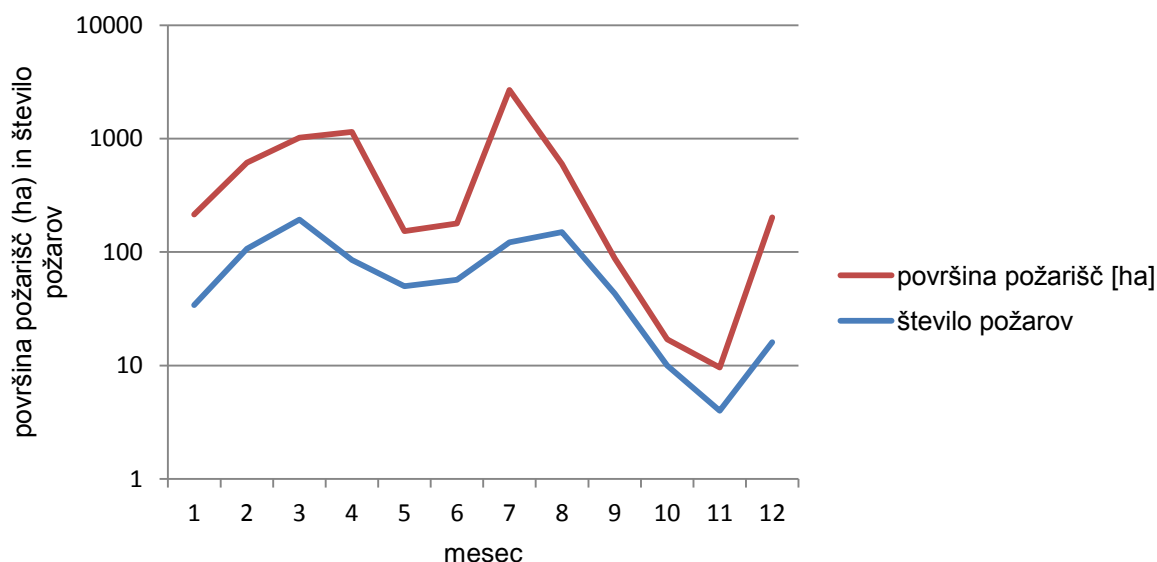
Pregled pojavljanja požarov po mesecih je pokazal, da obstajata dva letna sezonska vrhunca, ki sta prikazana v preglednici 15. Največ požarov je v zimskih (februar in marec, 34 % vseh zabeleženih požarov) in poletnih (julij in avgust, 31 % vseh zabeleženih požarov) mesecih, kar predstavlja 65 %

vseh požarov. Opožarjene površine v teh dveh obdobjih predstavljajo 22 % in 50 % vseh opožarjenih površin ali kar 72 % vseh opožarjenih površin. Pogorele površine samo dveh gozdnih požarov, v juliju 2003 in juliju 2006, predstavljajo kar 34 % vseh opožarjenih površin v študijskem obdobju. Velike pogorele površine se pojavljajo še v mesecu aprilu (17 %). Požarna aktivnost je praktično zanemarljiva v mesecih od oktobra do decembra, ostali meseci imajo srednjo požarno aktivnost.

Preglednica 15: Število požarov in velikost požarišč po mesecih na študijskem območju (1995–2009)
Table 15: Number of fires and burnt area per yeay in the study area (1995–2009)

Mesec	Število požarov	Površina požarišč [ha]
januar	34	179,8
februar	107	505,6
marec	193	824,2
april	85	1058,3
maj	50	102,8
junij	57	121,6
julij	122	2561,7
avgust	150	448,7
september	43	45,1
oktober	10	7,0
november	4	5,6
december	16	186,5
skupaj	871	6046,9

Primerjava med številom požarov in površino požarišč po mesecih na študijskem območju (slika 32) nakazuje, da se površine požarišč večajo s številom požarov. Največja razlika se pojavlja poleti, ko sicer ni največ požarov, so pa največje površine požarišč, kar nakazuje, da so gozdni požari v tem letnem obdobju najbolj uničujoči.



Slika 32: Število požarov in velikost požarišč po mesecih na študijskem območju (1995–2009)
Figure 32: Number of fires and burnt area per yeay in the study area (1995–2009)

Za gozdne požare se zbirajo podatki o mestu nastanka gozdnega požara (priloga A). Mesto nastanka gozdnega požara se zapiše s koordinatama X in Y, ki sta podani v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu. Primerjali smo jih s prostorskimi podatki o gozdnih sestojih. Poiskali smo vse tiste gozdne

požare, ki imajo točko vžiga v gozdnem sestoju. Iz podatkov smo ugotovili, da se je v gozdu začelo 394 gozdnih požarov, kar je manj kot polovica (45 %) vseh požarov, zajetih v raziskavi.

Na mestu nastanka gozdnega požara se popišejo tudi podatki o zgradbi gozda (razvojna faza, mešanost (iglavci/listavci), gozdna združba, prevladujoča drevesna vrsta). Prav tako se vpiše vzrok nastanka požara, če je znan. Gozdni požar se glede na zbrane podatke (priloga A) največkrat začne v gozdovih z razvojno fazo drogovnjak (41 %), sledi pionirski gozd z grmišči (13 %) in mladovje (12 %) (preglednica 16). Ostale razvojne faze dosežajo deleže manjše od 10 %.

Preglednica 16: Število razvojnih faz in mešanost drevesnih vrst v sestojih z gozdnimi požari na študijskem območju (1995–2009)

Table 16: Number of forest development stages and tree species mixture in forest stands with forest fires in the study area (1995–2009)

Leto	Razvojna faza									Mešanost			
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	1	2	3	4
1995		4	1				1	2	5	2	3	1	7
1996	5	7			1	3	3	4	2	2	4	4	15
1997	2	9	4		3	2	4	1	3	6	8	5	12
1998	20	28	5		5	2	9	1	16	30	18	14	26
1999	4	17	1		4		1	6	10	12	3	7	22
2000	7	24	4	1		1	7	6	5	15	9	4	26
2001	8	27		1	1			4	3	10	9	4	21
2002	4	10	1		2		1		5	8	2	5	9
2003	9	55	12	2	7	1	9	8	15	30	18	17	56
2004	3	13	4				6	4	10	7	5	5	26
2005	6	11	2	3	3		5	1	6	10	2	6	20
2006	5	22	7	1	3	1	7	5	6	18	10	5	26
2007	9	19	6		2	1	4	6	6	13	13	2	25
2008	1	7	2	1			5	7	1	8	1	2	14
2009	1	34	7	3	2		8	6	1	22	8	6	27
skupaj	84	287	56	12	33	11	70	61	94	193	113	87	332

Požar se največkrat pojavi v gozdovih, kjer je delež iglavcev v lesni zalogi manjši od 10 % ali drugače povedano, je delež listavcev v lesni zalogi 90 % in več (preglednica 16). Sledijo jim gozdovi, kjer je delež iglavcev v lesni zalogi 90 % in več. Mešanost gozdov ni zapisana za 16 % gozdnih požarov.

Nadalje smo štiri razrede mešanosti združili v dva razreda, kjer je v prvem razredu delež listavcev glede na lesno zalogo enak ali večji od 50 %, v drugem razredu pa je delež listavcev glede na lesno zalogo manjši od 50 %. V prvem razredu je je pojavilo 419 (58 %) ter v drugem razredu 306 (42 %) gozdnih požarov. Te podatke smo primerjali s podatki o številu in površini gozdnih sestojih po posameznem razredu (preglednica 17).

Preglednica 17: Delež listavcev glede na lesno zalogo na študijskem območju (1995–2009)

Table 17: Shares of broadleaves per wood stock in the study area (1995–2009)

Delež listavcev (%)	Število sestojev	Delež (%)	Površina (ha)	Delež (%)
<50	4453	34	22806,06	27
>= 50	8571	66	62701,95	73

V prvem razredu je 419 gozdnih požarov in hkrati 8571 (66 %) vseh gozdnih sestojev. Gozdni požar se je pojavil v 5 % gozdnih sestojih, kjer prevladujejo listavci v lesni zalogi. V gozdnih sestojih, kjer prevladujejo iglavci v lesni zalogi, pa se je gozdni požar pojavil v 7 %. Podatki o pretekli požarni

aktivnosti so pokazali, da se je požar največkrat pojavil v gozdovih, kjer prevladujejo listavci v lesni zalogi. Razlogi za najpogostejše pojavljanje gozdnih požarov v listnatih gozdovih so lahko v tem, da listnati gozdovi pokrivajo 73 % študijskega območja (preglednica 17). Primerjava podatkov o pretekli požarni ogroženosti in podatkov o značilnosti gozdnih sestojev je pokazala, da so požarno bolj ogroženi gozdni sestoji, kjer prevladujejo iglavci v lesni zalogi.

V gozdovih, kjer prevladujejo listavci v lesni zalogi, se največkrat pojavi požar tam, kjer prevladuje puhasti hrast (44 %), še bolj pa je to očitno glede na velikost površin opožarjenih območij (preglednica 18). Druga najpogostejša drevesna vrsta je črni gaber (21 %) medtem, ko so ostale drevesne vrste zastopane z manjšimi deleži.

Preglednica 18: Deleži drevesnih vrst v listnatih gozdovih, kjer se pojavljajo požari na študijskem območju (1995–2009)

Table 18: Shares of tree species in deciduous forests by forest fires occurrence in the study area (1995–2009)

Drevesna vrsta	Delež (%)	Delež površine (%)	Drevesna vrsta	Delež (%)	Delež površine (%)
smreka	<1	<1	beli gaber	<1	0
rdeči bor	2	5	črni gaber	21	10
črni bor	8	7	mali jesen	7	2
bukev	1	<1	puhasti hrast	44	66
hrasti	1	<1	cer	7	5
graden	5	3	drugi mehi listavci	<1	<1
robinija	4	<1	trepetlika	<1	<1
poljski brest	<1	<1			

Kjer pa prevladujejo iglavci v lesni zalogi, je daleč največ požarov v gozdovih, kjer prevladuje črni bor (94 %) (preglednica 19).

Preglednica 19: Deleži drevesnih vrst v iglastih gozdovih, kjer se pojavljajo požari, na študijskem območju (1995–2009)

Table 19: Shares of tree species in conifer forests by forest fires occurrence in the study area (1995–2009)

Drevesna vrsta	Delež (%)	Delež površine (%)
smreka	<1	<1
bori	<1	1
rdeči bor	5	5
črni bor	94	90
zeleni bor	<1	<1
macesen	<1	<1
ostali bori	<1	1
puhasti hrast	<1	1

Gozdovi tistih listnatih drevesnih vrst, kjer se največkrat pojavljajo požari (preglednica 18), so tudi med najbolj pogostimi na študijskem območju (preglednica 12). Iglastih gozdovih, kjer prevladuje črni bor (preglednica 12) so med požarno najbolj ogroženimi gozdovi (preglednica 19).

Gozdni požari so se v dveh tretjinah primerov pojavili na rastišču gozdne združbe *Seslerio – Ostryetum* (preglednica 20). Sledi ji gozdna združba *Melampyro vulgati Quercetum* (20 %). Ostale gozdne združbe imajo zelo majhne deleže.

Preglednica 20: Deleži gozdnih združb v gozdnih požarih na študijskem območju (1995–2009)

Table 20: Shares of forest associations in forest fires in the study area (1995–2009)

Gozdna združba	Delež (%)
Ni podatka	9
<i>Ornithogalo pyrenaici - Carpinetum</i>	< 1
<i>Seslerio autumnalis Quercetum petraeae</i>	1
<i>Melampyro vulgati Quercetum</i>	20
<i>Seslerio Fagetum</i>	2
<i>Orvalo Fagetum</i>	1
<i>Quercu Luzulo Fagetum</i>	1
<i>Seslerio - Ostryetum</i>	66

Dejavniki, ki so največkrat povod za nastanek požara, so prikazani v preglednici 21. Največkrat so med vzroki navedene komunikacije (vlaki), namerni požig in kmetijska dejavnost. Naravni dejavniki (strela), ki povzročijo požar brez vpliva človeka, so zapisani samo v 5 % primerov (47 požarov). Za polovico požarov pa ni ugotovljenega vzroka nastanka. Sklepamo, da zato, ker je ugotavljanje vzrokov nastanka požara lahko zelo dolgotrajno in zapleteno.

Preglednica 21: Vzroki nastanka požarov na študijskem območju (1995–2009)

Table 20: Causes of fire occurrence in the study area (1995–2009)

Vzrok nastanka požara	Število	Delež (%)
namerni požig	87	10
kmetijska dejavnost	57	7
industrijska dejavnost	3	0
komunikacije (vlaki, el. vodi ...)	227	26
obiskovalci gozda (turisti, otroci ipd.)	8	1
drugo (vojska ipd.)	5	1
naravni vzroki (strela)	47	5
neznani vzroki	437	50
skupaj	871	100

6.2. Značilnosti opožarjenih površin

Za vsak gozdni požar so skladno s Poročilom o požarih (priloga A) zbrani podatki o opožarjenih površinah, kjer se ocenjuje površina požarišča (ha) glede na drevesno sestavo:

- gozdovi iglavcev,
- gozdovi listavcev,
- mešani gozdovi,
- panjevci,
- grmišča, grmičav gozd,
- druga gozdna zemljišča, druge površine (zemljišča, porasla z gozdnim rastjem na površini najmanj 0,25 ha, ki niso gozd in se zadnjih 20 let niso uporabljala v kmetijske namene; obore v gozdovih za rejo divjadi; zemljišča pod daljnovodi v gozdu na površini najmanj 0,25 ha; druga negozdna zemljišča na požarišču, kjer smo evidentirali gozdni požar).

Na študijskem območju so v gozdnih požarih najbolj prizadeta druga gozdna zemljišča in druge površine (preglednica 22), ki predstavljajo 31 % vseh opožarjenih površin. Iglasti gozdovi (20 %), panjevci (19 %) in grmišča, grmičav gozd (18 %) imajo največje opožarjene površine med gozdovi na študijskem območju. Najmanjše opožarjene površine so v mešanih gozdovih (2 %). Med vrstami gozdov so najbolj prizadeti iglasti gozdovi (29 %), panjevci (28 %) in grmišča, grmičav gozd (26 %), ki skupaj predstavljajo 83 % vseh pogorelih površin.

Preglednica 22: Pogorele površine po vrstah gozdov in količina poškodovane lesne mase na študijskem območju (1995–2009)

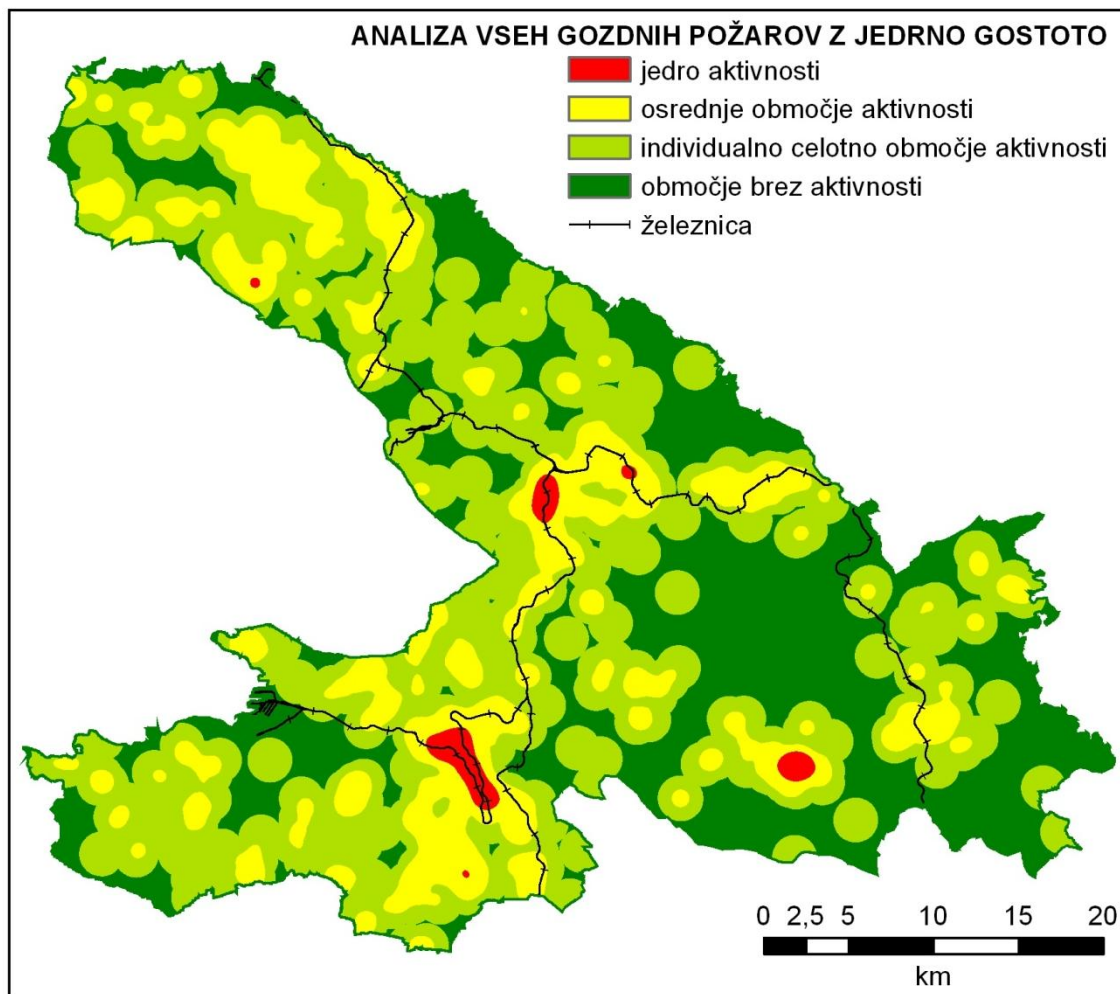
Table 22: Burnt areas per forest type and amount of damaged wood in the study area (1995–2009)

Leto	Iglavci (ha)	Listavci (ha)	Mešani gozdovi (ha)	Panjevci (ha)	Grmišča, grmičav gozd (ha)	Druge površine (ha)	Skupaj (ha)	Iglavci (m ³)	Listavci (m ³)
1995	8,3	33,0	0,0	13,1	43,4	56,9	154,7	145	410
1996	23,6	22,4	7,9	20,1	30,2	136,7	240,8	42	30
1997	141,1	26,6	9,9	9,4	121,2	110,3	418,5	115	349
1998	171,5	71,8	5,2	23,1	212,1	481,8	965,5	1728	110
1999	57,6	70,2	3,8	24,8	65,9	87,7	310,1	290	395
2000	15,4	13,2	9,1	21,0	23,6	23,0	105,2	123	257
2001	83,8	31,5	6,2	9,5	99,1	91,0	321,2	1478	183
2002	23,7	8,3	1,7	2,1	11,5	78,1	125,4	/	/
2003	138,6	53,0	23,1	764,2	327,8	245,2	1552,0	7261	30.100
2004	10,8	13,2	7,7	5,3	36,6	61,4	135,0	35	85
2005	20,1	19,2	3,3	20,5	7,9	70,9	141,7	/	/
2006	468,1	197,1	13,3	251,3	54,4	331,7	1315,9	60.885	20.775
2007	12,8	12,2	9,3	2,9	18,0	21,6	76,8	230	55
2008	3,6	1,7	0,3	2,9	6,4	21,2	36,0	175	0
2009	29,2	17,0	8,9	6,1	15,2	71,9	148,2	195	30
skupaj	1208,0	590,5	109,6	1176,3	1073,3	1889,3	6046,9	72.702	52.779

Med zbranimi podatki so tudi podatki o količini poškodovane lesne mase. Poškodovana lesna masa se zbira ločeno za iglavce in listavce ter se ocenjuje v neto m³ (priloga A). Količina poškodovane lesne mase se v gozdnih požarih (preglednica 22) zelo spreminja od leta do leta in sovпада z velikostjo pogorelih površin. Prav tako se spreminja tudi razmerje poškodovane lesne mase med iglavci in listavci. Na študijskem območju je bilo v študijskem obdobju več poškodovane lesne mase iglavcev (58 %) kot listavcev (42 %), predvsem v obdobju 2006–2009. Iz zbranih podatkov o gozdnih požarih nismo uspeli pridobiti količine poškodovane lesne mase za leti 2003 in 2005.

6.3 Gostota požarov

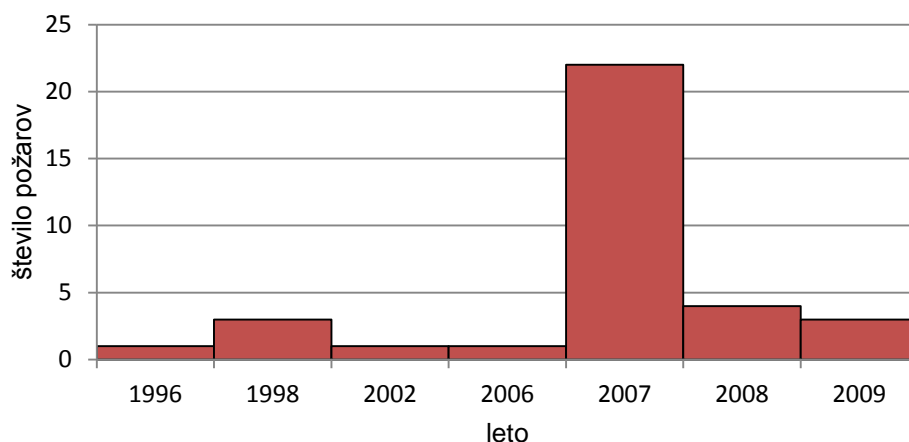
Z metodo jedrne gostote smo na podlagi lokacij preteklih požarov določili gostoto njihovega pojavljanja. Najprej smo določili gostoto pojavljanja za vse gozdne požare. Največja požarna aktivnost v študijskem obdobju na podlagi jedrne gostote je določena na šestih lokacijah, med katerimi izstopajo tri velika območja (slika 33), ki nas še posebej zanimajo.



Slika 33: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) pojavljanja vseh gozdnih požarov, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)

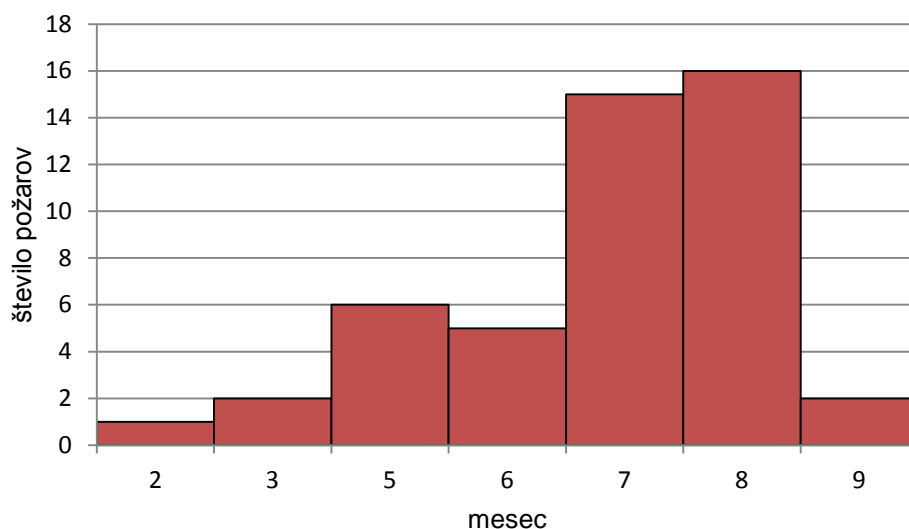
Figure 33: Individual home range ($p = 0,95$), core area ($p = 0,65$) and centers of activity ($p = 0,35$) of all forest fires occurrence, estimated by kernel density and railway in the study area (1995–2009)

Tri lokacije največje požarne aktivnosti se nahajajo ob železniški progi Divača – Koper, ena okoli naselja Podgrad, ena severno od naselja Sočerga in ena zahodno od naselja Tublje pri Komnu. Med njimi še posebej izstopa veliko območje okoli Podgrada, zato smo pregledali značilnosti požarov na tem območju. Pregled števila požarov v okolici Podgrada po letih je kot požarno najbolj aktivno leto izpostavil leto 2007 (slika 34).



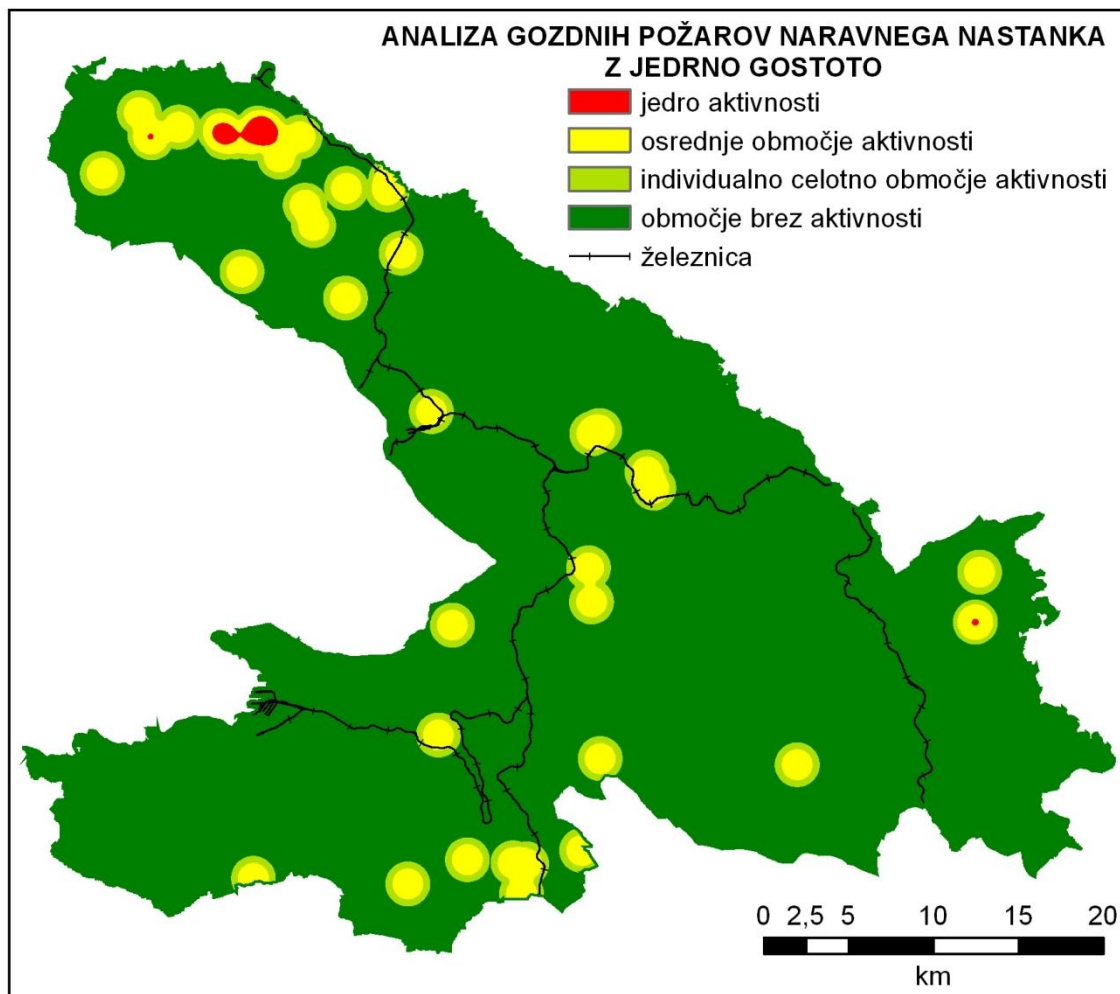
Slika 34: Število požarov po letih okoli Podgrada (1995–2009)
Figure 34: Number of fires by years around Podgrad (1995–2009)

Gozdnih požarov, katerih vzrok nastanka je naravnega izvora (strela), je bilo 47 ali 5 % vseh gozdnih požarov zajetih v raziskavi. Največ se jih je pojavilo v mesecih julij in avgust (slika 35).



Slika 35: Število požarov naravnega nastanka po mesecih na študijskem območju (1995–2009)
Figure 35: Number of fires by natural cause in the study area (1995–2009)

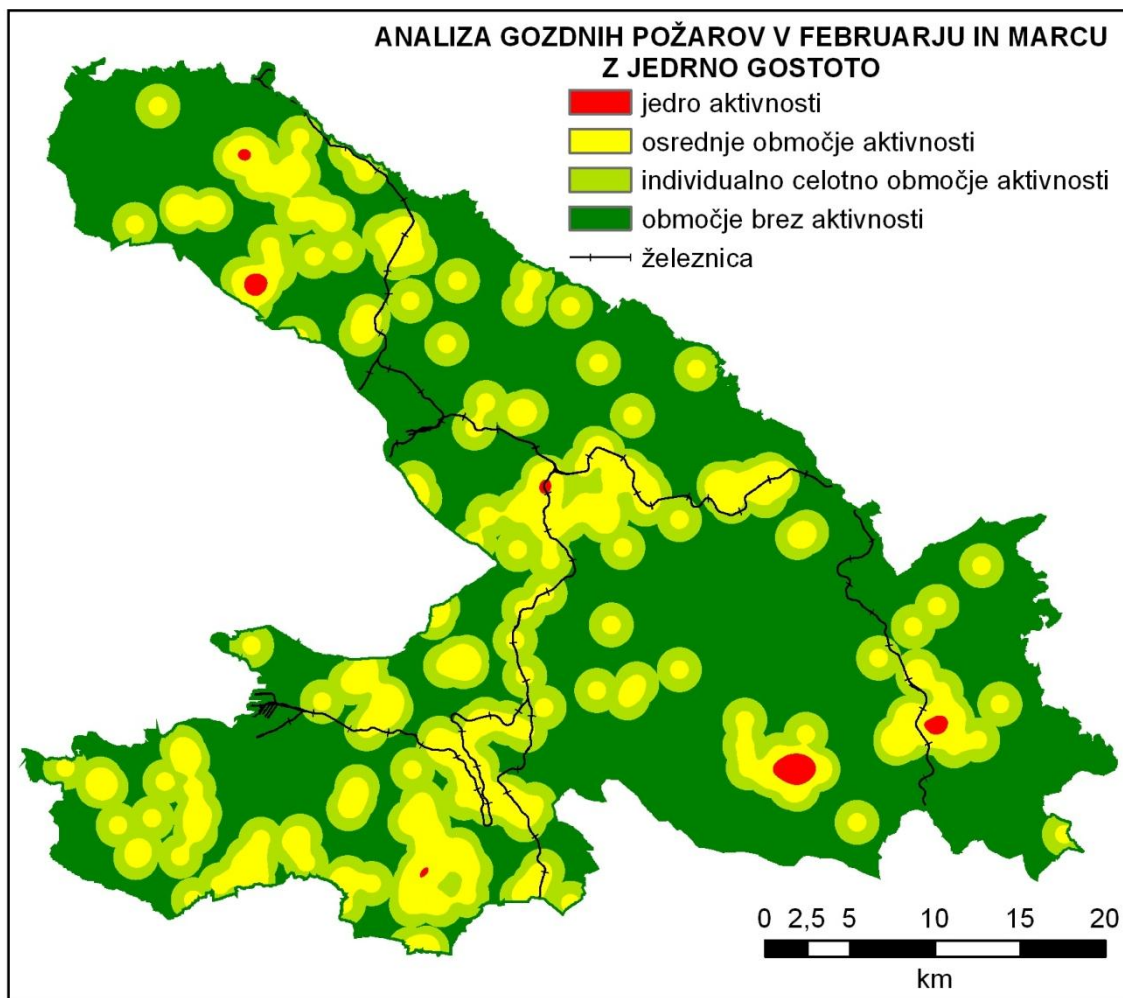
Z metodo jedrne gostote smo določili gostoto njihovega pojavljanja (slika 36), ki je izpostavilo področje na severnem delu študijskega območja. Področje se nahaja v okolici hribov Trstelj in Veliki Ovčnjak.



Slika 36: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) gozdnih požarov naravnega nastanka, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)

Figure 36: Individual home range ($p = 0,95$), core area ($p = 0,65$) and centers of activity ($p = 0,35$) of natural forest fires occurrence, estimated by the use of kernel density and railway in the study area (1995–2009)

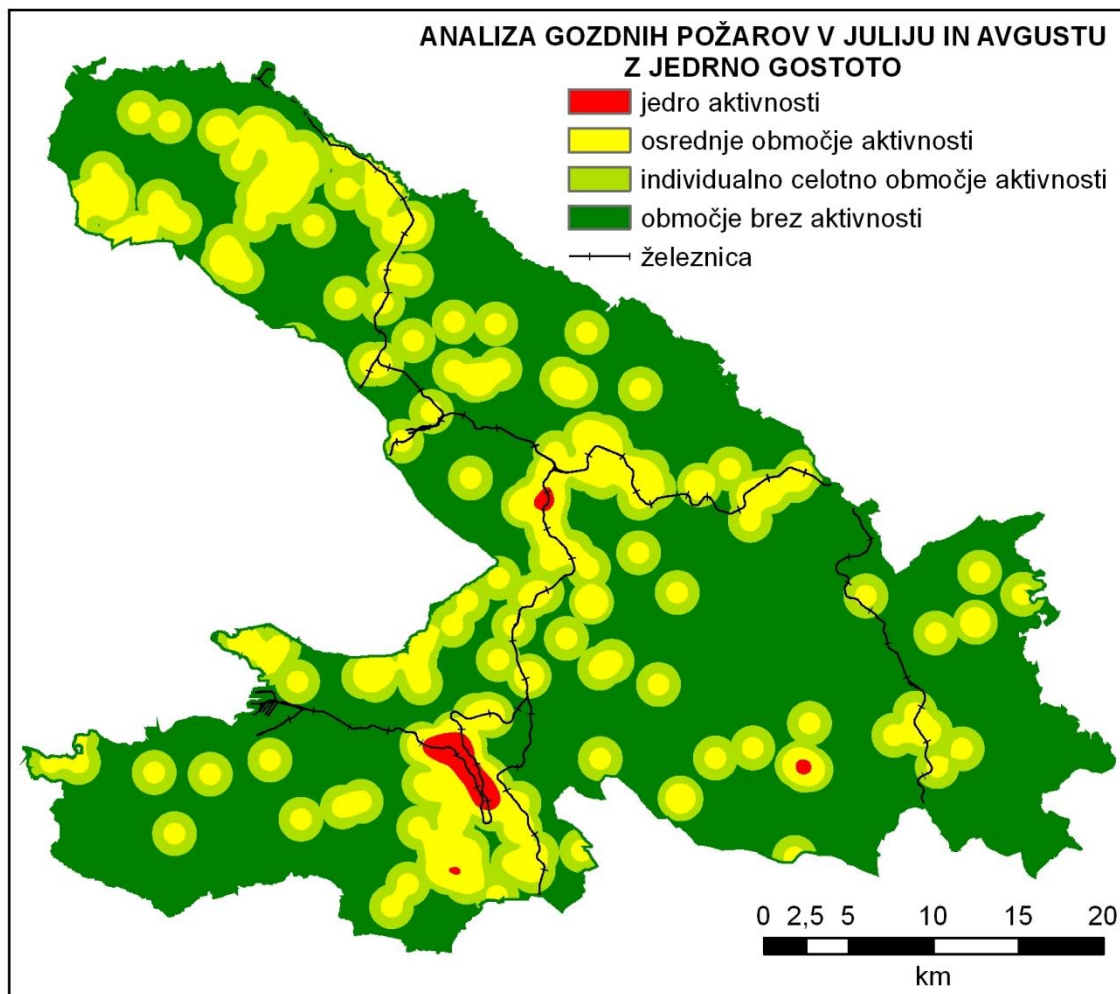
Analiza pretekle požarne aktivnosti je izpostavila največje pojavljanje požarov v obdobjih februar-marec in julij-avgust. Z metodo jedrne gostote smo prikazali njihovo gostoto v prostoru. V mesecih februar in marec je največja požarna aktivnost na več področjih, ki se večinoma ne nahajajo v bližini železnice (slika 37).



Slika 37: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) gozdnih požarov v februarju in marcu, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)

Figure 37: Individual home range ($p = 0,95$), core area ($p = 0,65$) and centers of activity ($p = 0,35$) of forest fires occurrence in february and march, estimated by the use of kernel density and railway in the study area (1995–2009)

Največja gostota požarov v poletnih mesecih julij in avgust je skoraj izključno omejena na bližino železnice (slika 38). Še posebej izstopa veliko območje okoli vasi Predloka, Bezovica, Zanigrad in Hrastovlje.



Slika 38: Individualno celotno območje aktivnosti ($p=0,95$), osrednje območje aktivnosti ($p=0,65$) in jedro aktivnosti ($p=0,35$) gozdnih požarov v juliju in avgustu, ugotovljenih z metodo jedrne gostote in potek železnice na študijskem območju (1995–2009)

Figure 38: Individual home range ($p = 0,95$), core area ($p = 0,65$) and centers of activity ($p = 0,35$) of forest fires occurrence in July and August, estimated by the use of kernel density and railway in the study area (1995–2009)

6.4 Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov

Za izračun meteorološkega indeksa požarne ogroženosti smo uporabili vremenske spremenljivke temperatura, relativna vlaga, padavine in hitrost vetra, ki se merijo na vremenskih postajah Bilje, Godnje, Postojna in Portorož - letališče. Izračunali smo njihove povprečne vrednosti na študijskem območju in iz njih izračunali komponente CFFWIS. Na podlagi metode percentilov (Helfman in sod., 1987; Andrews in sod., 2003) smo za indeks požarne ogroženosti gozdov (FWI) določili pet stopenj požarne ogroženosti (preglednica 23) in jih primerjali s stopnjami v drugih okoljih. Vrednosti indeksa FWI za določitev zelo velike stopnje požarne ogroženosti se med različnimi okolji in velikostmi območij razlikuje.

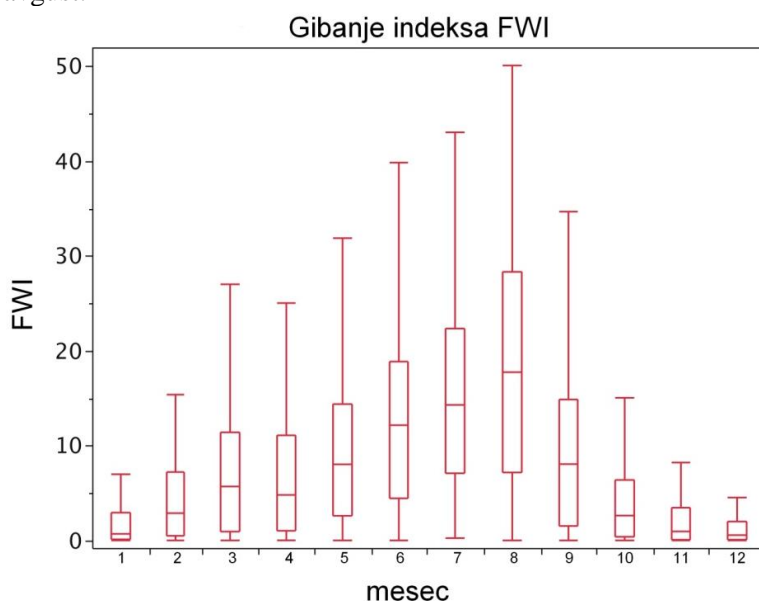
Preglednica 23: Meje razredov FWI požarne ogroženosti v različnih okoljih (CIPOP, 2011; Fernandes, 2005)

Table 23: FWI fire danger rating ranges in different environments (CIPOP, 2011; Fernandes, 2005)

Stopnja	Slovenija (Kraško GGO)	EFFIS	Hrvaška (Splitsko Dalmatinska županija)	Portugalska
zelo majhna	0-5,3	0-5,5	0-4,9	0-9,4
majhna	5,4-10,6	5,6-13,2	5-8,9	9,5-18,2
srednja	10,7-21,4	13,3-19,7	9-16,9	18,3-25,2

Stopnja	Slovenija (Kraško GGO)	EFFIS	Hrvaška (Splitsko Dalmatinska županija)	Portugalska
velika	21,5-31,4	19,8-29,7	17,9-32,9	25,3-38,9
zelo velika	≥31,5	≥29,8	≥33,0	≥39,0

Gibanje vrednosti indeksa FWI na študijskem območju v obdobju 1995–2009 je prikazano na sliki 39. Indeks FWI je najnižji v zimskih mesecih in se počasi dviguje in doseže vrh v juliju in avgustu, ko so najvišje vrednosti, v jesenskih mesecih se hitro zniža in je približno enak skozi zimske mesece. Trend gibanja indeksa FWI je torej strogo sezonski, saj so najvišje vrednosti v poletnih mesecih julij in avgust.



Slika 39: Maksimalne, 75 percentil, mediana, 25 percentil in minimalne vrednosti indeksa FWI na študijskem območju (1995–2009)

Figure 39: Maximum, 75 percentile, median, 25 percentile, and minimum values of FWI daily variation in the study area (1995–2009)

6.4.1 Analiza komponent meteorološkega indeksa požarne ogroženosti gozdov

Naredili smo primerjavo med stopnjami požarne ogroženosti po CFFWIS in preteklo požarno aktivnostjo. Za vsako stopnjo smo določili glavne značilnosti požarne aktivnosti, ki je predstavljena kot število dni s požarno aktivnostjo, številom požarov na dan, dnevno pogorelo površino in velikostjo požara. Povezava med vrednostmi indeksa FWI in preteklo požarno aktivnostjo je razvidna iz preglednice 24.

Preglednica 24: Stopnje požarne ogroženosti in požarna aktivnost na študijskem območju (1995–2009)

Table 24: Fire danger rating and fire activity in the study area (1995–2009)

Stopnja požarne ogroženosti	Spodnja meja razreda FWI	% dni s požarno aktivnostjo	Število požarov dan ⁻¹	Pogorele površine (ha dan ⁻¹)	Povprečna velikost požara (ha)
zelo velika	31,5	53,6	1,04	19,12	18,31
velika	21,5	33,7	0,49	1,32	2,68
srednja	10,7	14,7	0,21	1,65	7,80
majhna	5,4	13,5	0,19	0,84	4,40
zelo majhna	0	3,7	0,05	0,16	3,43

Analiza stopenj požarne ogroženosti in požarne aktivnosti je pokazala, da se delež dni s požarno aktivnostjo povečuje v povezavi s povečano požarno ogroženostjo. Prav tako se povprečno dnevno število požarov povečuje s stopnjo požarne ogroženosti od zelo majhne do zelo velike. Zelo velika

požarna ogroženost je prav tako povezana z največjimi dnevnimi pogorelimi površinami in največjimi požari.

Vse komponente CFFWIS statistično značilno napovedujejo požarni dan (preglednica 27), kar je razvidno iz vrednosti površin pod krivuljo ROC. Ker so te vrednosti večje od 0,70 pomeni, da CFFWIS komponente s sprejemljivo točnostjo razlikujejo med (ne)požarni dnevom (Hosmer in Lemeshow, 2000). Indeks ISI, ki združuje vpliv vlažnosti drobnega odmrlega goriva (FFMC) in hitrost vetra, je bolj povezan s pojavljanjem požara kot katerakoli druga komponenta, čeprav je razlika v primerjavi z indeksom FWI zelo majhna (preglednica 27). To nakazuje, da je bilo pojavljanje požarov na študijskem območju v času raziskave bolj odvisno od trenutnega vremena (relativna vlaga, temperatura zraka in veter) kot od pojava suše. Vse komponente so pravilno opredelile 89 % vseh opazovanj (Preglednica 27), kar smo izračunali tako, da smo primerjali preteklo požarno aktivnost po dnevih (0, če ni bilo požara in 1, če je požar bil) z napovedano požarno ogroženostjo CFFWIS po dnevih (1, če je CFFWIS komponenta napovedala zelo veliko požarno ogroženost in 0, če je ni) (preglednica 25). Delež stopnje ujemanja smo dobili, ko smo število dni, ko sta bili opazovana in napovedana vrednost enaki (0 ali 1), primerjali s skupnim številom dni.

Preglednica 25: Matrika zamenjav za napovedovanje zelo velike stopnje požarne ogroženosti

Table 25: Confusion matrix for predicting very high fire danger

		Dejanski požar	
		Da	Ne
Zelo velika požarna ogroženost po CFFWIS	Da	x	
	Ne		x

Kljub visoki stopnji ujemanja napovedi zelo velike stopnje požarne ogroženosti, so bile stopnje neujemanja napovedi požarnega dneva zelo visoke (preglednica 27). Stopnjo neujemanja napovedi požarnega dneva smo izračunali tako, da smo primerjali napovedano zelo visoko stopnjo požarne ogroženosti po komponentah CFFWIS samo za tiste dni, v katerih se je pojavil požar (592 dni) (preglednica 26). Delež števila dni, ko komponenta CFFWIS ni napovedala požara v tistih dnevih, ta pa se je pojavil, predstavlja stopnjo neujemanja. Zato je, ne glede na izbrano komponento CFFWIS, logistična regresija večino požarnih dni napovedala kot dneve brez požarov.

Preglednica 26: Matrika zamenjav za napovedovanje požarnega dneva

Table 26: Confusion matrix for predicting fire day

		Dejanski požar	
		Da	Ne
Napoved požarnega dneva po CFFWIS	Da	x	
	Ne		

Neuspeh pri prepoznavanju požarnih dni je deloma rezultat neuravnoteženega nabora podatkov, saj le 10,8 % vzorca ustreza požarnim dnevom. Bolj natančnega logističnega modela z združitvijo dveh ali več komponent nismo mogli zgraditi.

Preglednica 27: Rezultati modelov univariatne logistične regresije verjetnosti pojavljanja požarov na Kraškem GGO (1995–2009)

Table 27: Performance of univariate logistic regression models for fire-day probability in the Karst forest management region (1995–2009)

CFFWIS komponente	Površina pod krivuljo ROC	Stopnja ujemanja	Stopnja neujemanja
FFMC	0,78	0,89	0,89
DMC	0,74	0,89	0,88
DC	0,62	0,89	0,89
ISI	0,79	0,89	0,88
BUI	0,72	0,89	0,87
FWI	0,78	0,89	0,88

Klasifikacija z odločitvenim drevesom (priloga E) je pokazala na prevladujočo vlogo trenutnih vremenskih razmer na pojavljanje požarov, saj je indeks ISI pojasnil 78,5 % vseh variacij. Poleg tega je omogočila opredelitev opazovanih kombinacij indeksov ISI in BUI, ki prikazujeta določanje požarnega dneva z visoko verjetnostjo:

- (a) $11,7 > \text{ISI} \geq 10,3$ in $29,9 > \text{BUI} \geq 14,6$ (100 % požarnih dni)
- (b) $\text{ISI} \geq 11,1$ in $\text{BUI} \geq 109,6$ (93 % požarnih dni)
- (c) $\text{ISI} \geq 14,1$ in $109,6 > \text{BUI} \geq 63,7$ (100 % požarnih dni)

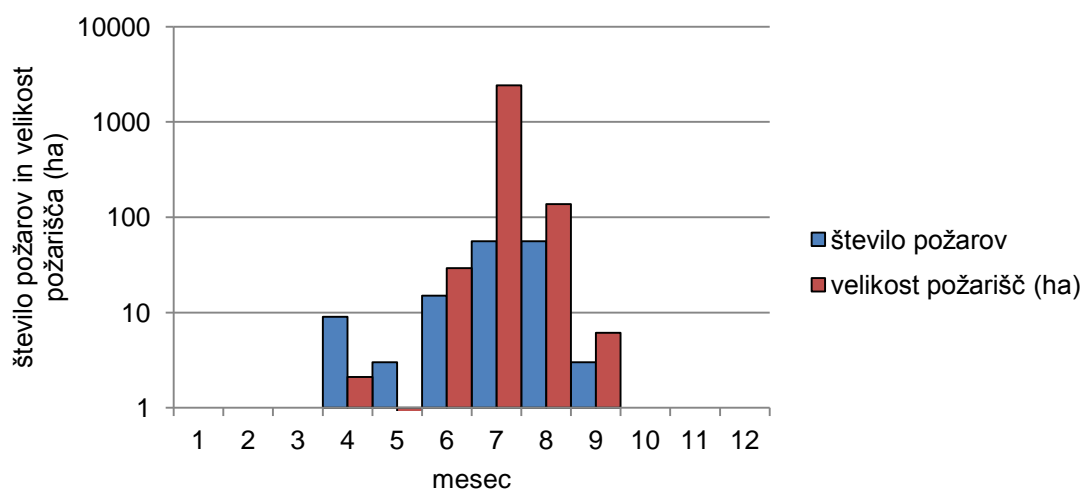
Te kombinacije odražajo kritične vremenske razmere za nastanek požara na študijskem območju in jih lahko uporabimo kot dodatek k razredom požarne ogroženosti, ki lahko koristijo razvoju ali izboljšanju smernic za protipožarno zaščito. Kombinaciji (b) in (c) se pojavljata poleti. Kombinacija (a) se pojavlja pri srednji požarni ogroženosti, pri zmerni suši konec zime. Požarne razmere podobne kombinaciji (a) se pojavljajo tudi drugod v srednji Evropi (Reinhard in sod., 2005).

6.4.2 Analiza stopenj požarne ogroženosti

Pojavljanje požarov na študijskem območju ima dva vrhunca, eden je konec zime, drugi poleti. Indeks FWI ima tipičen sezonski trend z najvišjimi vrednostmi v poletnih mesecih. Pregledali smo pojavljanje požarov po posameznih stopnjah požarne ogroženosti po mesecih in ugotavljali glavna odstopanja sistema CFFWIS.

Zelo velika požarna ogroženost

Zelo veliko požarno ogroženost je indeks FWI prikazal za 136 dni. Pojavlja se v poletnih mesecih (slika 40), ko imajo vse komponente CFFWIS najvišje vrednosti. Takrat so tudi največji požari, pogorele površine pa predstavljajo 43 % vseh pogorelih površin na študijskem obdobju.

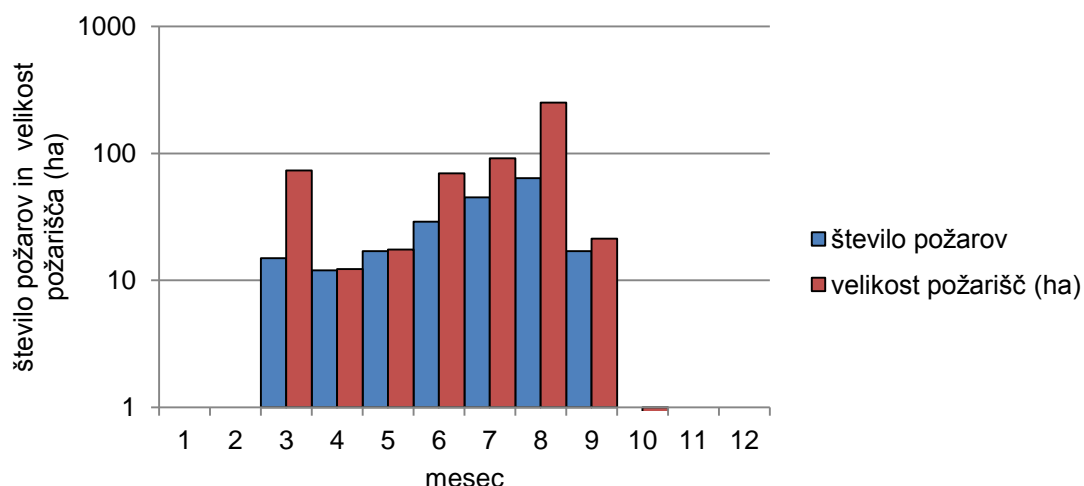


Slika 40: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri zelo veliki stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009)

Figure 40: Number of fires and burnt area (ha) per months at very high fire danger in the study area (1995–2009)

Velika požarna ogroženost

CFFWIS izračuna veliko požarno ogroženost tudi v poletnih mesecih. Skoraj četrtina vseh požarov se je zgodila pri veliki požarni ogroženosti, vendar so velikosti požara in pogorele površine majhne. Največ požarov se je zgodilo v poletnih mesecih (slika 41).

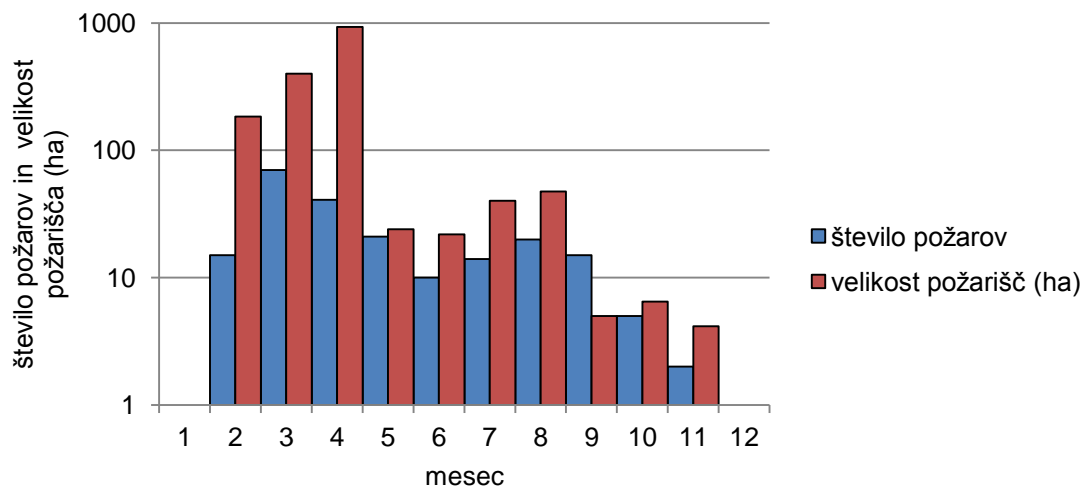


Slika 41: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri visoki stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009)

Figure 41: Number of fires and burnt area (ha) per months at high fire danger in the study area (1995–2009)

Srednja požarna ogroženost

Večina gozdnih požarov se zgodi pri srednji požarni ogroženosti. Skupne pogorele površine so velike (28 %), požari so majhni. Največ požarov se zgodi v februarju in marcu (slika 42), ko ima indeks FWI nizke vrednosti.

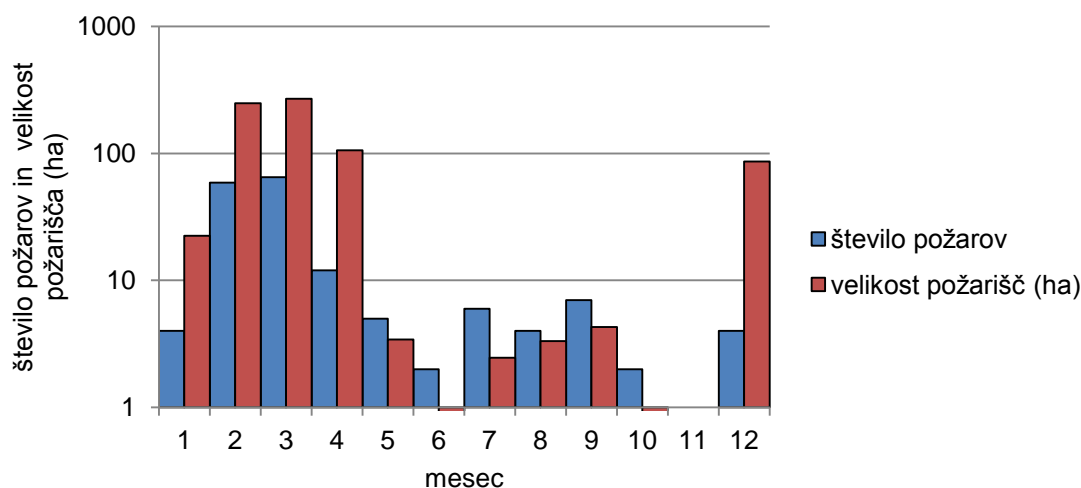


Slika 42: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri srednji stopnji požarni ogroženosti na študijskem območju (1995–2009)

Figure 42: Number of fires and burnt area (ha) per months at moderate fire danger in the study area (1995–2009)

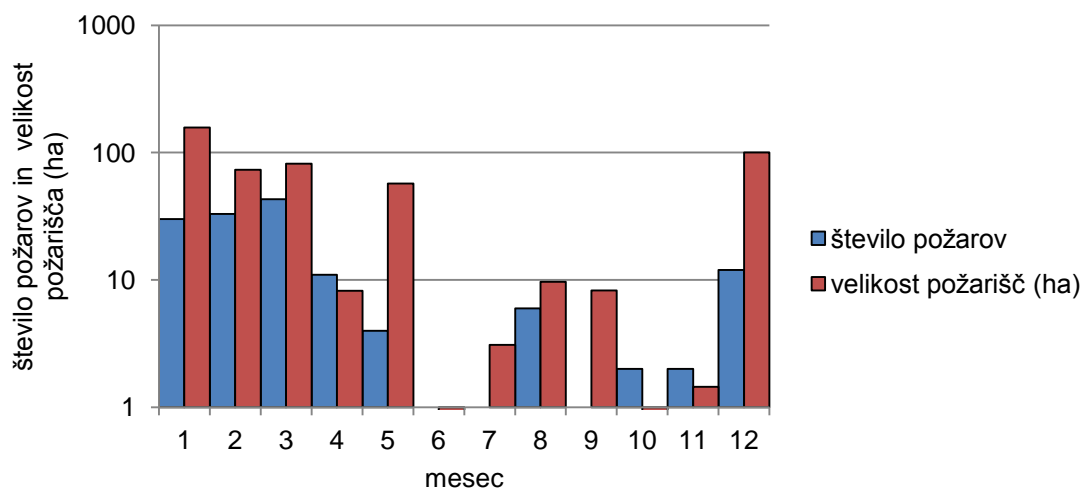
Zelo majhna do majhna požarna ogroženost

Indeks FWI prikazuje zelo majhno in majhno požarno ogroženost v jesenskih in zimskih mesecih, ko sta pojavljanje in velikost požarov majhna. Največ požarov pri teh dveh stopnjah se zgodi v mesecih februar in marec (sliki 43 in 44), podobno kot pri srednji stopnji požarne ogroženosti.



Slika 43: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri majhni stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009)

Figure 43: Number of fires and burnt area (ha) per months at low fire danger in the study area (1995–2009)



Slika 44: Število požarov in velikosti požarišč po mesecih pri zelo majhni stopnji požarne ogroženosti na študijskem območju (1995–2009)

Figure 44: Number of fires and burnt area (ha) per months at very low fire danger in the study area (1995–2009)

Zelo velika in velika požarna ogroženost se po CFFWIS pojavljata poleti (julij in avgust), ko indeks FWI dosega najvišje vrednosti, kar sovpada z velikostjo požarov in velikimi pogorelimi površinami. Največ požarov na študijskem območju pa se zgodi konec zime (februar in marec), ko CFFWIS izračuna srednjo stopnjo požarne ogroženosti.

6.4.3 Prostorska interpolacija

Prostorsko interpolacijo smo uporabili za izdelavo zveznih ploskve CFFWIS. Uporabili smo interpolacijsko metodo zlepkov (Flannigan in Wotton, 1989), ki je vgrajena v ArcGIS-u v okviru razširitvenega modula *Spatial Analyst*. Najprej smo določili ustrezne parametre interpolacije (*spline type - tension, weight, number of points*; esri, 1999–2010) (priloga G). Pri izdelavi zveznih ploskev smo uporabili vremenske podatke vremenskih postaj v Sloveniji. Podatki za izračun zveznih ploskev so vrednosti indeksa FWI, ki smo ga izračunali iz vremenskih spremenljivk. Komponente CFFWIS smo izračunali za vseh 20 vremenskih postaj. Na podlagi vrednosti indeksa FWI smo s percentilno metodo določili pet stopenj požarne ogroženosti in njihove mejne vrednosti (preglednica 26). Zelo

majhne stopnje požarne ogroženosti v preglednici 28 nismo prikazali. Vrednosti indeksa FWI, ki so manjše od mejnih vrednosti majhne stopnje požarne ogroženosti spadajo v to stopnjo.

Preglednica 28: Stopnje požarne ogroženosti za 20 vremenskih postaj v Sloveniji (1995–2009)

Table 28: Fire danger rating ranges for 20 weather stations in Slovenia (1995–2009)

Št. postaje	Stopnja požarne ogroženosti			
	majhna	srednja	velika	zelo velika
3	0,9	1,8	3,6	9,3
38	1,9	3,8	7,7	13,8
48	0,7	1,3	2,7	8,3
51	2,8	5,5	11,1	19,0
97	6,3	12,6	25,9	38,4
107	4,4	8,7	17,5	29,4
136	4,1	8,3	16,6	27,3
158	3,2	6,3	12,6	22,3
174	4,6	9,1	18,2	29,9
189	2,0	4,0	8,0	15,
192	4,1	8,1	16,2	25,1
249	4,3	8,5	17,1	29,6
257	3,7	7,4	14,8	26,1
268	4,5	9,0	17,9	30,1
310	4,1	8,2	16,4	26,2
321	3,3	6,5	13,1	22,1
355	4,5	8,9	17,9	28,3
403	3,0	5,9	11,9	20,9
452	1,9	3,9	7,8	15,0
464	7,3	14,6	29,2	44,0

Zvezne ploskve požarne ogroženosti smo izračunali za 20 dni z največjo požarno aktivnostjo na študijskem območju (preglednica 29). Število požarov v teh dnevih je najmanj štiri in največ devet na dan. Skupaj se je v izbranih dnevih pojavilo 99 požarov s skupno pogorelo površino 1316 ha, kar predstavlja 11 % vseh požarov in 22 % pogorelih površin na študijskem območju v študijskem obdobju.

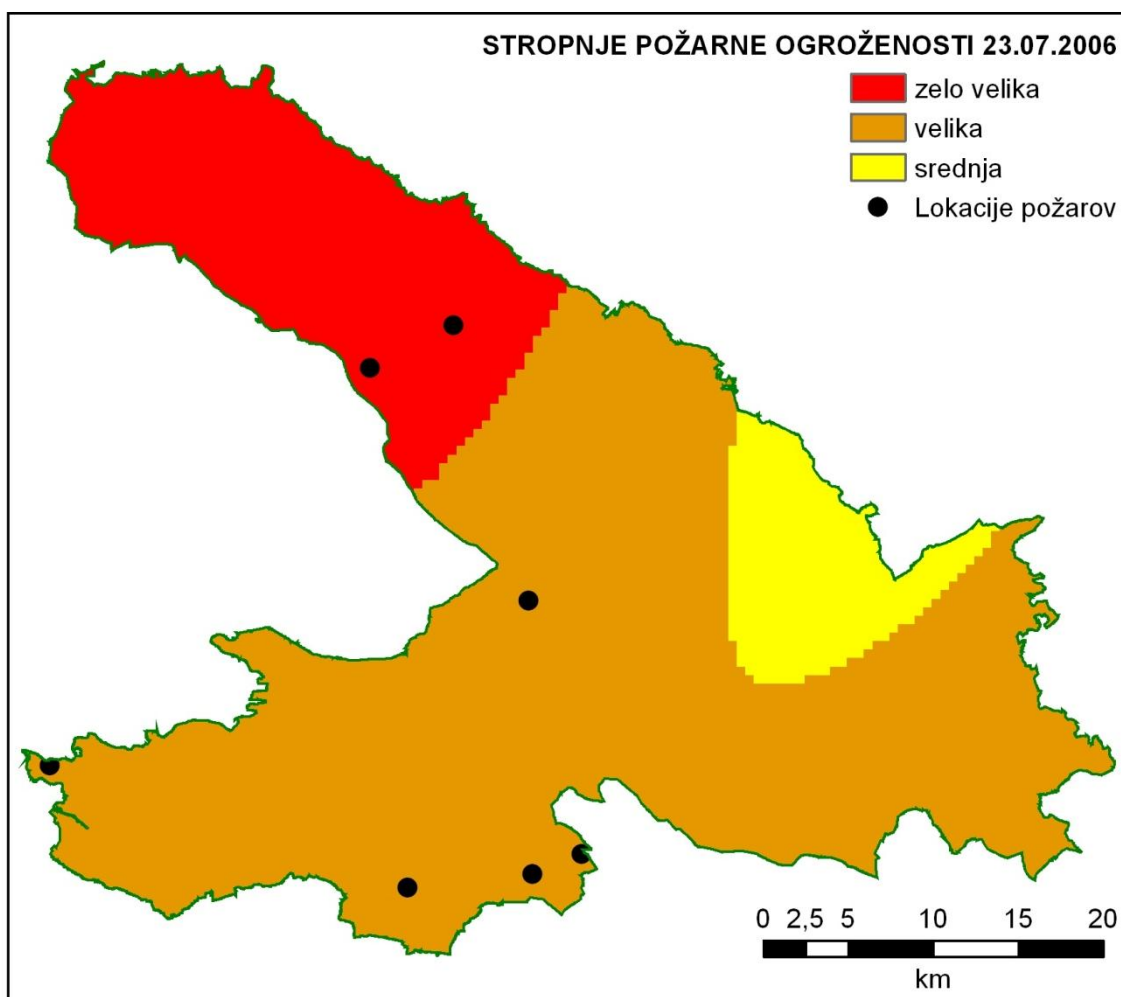
Preglednica 29: Dnevi največje požarne aktivnosti na študijskem območju (1995–2009)

Table 29: Days with highest fire activity in the study area (1995–2009)

Datum	Število požarov	Pogorela površina (ha)
6. 3. 1997	4	15,2
9. 3. 1998	4	12,3
25. 3. 1998	4	12,1
15. 8. 2001	7	12,0
9. 3. 2003	4	3,0
9. 7. 2003	6	36,1
11. 8. 2003	6	16,6
31. 8. 2004	9	16,2
7. 9. 2004	4	6,4
1. 1. 2005	4	2,5
3. 2. 2005	5	11,6
9. 2. 2005	5	38,2

Datum	Število požarov	Pogorela površina (ha)
13. 8. 2005	4	0,2
20. 7. 2006	4	78,8
21. 7. 2006	5	1028,9
23. 7. 2006	7	5,6
13. 12. 2006	4	3,8
11. 3. 2007	4	12,3
13. 3. 2007	4	3,7
28. 4. 2007	5	0,5

Izdelavo zveznih ploskev vrednosti CFFWIS za 20 dni smo pohitrili z uporabo orodja *Model builder* (esri, 1999–2010). Z njim smo izdelali model (priloga F), ki nam na podlagi vhodnih vrednosti v model (vrednost FWI na loakciji vremenske postaje) avtomatsko izdela zvezne ploskve vrednosti FWI. Zvezne ploskve smo izdelali za območje cele Slovenije, vendar smo se pri prikazu rezultatov omejili na študijsko območje. Stopnje požarne ogroženosti smo označili s števkami od 1 do 5, kjer 1 pomeni zelo veliko in 5 zelo majhno požarno ogroženost. Zvezne ploskve požarne ogroženosti smo izračunali za 20 dni in rezultate prikazali in uporabili samo za študijsko območje (slika 45).



Slika 45: Stopnje požarne ogroženosti z metodo zlepkov in lokacije požarov za 23. 7. 2006
 Figure 45: Fire danger ratings with spline method for July 23, 2006

Ko smo izdelali zvezne ploskve požarne ogroženosti za 20 dni z največjo požarno aktivnostjo, smo rezultate interpolacije primerjali z dejansko požarno aktivnostjo. Privzeli smo, da mora biti na mestu,

kjer se je pojavil požar, stopnja požarne ogroženosti zelo velika in označena s številko 1. Preverjali smo, kdaj in kolikokrat ima celica na mestu, kjer se je pojavil požar, vrednost 1. Z metodo zlepkov, smo s primerjavo vrednosti celic na mestih, kjer so se pojavili požari, pravilno napovedali 24 (24 %) požarov.

Rezultat primerjave zveznih ploskev izdelanih z interpolacijsko metodo in preteklo požarno aktivnostjo na študijskem območju je pokazal na nezadovoljivo prostorsko točnost CFFWIS.

6.5 Model pojavljanja gozdnih požarov

Pred izgradnjo modela smo analizirali kakovost sestojnih kart z vidika skladnosti s Pravilnikom (1998) in skladnosti s terenom. Ugotovili smo, da je njihova kakovost ustrezna, zato so tudi rezultati modela verodostojni in uporabni za nadaljnje delo na področju protipožarne zaščite. Podatkov o točki vžiga požara oziroma začetni točki požarov nismo preverjali. Zavedamo se, da je točko vžiga težko določiti, ker se požari običajno odkrijejo šele nekaj časa po začetku gorenja. V tem primeru moramo poudariti, da zaposleni na ZGS, ki se izdelaujejo Poročila o požaru (priloga A), dobro opravljajo svoje delo.

Model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili na podlagi podatkov o gozdnih sestojih, ki so se zbrali v postopku izdelave gozdnogospodarskih načrtov v desetih letih. Njegova veljavnost je prav tako 10 let. V prostorskem modelu pojavljanja gozdnih požarov smo uporabili vse gozdne sestojne na študijskem območju, v našem primeru je bilo 13.024 gozdnih sestojev. Vsakemu sestoju smo glede na lokacijo gozdnega požara pripisali podatek o gozdnem požaru (1/0). Gozdnih sestojev, ki vsebujejo podatek o gozdnem požaru, je 307 (2 % vseh sestojev). Za izgradnjo modela smo uporabili kot odvisno spremenljivko podatek o preteklem gozdnem požaru (1, če je bil požar v gozdnem sestoju in 0, če požara ni bilo), kot neodvisne spremenljivke smo uporabili naslednje značilnosti gozdnih sestojev: razvojna faza, sestojni sklep, vodilna drevesna vrsta glede na lesno zalogo, lesna zaloga na hektar (m^3/ha), delež listavcev glede na lesno zalogo (%), vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu, debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nadmorska višina sestoja (m).

Najprej smo zgradili model pojavljanja gozdnih požarov z metodo najmanjših kvadratov, ki pokaže razmerja med izbranimi spremenljivkami. Rezultati metode OLS na primeru izgradnje modela pojavljanja gozdnih požarov nakazujejo, da je povezanost med njimi zelo majhna, saj je izbranih osem neodvisnih spremenljivk pojasnilo samo 1 % spremenljivosti odvisne spremenljivke (preglednica 30). Ostali statistični testi (F statistika, Waldova statistika in Koenekerjeva statistika (K(BP))) kažejo, da gre za statistično značilen model. Metoda OLS nam pokaže, da je model zelo šibek ter da v modelu obstajajo spremenljivke (priloga I), ki niso statistično značilne. Te spremenljivke so sestojni sklep, razvojna faza in debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu. Teh spremenljivk nismo uporabili pri izgradnji modela z metodo GWR. V tem modelu smo uporabili neodvisne spremenljivke, ki temeljijo na merilu statistične značilnosti koeficientov modela, ki so vodilna drevesna vrsta glede na lesno zalogo, lesna zaloga na hektar (m^3/ha), delež listavcev glede na lesno zalogo (%), vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nadmorska višina sestoja (m).

Preglednica 30: Rezultati metode OLS za model pojavljanja gozdnih požarov

Table 30: OLS results for forest fire occurrence model

Diagnostika	Vrednost	Razlaga
AIC	-12.310,22	<i>Akaike's Information Criterion</i> : relativna vrednost za primerjavo modelov - manjša vrednost nakazuje boljši model
R ²	0,01	delež variance odvisne spremenljivke, ki ga lahko pojasnimo z modelom
Adjusted R ²	0,01	delež variance odvisne spremenljivke, ki ga lahko pojasnimo z modelom, odvisen od kompleksnosti modela
F-Stat	21,38	statistična pomembnost modela
F-Prob	0,00	p-vrednost
Wald	157,32	statistična pomembnost modela
Wald-Prob	0,00	p-vrednost
K (BP)	173,91	test za pojavljanje heteroskedastičnosti v modelu (variance odvisne in neodvisnih spremenljivk so različne)
K(BP)-Prob	0,00	p-vrednost
JB	803.514,58	test za ugotavljanje normalne porazdelitve napak odpovedi
JB-Prob	0,00	p-vrednost

6.5.1 Geografsko utežena regresija s stalnim jedrom

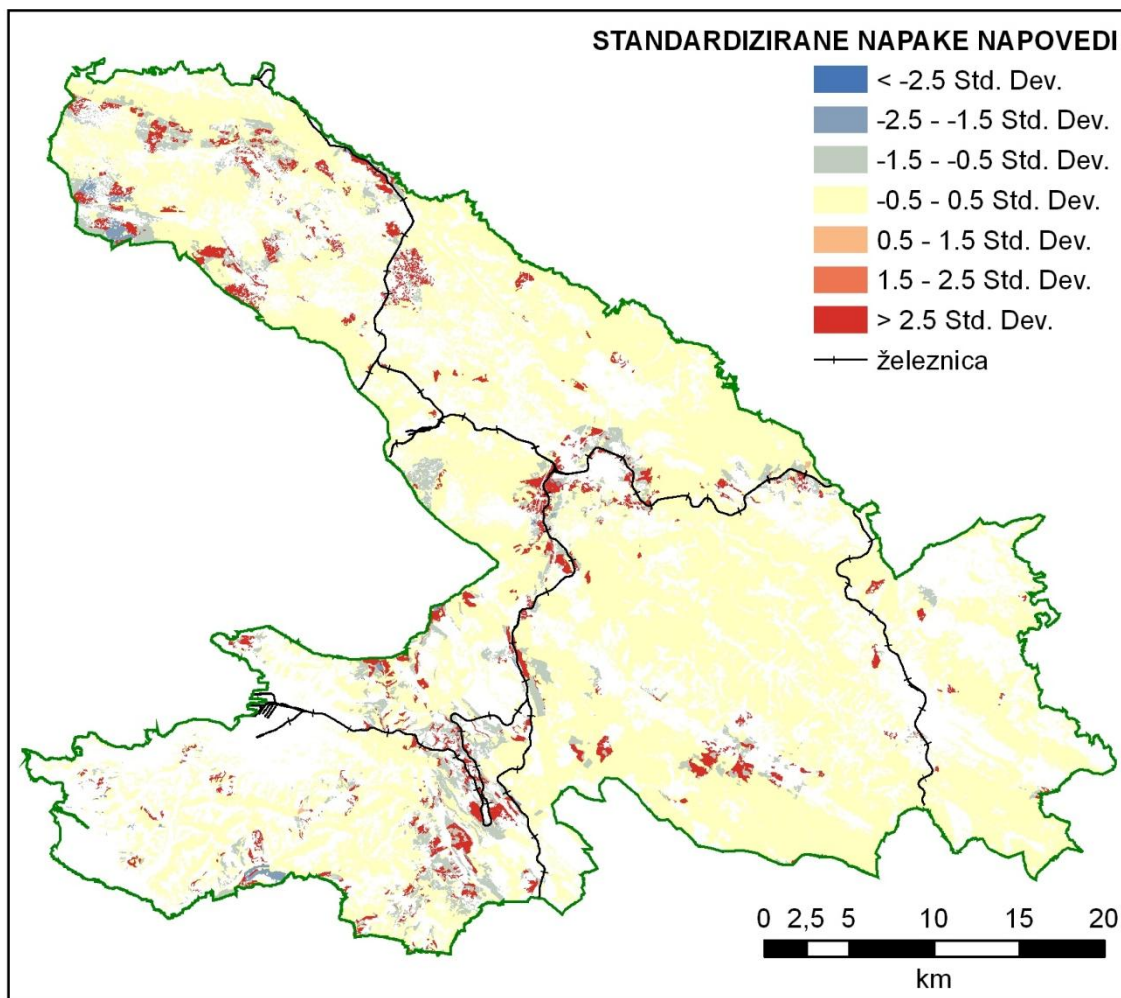
Izbranih pet neodvisnih spremenljivk smo uporabili pri izgradnji modela z metodo GWR s stalnim jedrom. GWR modul nam v ArcGIS programskem paketu ob njegovi uporabi ponudi diagnostično statistiko (preglednica 31). Vrstica bandwidth nam pove, da smo za določitev pasovne širine uporabili našo lastno vrednost (1232 m), ki je enaka srednji naključni razdalji (RDmean), ki smo jo uporabili pri metodi jedrne gostote gozdnih požarov. Pomembna je AICc vrednost, ki je v tem modelu bistveno manjša kot v OLS modelu, kar nakazuje na izboljšavo modela. Lokalni regresijski model je tudi bistveno izboljššan, kar je razvidno iz stopnje ujemanja (R²). V tem primeru so neodvisne spremenljivke pojasnile 21 % spremenljivosti odvisne spremenljivke.

Preglednica 31: Pomembnejše vrednosti diagnostične statistike GWR metode s stalnim jedrom

Table 31: Significant diagnostic statistic values GWR with fixed kernel type

bandwidth	1232 m
AICc	-3908,52
R ²	0,21
R ² Adjusted	0,08

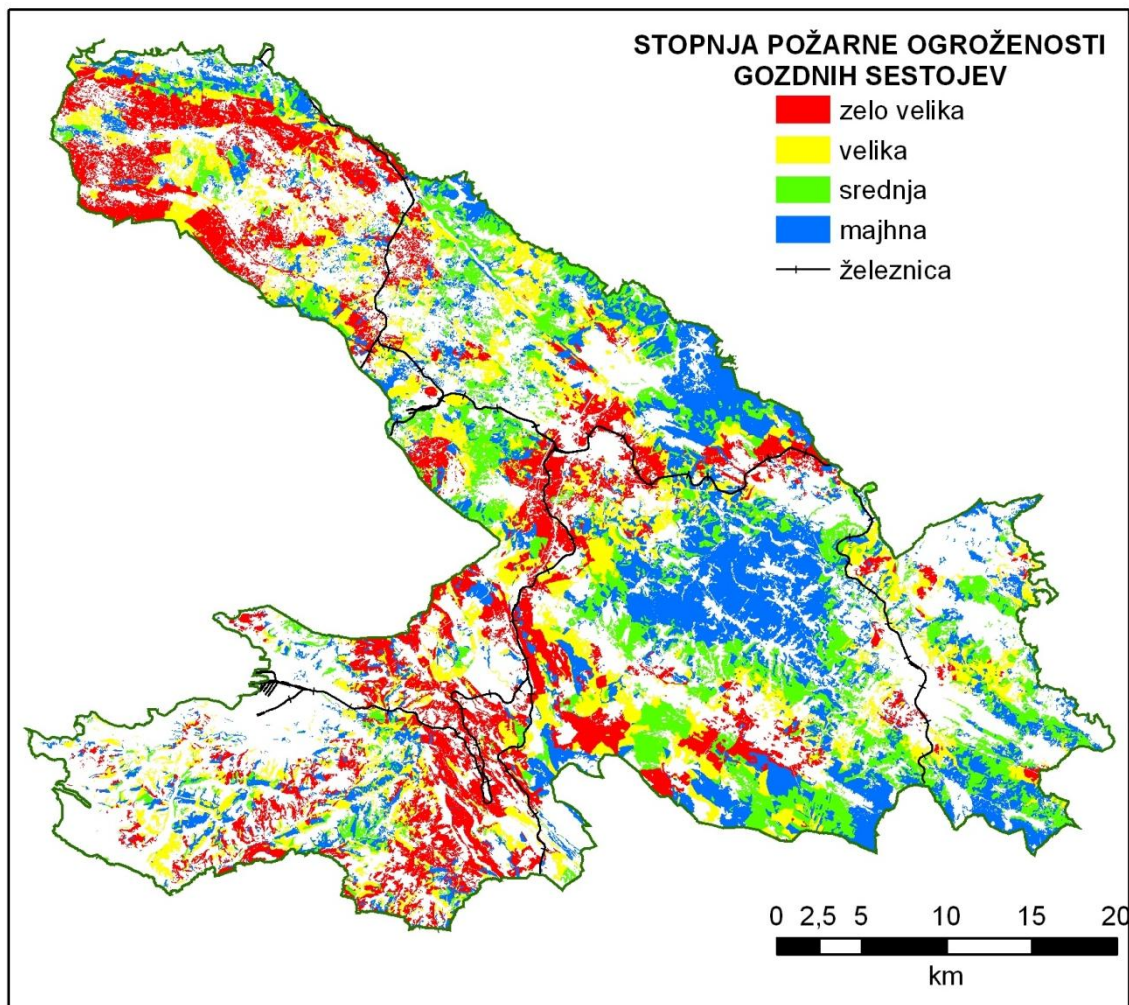
Rezultati metode GWR so prikazani tudi v obliki kartografskega prikaza. Najprej smo naredili karto standardiziranih vrednosti napak napovedi (slika 46). Karta nam pokaže, kje se pojavljajo območja z velikimi standardnimi napakami napovedi. Vidimo lahko, da se ta območja največkrat pojavljajo okoli železnice.



Slika 46: Rezultati GWR metode s stalnim jedrom: standardizirane napake napovedi in železnica
Figure 46: Results of GWR method with fixed kernel type: residulas and railway

Na podlagi tega lahko sklepamo, da nam v modelu manjka vsaj ena izmed ključnih neodvisnih spremenljivk tj. železnica oziroma razdalja gozdnih požarov od železnice. Te spremenljivke v model namerno nismo vključili, ker se v nalogi ukvarjamo izključno z vplivom značilnosti gozdnih sestojev na pojavljanje gozdnih požarov.

Nadalje smo kartirali napovedane stopnje pojavljanja gozdnih požarov na študijskem območju, izračunane z GWR metodo s stalnim jedrom (slika 47). Prikazane so po štirih stopnjah požarne ogroženosti na ravni gozdnega sestoja.

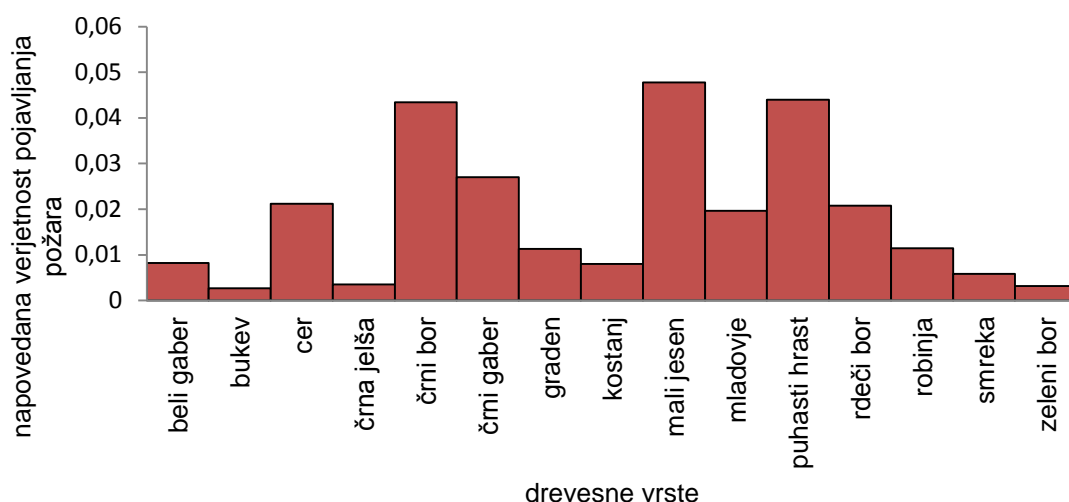


Slika 47: Napovedane vrednosti pojavljanja gozdnih požarov GWR metode s stalnim jedrom
Figure 47: Predicted value of forest fire occurrence of GWR method with fixed kernel type

Površina gozdov po modelu, ki smo jih uvrstili v zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti, je 23.085,4 ha gozdov (27 % vseh gozdov). V veliko stopnjo požarne ogroženosti smo, glede na model, uvrstili 18.709,18 ha gozdov (22 % vseh gozdov).

Pregledali smo, kako neodvisne spremenljivke značilnosti gozdnih sestojev (vodilna drevesna vrsta glede na lesno zalogo, lesna zaloga na hektar, delež listavcev glede na lesno zalogo, vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nadmorska višina sestoja) vplivajo na pojavljanje gozdnih požarov.

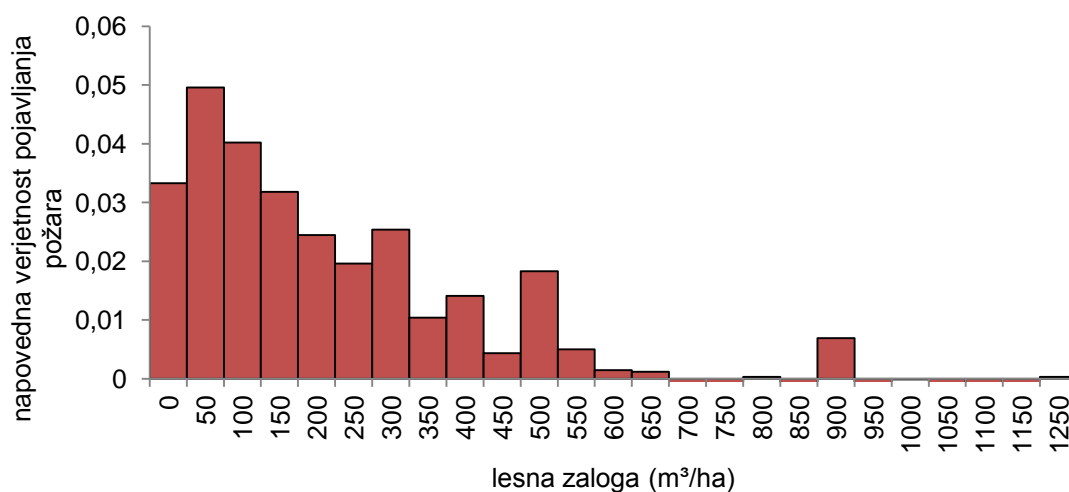
Pri prikazu povprečno največje napovedane verjetnosti pojavljanja požarov v gozdnih sestojih glede na vodilne drevesne vrste smo se omejili samo na tiste drevesne vrste, ki dosegajo deleže glede na površino večje od 1 %. Glede na rezultate modela so najbolj ogroženi gozdni sestoji, kjer prevladujejo mali jesen, puhasti hrast in črni bor (slika 48). Sledijo jim črni gaber, cer in rdeči bor. Omeniti velja še gozdne sestojke, kjer je zapisana razvojna faza mladovja, ki so tudi med bolj požarno ogroženimi.



Slika 48: Vpliv drevesnih vrst na pojavljanje požarov na študijskem območju

Figure 48: Effect of tree species on the probability of fire in the study area

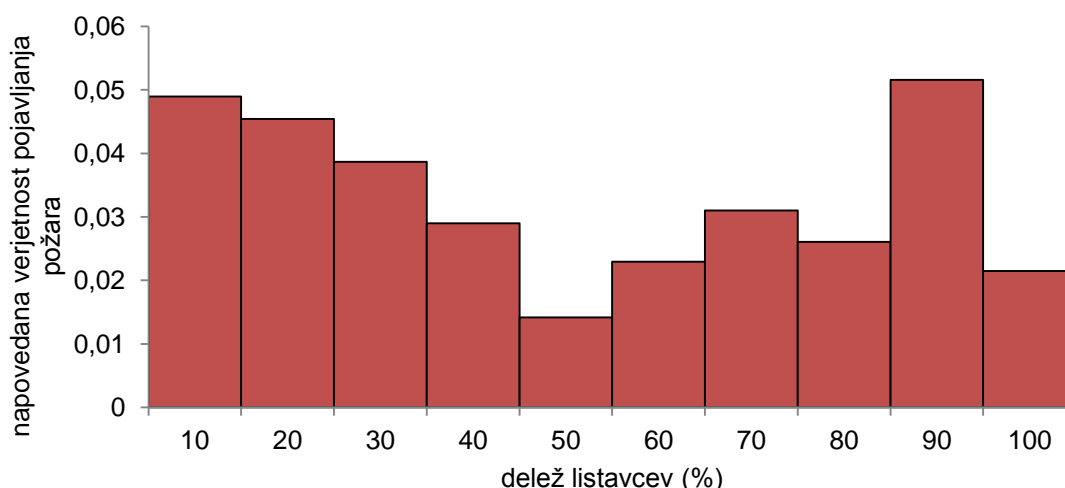
Za vsak razred lesne zaloge smo izračunali uteženo aritmetično sredino izračunane napovedane verjetnosti pojavljanja požara, kjer smo za utež uporabili površino sestoja. Glede na model je največja povprečna napovedana verjetnost pojavljanja požarov v gozdnih sestojih, ki imajo lesno zalogo manjšo od 50 m³/ha (slika 49). Napovedana verjetnost pojavljanja požara se zmanjšuje z večanjem lesne zaloge na hektar.



Slika 49: Vpliv lesne zaloge na pojavljanje požarov na študijskem območju

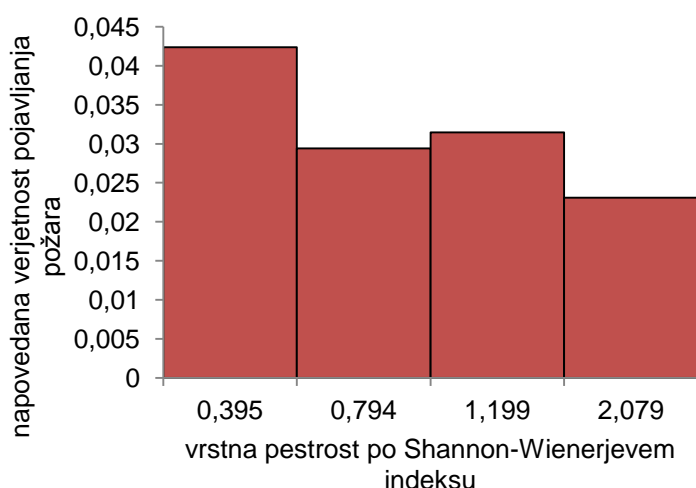
Figure 49: Effect of wood stock on the probability of fire in the study area

Delež listavcev glede na lesno zalogo smo razdelili v 10 razredov. Za vsak razred smo izračunali uteženo aritmetično sredino napovedane verjetnosti pojavljanja požara (slika 50). Največja napovedna verjetnost za nastanek požara je v gozdnih sestojih, kjer je delež listavcev v lesni zalogi med 80 in 90 %. Sledijo jim gozdni sestoji, kjer prevladujejo iglavci v lesni zalogi.



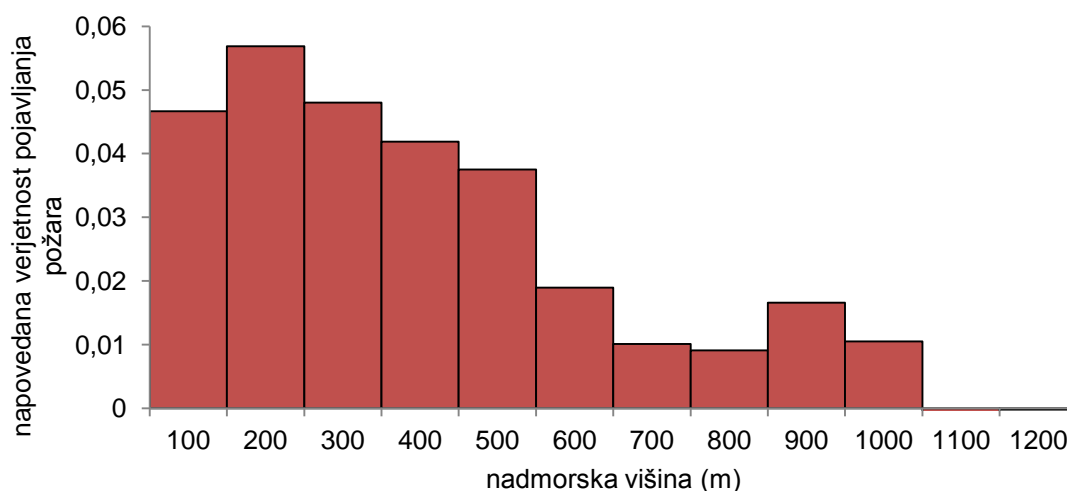
Slika 50: Vpliv deleža listavcev glede na lesno zalogo na pojavljanje požarov na študijskem območju
Figure 50: Effect of proportion of hardwood in wood stock on the probability of fire in the study area

Za prikaz vpliva vrstne pestrosti po Shannon-Wienerjevem indeksu smo uporabili metodo kvantilov (Ogris in sod., 2006). Največja napovedna verjetnost za nastanek požara glede na Shannon-Wienerjev indeks je v gozdnih sestojih, kjer je manj drevesnih vrst in se te pojavljajo neenakomerno (slika 51).



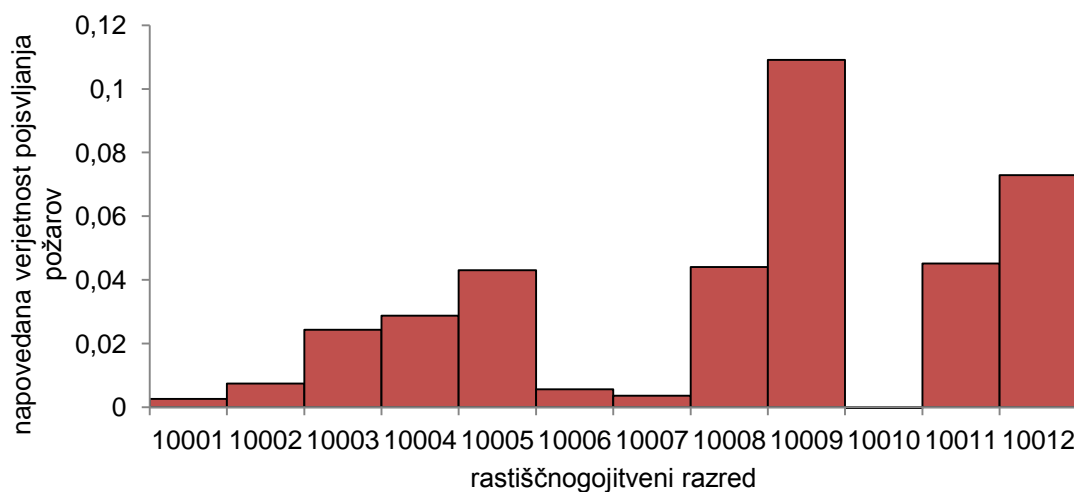
Slika 51: Vpliv vrstne pestrosti po Shannon-Wienerjevem indeksu na pojavljanje požarov na študijskem območju
Figure 51: Effect of tree species diversity by Shannon-Wiener index on the probability of fire in the study area

Gozdne sestoje smo razdelili glede na nadmorsko višino v razrede po 100 m. Za vsak razred smo izračunali povprečno napovedano verjetnost pojavljanja požara (slika 52), ki se zmanjšuje z višanjem nadmorske višine. Najbolj požarno ogroženi so gozdni sestoji, ki se nahajajo na nadmorski višini med 100 in 200 m.



Slika 52: Vpliv nadmorske višine na pojavljanje požarov na študijskem območju
Figure 52: Effect of altitude on the probability of fire in the study area

Povprečno napovedano verjetnost pojavljanja požarov smo, kot uteženo aritmetično sredino, izračunali tudi za vsak rastiščnogojitveni razred (RGR) na študijskem območju (slika 53). Po modelu je največja napovedana verjetnost pojavljanja požarov v rastiščnogojitvenem razredu borovi gozdovi na rastišču Orno – *Quercetum petraeae pubescentis*.



Slika 53: Verjetnost pojavljanja gozdnih požarov po rastiščnogojitvenih razredih na študijskem območju
Figure 53: The probability of fire per forest management classes in the study area

Pojavljanje požarov po rastiščnogojitvenih razredih (slika 53) smo primerjali z opisi RGR v območjem načrtu (ZGS, 2003), kjer je za vsak RGR navedeno ali in v kolikšni meri je požarno ogrožen (preglednica 32). Primerjava med opisi RGR z vidika požarne ogroženosti in rezultati modela nakazuje na njuno ujemanje. V obeh primerih so izpostavljeni isti požarno ogroženi RGR. Izjemi sta RGR gozdni rezervati in varovalni gozdovi, za katere v območnem načrtu (ZGS, 2003) ni navedena požarna ogroženost. Izračunali smo jo z modelom pojavljanja gozdnih požarov.

Preglednica 32: Deleži rastiščnogojitvenih razredov na študijskem območju (ZGS, 2003)

Table 32: Shares of forest management classes in the study area (ZGS, 2003)

Rastiščnogojitveni razred (RGR)	Oznaka RGR	Površina (ha)	Delež (%)	Požarna ogroženost
gozdovi bukve in gradna na rastišču <i>Quercus-Luzulo-Fagetum</i>	10001	5.453,83	7	ni ocenjena
bukovi gozdovi na rastišču <i>Seslerio-Fagetum</i>	10002	6.320,39	8	povečana v nižjih predelih
hrastovi gozdovi pretežno na rastišču <i>Seslerio autumnalis-Quercetum petraeae</i>	10003	17.069,40	22	zelo velika
hrastovi gozdovi na rastišču <i>Seslerio-Ostryetum</i>	10004	4.292,02	5	zelo velika
termofilni gozdovi listavcev na rastišču <i>Seslerio-Ostryetum</i>	10005	19.915,55	25	velika
gozdovi pionirskih listavcev na rastišču <i>Melampyro vulgati-Quercetum</i>	10006	5.298,43	7	ni ocenjena
gozdovi iglavcev pretežno na rastišču <i>Quercus-Luzulo-Fagetum</i>	10007	1.446,86	2	ni ocenjena
borovi gozdovi na rastišču <i>Seslerio-Ostryetum</i>	10008	15.383,91	19	zelo velika
borovi gozdovi na rastišču <i>Orno-Quercetum petraeae pubescentis</i>	10009	1.415,31	2	zelo velika
robinjevi sestoji pretežno na rastišču <i>Seslerio autumnalis-Quercetum petraeae</i>	10010	916,9	1	ni ocenjena
gozdni rezervati	10011	310,15	<1	ni ocenjena
varovalni gozdovi	10012	1.504,77	2	ni ocenjena

6.5.2 Geografsko utežena regresija s prilagodljivim jedrom

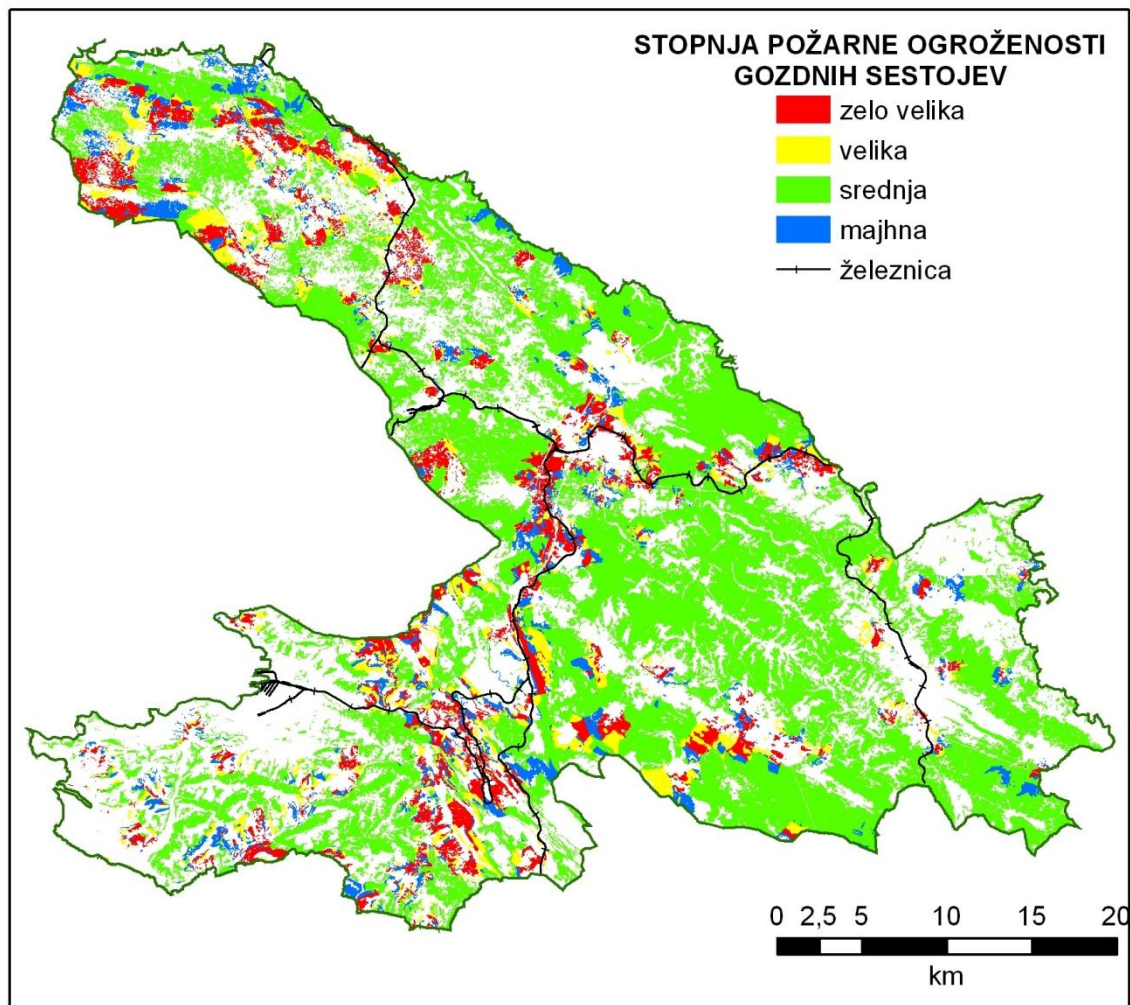
Pri izgradnji GWR modela s prilagodljivim jedrom smo prav tako uporabili izbranih pet neodvisnih spremenljivk. V tem modelu smo si za cilj zadali določitev 10.000 ha požarno najbolj ogroženih gozdov. S spreminjanjem števila sosednjih požarov, ki so zajeti v jedru, smo prišli do zaključka, da je 17 sosednjih požarov zadostilo pogoju, da je površina sestojev z zelo veliko površino manjša od 10.000 ha (preglednica 33). Vrednost AICc v tem modelu je še manjša, kot v GWR modelu s stalnim jedrom, kar pomeni še dodatno izboljšavo modela. Prav tako se je zelo povečala stopnja ujemanja (R^2), saj so v tem primeru neodvisne spremenljivke pojasnile 76 % spremenljivosti odvisne spremenljivke.

Preglednica 33: Pomembnejše vrednosti diagnostične statistike GWR metode s prilagodljivim jedrom

Table 33: Significant diagnostic statistic values GWR with adaptive kernel type

neighbours	17
AICc	-1472,75
R^2	0,76
R^2 Adjusted	0,13

Karte standardiziranih vrednosti napak napovedi za GWR model s prilagodljivim jedrom nismo naredili. V tem primeru nismo iskali vrednosti napak napovedi, ampak smo iskali območja, ki so požarno še posebno ogrožena. Zato smo prikazali samo napovedane stopnje verjetnosti pojavljanja gozdnih požarov (slika 54). S to metodo smo povečali oceno napovedovanja pojavljanja požara na območjih, kjer je njihova gostota večja, ker nas zanimajo samo ta območja.



Slika 54: Napovedane vrednosti pojavljanja gozdnih požarov GWR modela s prilagodljivim jedrom
Figure 54: Predicted value of forest fire occurrence of GWR model with adaptive kernel type

Rezultate metode GWR s prilagodljivim jedrom smo primerjali s preteklo požarno aktivnostjo. Naredili smo primerjavo med območji z izračunano zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti in lokacijami požarov v letih 2010–2011. Zelo velika stopnja požarne ogroženosti je izračunana za 991 gozdnih sestojev, ki pokrivajo 9887,44 ha (11,6 %) gozdov na študijskem območju.

Na študijskem območju je bilo v letih 2010 in 2011 s strani ZGS zabeleženih 118 gozdnih požarov (31 v letu 2010 in 87 v letu 2011). Od tega se jih je, glede na njihovo lokacijo, 55 (47 %) pojavilo v gozdnih sestojih. Izmed teh gozdnih požarov se jih je 34 pojavilo v gozdnih sestojih z izračunano zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti. Ugotovili smo, da se je v preteklih dveh letih 62 % gozdnih požarov, ki imajo glede na sestojne karte svoj začetek v gozdu, pojavilo v gozdnih sestojih, za katere smo z modelom izračunali zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti. Ti gozdni sestoji pa pokrivajo samo 12 % gozdnih površin na študijskem območju.

6.6 Pregled zbranih podatkov za izdelavo modela tipov goriv na študijskem območju

Za študijsko območje smo želeli izdelati model tipov goriv. Najprej smo pregledali, kateri so parametri tipov goriv in katere podatke potrebujemo za njihovo izdelavo. Za izračun parametrov tipov goriv potrebujemo podatke o odmrlem lesnem gorivu, opadu, neoleseneli vegetaciji, nadstojnih in podstojnih drevesih ter sušicah.

Pregled zbranih podatkov o gozdovih v Sloveniji je pokazal, da zbirke podatkov za izračun parametrov tipov goriv vsebujejo:

- meritve dreves (premer, višina),
- meritve lesnatih rastlin (premer, višina) in tankega živega drevja (premer, višina),
- meritve sušic (premer, višina),
- meritve odmrlih ležečih dreves (premer ≥ 10 cm),
- meritve opada na gozdnih tleh (organski podhorizont Ol),
- meritve delno razkrojenih rastlinskih ostankov in humificirane organske snovi (organski podhorizonti Of, Oh).

Na podlagi meritev na vzorčnih ploskvah lahko izračunamo podatke o nadstojnih drevesih tj. drevesih, ki so višja od 2 m (Harvey in sod., 1997) ter podstojnih drevesih. Prav tako lahko izračunamo podatke o sušicah. Iz podatkov o odmrli lesni biomasi lahko izračunamo parametre za odmrlo lesno gorivo za razred časovnega zamika 1000-h ($\Phi > 7,62$ cm). Meritev dreves, sušic in odmrlih ležečih dreves se izvajajo na vzorčnih ploskvah, postavljenih tudi na študijskem območju. Meritve opada so narejene samo na nekaj točkah na študijskem območju, kar ne zadostuje za izdelavo modela tipov goriv na celotnem študijskem območju. Podatki, ki niso izmerjeni, potrebujemo pa jih za izračun parametrov tipov goriv, so:

- temeljna višina krošnje,
- odmrlo lesno gorivo za razrede časovnega zamika 1-h, 10-h in 100-h,
- značilnosti grmičevja,
- značilnosti neolesenele vegetacije.

Prav tako bi bilo potrebno izmeriti opad na več točkah na študijskem območju.

Primerjava med zbranimi podatki o gozdovih v Sloveniji in potrebnimi parametri za izračun tipov goriv je pokazala, da iz obstoječih podatkov ne moremo izračunati količine posamezne vrste goriva. Preverili smo, ali lahko manjkajoče parametre ocenimo iz zbranih podatkov.

Izmerjene absolutne vrednosti lesne zaloge po drevesnih vrstah v gozdnem sestoju nam omogočajo, da na podlagi konverzijskih faktorjev izračunamo (ocenimo) količino drevesne biomase (Hočevar in sod., 2005). Izračunamo lahko:

- količino suhe biomase debla: količino lesne zaloge (m^3) po posameznih drevesnih vrstah pretvorimo, z uporabo gostote lesa *WD* (*wood density*), v količino suhe biomase debla (kg),
- količino nadzemne drevesne biomase: količino suhe biomase debla po posameznih drevesnih vrstah pomnožimo z biomasnimi ekspanzijskimi faktorji (*biomass expansion factor* - BEF) za skupine drevesnih vrst (iglavci - 1,35; listavci - 1,30),
- količino podzemne drevesne biomase: količino nadzemne drevesne biomase pomnožimo s faktorjem *R* (razmerje za izračun podzemne drevesne biomase - *root-shoot ratio*) za drevesne skupine (iglavci - 0,32; listavci - 0,26),
- količino odmrle drevesne biomase: količino žive drevesne biomase pomnožimo s faktorjem *DLR* (razmerje za izračun količine odmrle biomase - *dead-live ratio*) za drevesne skupine (iglavci - 0,20; listavci - 0,14).

Iz tako izračunanih podatkov pridobimo podatke o količini celotne biomase v gozdnem sestoju (t/ha), ki je sestavljena iz nadzemnega in podzemnega dela ter odmrle biomase. Kušar (2007) je ugotovil, da je zanesljivost faktorja *WD* dobra, kljub temu da podatki niso preverjeni za Slovenijo. Za ostale faktorje (*BEF*, *R* in *DLR*) je ugotovil, da zanesljivost faktorjev ni poznana, zato so ocene količin biomase, kjer uporabljamo te faktorje, le zadovoljive. Faktorji niso preverjeni, kar bi bilo potrebno narediti. Prav tako se uporabljajo samo za iglavce in listavce in ne po posameznih drevesnih vrstah.

Na ta način lahko izračunamo celotno količino odmrle drevesne biomase, ki ni ločena po razredih časovnega zamika. Ostalih manjkajočih parametrov (neolesenela vegetacija in grmičevje) pa tudi oceniti ne moremo. Ugotovili smo, da modela tipov goriv iz trenutno zbranih podatkov na študijskem območju ne moremo narediti.

Za uporabo modela tipov goriv v programih za modeliranje širjenja požarov mora biti le-ta prostorsko predstavljen. Izhajali smo iz predpostavke, da lahko območje tipa goriva predstavimo z gozdnim sestojem. Oba pojma poudarjata razlikovanje od okolice po značilnih fizioloških kazalnikih vegetacije. Gozdni sestoji so osnovne načrtovalne enote, ki se med sabo razlikujejo po značilnostih vegetacije (dreves) in so narejeni za vse gozdove (Poljanec, 2005). Tip goriva je definiran kot razpoznavna asociacija kurilnih elementov posebnih zvrsti, oblik, velikosti, porazdelitve in kontinuitete, ki kažejo značilno požarno širjenje ob definiranih pogojih vžiganja (Merrill in Alexander, 1987). Pregled in primerjava pojmov gozdni sestoj in območje goriva je pokazal na njuno podobnost v razlikovanju vegetacije od okolice. Raziskave v tujini, katerih rezultate smo prikazali, so pokazale, da gozdni sestoji s svojimi značilnostmi vplivajo na količino površinskega in talnega goriva. Te značilnosti so drevesna sestava, razvojna faza, sestojni sklep, število dreves (gostota), temeljnica in lesna zaloga. Prav tako je iz modela pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev razvidno, da gozdni sestoji s svojimi značilnostmi različno vplivajo na verjetnost pojavljanja požarov.

Zaključili smo, da modela tipov goriv za študijsko območje ne moremo izdelati, ker nimamo zbranih vseh potrebnih podatkov. Pokazali pa smo, da grafične podatke gozdnih sestojev lahko uporabljamo za prostorski prikaz tipov goriv.

7 RAZPRAVA

V raziskavi smo napovedovali pojavljanje gozdnih požarov v času in prostoru. Raziskava obsega Kraško gozdnogospodarsko območje, ki je požarno najbolj ogroženo v Sloveniji, v obdobju od 1995 do 2009. Raziskali smo preteklo požarno aktivnost in prikazali njene značilnosti. Preskusili smo kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti (CFFWIS) za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v času. Izdelali smo prostorski model pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Predstavili smo raziskave in metode napovedovanja širjenja gozdnih požarov in postavili temelje za nadaljnje raziskave na tem področju v Sloveniji.

Pred začetkom raziskave smo postavili in kasneje v raziskavi preizkusili naslednje hipoteze:

1. vsi prostorski podatki uporabljeni v modelu, niso primerljivi po kakovosti, zato se bodo določile uteži za vsak podatek, ki bo uporabljen kot vhod v model.
2. gozdni požari se pojavljajo predvsem v sestojih, kjer prevladujejo iglavci v lesni zalogi.
3. drevesna vrsta vpliva več kot 50 % na nastanek požara na določenem območju oziroma gozdnem sestoju.

Hipoteze, ki smo jih postavili, so bile naše vodilo skozi celotno raziskavo. Uporabili smo različne podatke o značilnostih okolja na študijskem območju, vendar jih nismo združili v skupnem modelu. Podatke o vremenskih spremenljivkah smo uporabili za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti gozdov. Pri izgradnji modela potencialnega pojavljanja gozdnih požarov za potrebe gospodarjenja z gozdovi pa smo uporabili podatke o gozdnih sestojih. Na osnovi standardov ISO 19113:2002 in ISO 19114:2003 GI smo predstavili analizo njihove kakovosti. Hipoteze pod številko 1 nismo potrdili, ker smo podatke (vremenske spremenljivke in sestojne karte) uporabili ločeno v različnih modelih (sistemih) in ne skupaj. Za izračun kanadskega meteorološkega indeksa požarne ogroženosti (CFFWI) smo uporabili samo vremenske spremenljivke. Model pojavljanja gozdnih požarov pa smo zgradili samo z uporabo podatkov o gozdnih sestojih. Hipotezo pod številko 2 smo zavrnil. Gozdni požari na Kraškem gozdnogospodarskem območju se večinoma pojavljajo v sestojih, kjer prevladujejo listavci v lesni zalogi. Razlog za to je tudi v tem, da kar 73 % površine gozdov predstavljajo listavci. Hipoteze pod številko 3 ne moremo potrditi, pa tudi ovreči ne. Ugotovili smo, da drevesne vrste s svojimi značilnostmi vplivajo na nastanek požarov, vendar nismo mogli oceniti njihovega vpliva. Izpostavili smo tiste drevesne vrste, ki so bolj podvržene pojavljanju gozdnih požarov. V nadaljevanju so predstavljeni razlogi in sklepi za potrditev in/ali zavrnitev vsake hipoteze.

7.1 Pretekla požarna aktivnost

Pretekla požarna aktivnost na študijskem območju ima svoje značilnosti, ki so pogojene z letnimi časi in človekovimi aktivnostmi v okolju. Iz zbranih podatkov o požarih v obdobju 1995–2009 smo dobili vpogled o značilnostih gozdnih požarov in gozdov, ki so v njih poškodovani. Intenzivnost gozdnih požarov v prostoru smo prikazali z uporabo metode jedrne gostote in na ta način evidentirali območja njihovega najpogostejšega pojavljanja.

Območja največje požarne aktivnosti vseh gozdnih požarov se pojavljajo skoraj izključno ob železnici. Železniška proga se iz Divače spušča proti Kopru, v tem primeru pride do pojava iskrenja oziroma odleta žarečih delcev pri zaviranju tovornih vlakov (Žlebnik, 2007), ki povzročijo požare. Posebej izstopa območje okoli Podgrada, kjer je bil za povzročitelja spoznan požigalec (Gasilci.org, 2011), ki je bil aktiven predvsem v letu 2007. Ta območja sovpadajo z najpogostejšim vzrokom za nastanek gozdnih požarov, ki sta komunikacije (vlak) in namerni požig. Presenetilo nas je veliko število požarov, za katere v Poročilih o požaru Zavoda za gozdove Slovenije ni navedenega vzroka nastanka. Predvidevamo, da je to posledica dolgotrajnega in zapletenega postopka ugotavljanja njihovega vzroka nastanka.

Časovna členitev pretekle požarne aktivnosti je izpostavila dva letna sezonska vrhunca, ki imata vsak svoje značilnosti. Prvi vrhunec je v obdobju konec zime v mesecih februar in marec, ko je največje

število požarov. Velikost pogorelih površin nakazuje, da požari v tem obdobju leta niso tako obsežni in nevarni. V tem obdobju vremenske razmere vplivajo na zmanjšanje vlažnosti in večjo vnetljivost suhe, odmrle talne in pritalne vegetacije (površinska goriva), ki v času prvega vrhunca pojavljanja požarov še ni vstopila v fenološko fazo nastopa prvih listov oziroma ozelenitve (Pečenko, 1994). Gams (1997) je za glavne vzroke navedel neozelenelo travje in grmovje, burjo, ki se med spuščanjem proti obali segreva, suši in izsušuje zemljo ter aktivnosti domačinov, kot sta čiščenje in požiganje suhe trave in dračja. Med vzroke za tako veliko število gozdnih požarov v času ob koncu zime je tudi Muhič (2004) navedel kurjenje dračja, kjer ogenj velikokrat uide izpod kontrole in povzroči požar. V tem letnem obdobju lahko izpostavimo človekove aktivnosti v ruralnem okolju (kurjenje ognja na prostem) za glavni vzrok pojavljanja požarov.

Drugi vrhunec pojavljanja gozdnih požarov je poletnih mesecih julij in avgust. Podobna situacija je tudi v drugih mediteranskih državah (EC, 2011). V tem obdobju so tudi pogorele površine največje. Požari so zaradi visokih temperatur zelo nevarni in zahtevni za gašenje (Muhič, 2004). Visoke temperature, suha vročina, pomanjkanje padavin in veter vplivajo na izsuševanje tal in vegetacije (ZGS, 2003), ki je v tem obdobju hitro vnetljiva in omogoča nastanek velikih požarov. Njihova gostota je največja na zahodni strani Kraškega roba, kjer se železnica strmo spušča proti obalnemu delu študijskega območja. V tem obdobju lahko izpostavimo železnico oziroma zaviranje vlakov kot glavnega povzročitelja požarov (Žlebnik, 2007).

Poleti se največkrat pojavljajo tudi gozdni požari naravnega izvora (strela). Njihova največja aktivnost je na severnem delu študijskega območja. Tam se nad okoliško pokrajino vzpenjajo Trstelj, Veliki Ovčnjak in njuni sosedi. Okoli njih prevladuje nižinski svet Komenskega krasa na jugu, na zahod se spušča teren proti Tržaškemu zalivu, na severu je Vipavska dolina. Gostota pojavljanja požarov zaradi strele na študijskem območju je povezana z višjimi nadmorskimi višinami od okolice, kar so ugotovili tudi drugi avtorji (Wierzchowski in sod., 2002; van Wagtenonk in Cayan, 2008). Flannigan in Wotton (1991) pa sta ugotovila še, da je pojavljanje požarov zaradi strele povezano tudi s kanadskim meteorološkim indeksom požarne ogroženosti, s šifro vlažnosti srednjega goriva, ki prikazuje vsebnost vlage v zgornjih plasteh gozdnih tal.

Točke vžiga gozdnih požarov smo prevzeli take, kot so zapisane v zbirki podatkov. Ker se ponavadi požari odkrijejo šele nekaj časa po vžigu, sklepamo, da zelo natančne lokacije točk začetka požara niso znane. To je pokazala tudi analiza lokacij točk vžiga gozdnih požarov glede na sestojno karto, saj so točke vžiga večinoma na negozdnih površinah. Začenjajo se na suhem travišču, od koder jih veter zanese v gozd (Gams, 1997). Skladno s tem so tudi največje pogorele površine na drugih gozdnih zemljiščih (zemljišča, porasla z gozdnim rastjem, ki niso gozd, obore v gozdovih za rejo divjadi in zemljišča pod daljnovidni v gozdu) in drugih negozdnih zemljiščih.

Največ gozdnih požarov se je pojavilo v gozdovih, ki rastejo na ekstremnih rastiščih, kjer prevladujejo listavci (predvsem puhasti hrast in črni gaber) v razvojni fazi drogovnjak. Listnati gozdovi pokrivajo največji del študijskega območja (73 %), zato se v njih pojavi tudi največ gozdnih požarov. Hkrati smo iz podatkov ugotovili tudi, da je večja verjetnost, da se požar pojavi v iglastih kot v listnatih gozdovih. Vendar pa je iglastih gozdov na študijskem območju malo (27 %), za se v njih požar pojavi manjkrat. Tudi največje pogorele površine so v iglastih gozdovih, kjer prevladuje črni bor. Iglasti gozdovi so s svojimi značilnostmi še posebno podvrženi požarom (Gams, 1997; Bond in Van Wilgen, 1996), kar se kaže tudi v večji količini poškodovane lesne mase od listavcev. Črna bora je na Kraškem gozdnogospodarskem območju največ tudi glede na lesno zalogo (ZGS, 2003). Največ gozdnih požarov je talnih, ki nastanejo in se širijo po tleh, predvsem po travinju, listju, mahovih in odpadlem materialu na tleh. Gori tudi pritalno rastje, grmovnice in humusni sloj (Muhič, 2004). Talni požari za vzdrževanje ognja in njegovo širjenje torej porabljajo površinska in talna goriva, ki so v stiku z gozdnimi tlemi in se nahajajo pod drevesnimi krošnjami.

Nastanek, razvoj in prisotnost žive in odmrle pritalne in talne vegetacije v takšni količini, da lahko vzdržuje gozdne požare, je odvisna od plodnosti rastišč ter drevesnih krošenj in debel (Gilliam in Turrill, 1993; Pitkänen, 1997; Sagers in Lyon, 1997; Légaré in sod., 2001; Koukoura in

Kyriazopoulos, 2007; Macdonald in Fenniak, 2007). Največ gozdnih požarov se je pojavilo na ekstremnih rastiščih, kjer se nahaja gozdna združba *Seslerio - Ostryetum*. Omenjena gozdna združba pokriva skoraj polovico Kraškega gozdnogospodarskega območja (ZGS, 2003). Hkrati pa smo iz opisov gozdnih združb (Zorn, 1975) ocenili, da ima prisotnost večje količine gozdne podrasti. Puhasti hrast in črni gaber sta svetloljubni drevesni vrsti (Brus, 2004), ki za svojo rast potrebuje veliko svetlobe in sta hkrati polovico leta v fazi brez listja. Tudi črni bor je svetloljubna drevesna vrsta (Brus, 2004). Na ta način se več svetlobe prenese tudi do gozdnih tal (Messier in sod., 1998), kar omogoča prisotnost večje količine gozdne podrasti. Prisotnost večje količine grmičevja in odmrlih goriv na gozdnih tleh pa povečuje požarno ogroženost v gozdnih sestojih (Gonzalez in sod., 2007a). Iz navedenega sklepamo, da je podobna situacija tudi na Kraškem gozdnogospodarskem območju. Ocenjujemo, da je pojavljanje gozdnih požarov povezano z drevesnimi vrstami predvsem preko njihovih značilnosti in rastišč, na katerih rastejo. Navedena kombinacija omogoča nastanek in prisotnost velike količine gozdne podrasti. To pomeni, da imajo požarno najbolj prizadeti gozdovi večjo količino pritalne vegetacije in opada na gozdnih tleh, ki omogočata nastanek in širjenje požarov.

Hipotezo, da se gozdni požari pojavljajo predvsem v sestojih, kjer so glede na lesno zalogo prevladujoča drevesna skupina iglavci, smo zavrgli. Prav nasprotno, na Kraškem gozdnogospodarskem območju se največkrat pojavijo v gozdnih sestojih, kjer prevladujejo listavci v lesni zalogi. Sicer obstaja večja verjetnost, da se bo požar pojavil v gozdovih iglavcev, vendar jih je na Kraškem gozdnogospodarskem območju malo (27 %). Ne moremo pa potrditi, da drevesna vrsta vpliva več kot 50 % na nastanek gozdnega požara. Na podlagi objav drugih avtorjev sklepamo, da drevesna vrsta s svojimi značilnostmi vpliva na sloj podrasti pod drevesnimi krošnjami. Prav tako smo ocenili, da rastišče vpliva na količino gozdne podrasti. Iz česar izhaja, da so še posebej ranljivi tisti gozdovi, kjer je podrast prisotna v taki meri, da omogoča pojavljanje, vzdrževanje in širjenje gozdnih požarov.

7.2 Pojavljanje gozdnih požarov

Gozdni požari na študijskem območju se pojavljajo v različnih časovnih obdobjih in na različnih območjih, ki so med sabo povezana. Na podlagi značilnosti pretekle požarne aktivnosti smo se ukvarjali z napovedovanjem pojavljanja gozdnih požarov. Za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti na podlagi trenutnih vremenskih razmer smo uporabili in preskusili sistem CFFWIS (Stocks in sod., 1989). Na podlagi značilnosti gozdnih sestojev smo zgradili lasten model napovedovanja pojavljanja požarov, ki se lahko uporablja v okviru gospodarjenja z gozdovi. V raziskavi smo tako uporabili dva različna modela napovedovanja pojavljanja gozdnih požarov z različnimi vhodnimi podatki in za različne namene. Hipoteze pod številko 1 nismo potrdili, ker smo v vsakem modelu uporabili samo eno vrsto podatkov. Modela, kjer bi skupaj uporabili različne vrste prostorskih podatkov, nismo zgradili. Če bi želeli povezati podatke o trenutnih vremenskih razmerah s podatki o trenutnih razmerah v gozdu, bi poleg značilnosti gozdnih sestojev potrebovali še podatke o količini in trenutni vlažnosti goriva (poglavje 3.2.3). Podatkov o trenutni vlažnosti goriva nismo imeli na voljo, zato smo izdelali dva ločena modela pojavljanja gozdnih požarov. Prvi model napoveduje dejansko, drugi pa potencialno požarno ogroženost. Ugotovili smo tudi, da je prostorska točnost dejanske požarne ogroženosti gozdov majhna (24 %). Na koncu smo se odločili, da ne bomo zgradili skupnega modela, ampak vsakega posebej.

7.2.1 Meteorološki indeks požarne ogroženosti

Za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti se uporabljajo vremenske spremenljivke, ki prikazujejo trenutno požarno vreme. V Sloveniji in na študijskem območju uporabljamo izpopolnjeno vzhodnonemško metodo (Pečenko, 1994). Pregled sistemov za napovedovanje požarne ogroženosti v drugih državah je izpostavil CFFDRS (Viegas in sod., 1994) oziroma njegov podsistem CFFWIS, kot skupni mednarodni jezik požarne ogroženosti. Odločili smo se, da ga bomo preskusili na študijskem območju in preverili njegovo uporabnost v povezavi s preteklo požarno aktivnostjo.

Za ocenjevanje natančnosti sistema CFFWIS smo uporabili povprečne vrednosti vremenskih spremenljivk štirih vremenskih postaj, ki merijo vremenske razmere na študijskem območju. Uporabili smo samo tiste postaje, ki se nahajajo v Sloveniji in hkrati merijo vse štiri vremenske spremenljivke. Podatkov o vremenskih spremenljivkah iz sosednjih držav za obdobje raziskave nismo uspeli pridobiti. Iz podatkov komponent CFFWIS smo, na podlagi percentilne metode, določili stopnjo požarne ogroženosti, jih primerjali s časovnim pojavljanjem preteklih požarov in ocenili njegovo točnost. Na študijskem območju obstajata dva letna vrhunca pojavljanja požarov (konec zime in poleti), indeks FWI ima samo en vrh, ki sovpada s pojavljanjem požarov poleti. Kljub temu je CFFWIS pokazal zadovoljivo stopnjo natančnosti določanja dneva, v katerem so bo pojavil požar. V več kot 50 % dni, za katere je bila izračunana zelo velika stopnja požarne ogroženosti, se je gozdni požar pojavil.

Z metodo logistične regresije smo ugotovili, da je indeks ISI (komponenta CFFWIS), najbolj povezan s pojavljanjem požarov. Indeks ISI, ki združuje vlažnost drobnega goriva na gozdnih tleh (opad) in hitrost vetra, je pojasnil največji del pojavljanju požarov na študijskem območju. Iz tega sklepamo, da je pojavljanje gozdnih požarov na študijskem območju odvisno predvsem od trenutnih vremenskih razmer. Indeksa ISI in BUI v različnih kombinacijah, določenih z odločitvenim drevesom, izkazujejo veliko natančnost določanja dneva, v katerem se bo pojavil požar. Vendar je bila verjetnost napovedi požarnega dneva podcenjena s strani komponent CFFWIS, kar izpostavlja omejitve določanja stopenj požarne ogroženosti na manjših območjih z majhnim številom požarov. O podobni težavi, ko je prostorski obseg analize relativno majhen, sta poročala Rainha in Fernandes (2002) za SV Portugalsko. Večja časovna natančnost napovedovanja pojavljanja požarov bi morala temeljiti na bolj kompleksnih pristopih, kjer bi morala odločitvena drevesa upoštevati tudi tipe goriv in časovne vzorce uporabe ognja na ruralnih območjih (Šturm in sod., 2011)

Uporabna točnost določanja stopenj požarne ogroženosti sistema CFFWIS na celotnem študijskem območju iz povprečnih podatkov meritev štirih vremenskih postaj nas je spodbudila, da smo preverili še njegovo prostorsko natančnost. Protipožarno zaščito zanima stopnja požarne ogroženosti ne samo na lokacijah vremenskih postaj, ki so razpršene v prostoru, ampak tudi med njimi (Flannigan in Wotton, 1989). Zato smo z metodo prostorske interpolacije izdelali zvezne ploske, ki prikazujejo stopnjo požarne ogroženosti za vsako točko na Kraškem gozdnogospodarskem območju. Z orodjem *Model Builder* (esri, 1999–2010), ki smo ga uporabili za avtomatizacijo postopkov obdelave prostorskih slojev, smo povezali več posameznih orodij v model, ki omogoča hitre rezultate in njihovo ponovljivost na podlagi spremembe vhodnih parametrov. Orodje omogoča tudi oblikovanje uporabniškega vmesnika in pomoč (*help*) pri posameznem vnosnem polju ter tudi opis lastnosti in značilnosti modela. *Model builder* je zelo uporabno orodje, kjer lahko brez programiranja zgradimo svoj model, ki nam poenostavi in pospeši delovni proces, prav tako pa ga lahko delimo z drugimi uporabniki. Interpolacijska metoda, ki smo ju uporabili na študijskem območju (*spline*), se je izkazala za nenatančno. Razlogov za tako nenatančnost je lahko veliko in so najraznovrstnejši. Menimo, da bi bolj natančne zvezne ploskve indeksa FWI lahko izdelali, če bi uspešno pridobili in uporabili podatke še iz vremenskih postaj na Hrvaškem in v Italiji, ki so blizu meje s Slovenijo. Nadaljnja raziskovanja so lahko povezana tudi z objektivno prostorsko interpolacijo nad vremenskimi spremenljivkami (Kastelec, 2001) in kartografsko algebro (Šumrada, 2005).

Sistem CFFWIS za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti iz vidika pojavljanja požarov, je na študijskem območju uporaben (Šturm in sod., 2011). Med razlogi za njegovo zadovoljivo točnost je tudi to, da računa vpliv vlažnosti goriva in vetra na širjenje požara v odraslem borovem sestoju (Van Wagner, 1987), ki je najbolj pogosta drevesna vrsta na študijskem območju (ZGS, 2003). Stopnjo požarne ogroženosti se lahko prikažejo enotno za celotno območje ali na lokacijah posameznih vremenskih postaj. Prostorski prikaz požarne ogroženosti sistema CFFWIS je bil z uporabljenimi podatki neprimeren za uporabo. Dodatnih raziskav nismo naredili, ker nas je zanimala predvsem njegova časovna natančnost, ki se je pokazala za uporabno za napovedovanje požarne ogroženosti gozdov.

CFFWIS se uporablja tudi v sosednji Hrvaški (Vučetić in sod. 2006), vendar je po našem vedenju to prvi poskus uporabe CFFWIS v okolju bolj značilnem za srednjo Evropo (Šturm in sod., 2011). Uporabnost CFFWIS tudi presega okvire njene uporabe samo za napovedovanje požarne ogroženosti. Wotton (2009) je izpostavil raziskovanje razmerij med šiframi vlažnosti goriva in pojavljanjem požarov, globino gorenja v gozdnih tleh ter velikostjo pogorelih površin. Sistem CFFWIS predstavlja tudi osnovo za študije vpliva vremenskih sprememb na požare in gozdove (Wotton in sod., 2003; Flannigan in sod., 2005). Uporablja se tudi za ocenjevanje izgube količine ogljika v gozdnih požarih (Amiro in sod., 2001).

7.2.2 Prostorski model pojavljanja gozdnih požarov

Kot smo že omenili, se raziskuje tudi vpliv značilnosti gozdov na pojavljanje gozdnih požarov. Te raziskave se ukvarjajo s podatki o značilnostih gozdov in napovedujejo verjetnost, da se bo pojavil požar v določenem gozdnem sestoju. Tako izračunana verjetnost ne zagotavlja natančnega odgovora, ali se bo gozdni požar res zgodil na določenem mestu v določenem časovnem obdobju. Omogoča pa načrtovanje in izvajanje gospodarjenja z gozdovi na takšen način, da se ta verjetnost zmanjša (Gonzalez in sod., 2006).

Model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili na podlagi značilnosti gozdnih sestojev in točk vžiga preteklih gozdnih požarov. Izgradnjo modela smo začeli s kakovostnim preverjanjem vhodnih podatkov v model. Ker smo zgradili prostorski model, za katerega smo uporabili sestojne karte, smo najprej preverili njihovo kakovost. Analiza kakovosti je pokazala, da so sestojne karte izdelane dovolj kakovostno. Točnosti lokacij točk vžiga požarov nismo preverjali. Se pa zavedamo, da te lokacije niso popolnoma zanesljive, vendar so to najboljše podatki, ki so bili na voljo. Podatki za izgradnjo modela so izdelani dovolj kakovostno, da bodo tudi rezultati modela zanesljivi in uporabni za nadaljnje raziskave in ukrepe na področju protipožarne zaščite.

V modelu pojavljanja gozdnih požarov smo poskusili uporabiti čim več spremenljivk, ki opisujejo značilnosti gozdnih sestojev. Spremenljivke, ki smo jih pripravili za izgradnjo modela, opisujejo gozdne sestaje z vidika njihove strukture, vrstne in debelinske sestave ter položaja v naravi. Prav tako smo vsakemu sestoju pripisali, če se je v njem pojavil gozdni požar. Za izgradnjo modela smo uporabili vse gozdne sestaje na Kraškem gozdnogospodarskem območju. Požar se je pojavil samo v 2 % vseh sestojev v obdobju 1995–2009.

Model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili z uporabo statističnih prostorskih metod (esri, 1999–2010). Uporabili smo metodo najmanjših kvadratov in geografsko uteženo metodo. Neodvisne spremenljivke, ki imajo statistično značilen vpliv na pojavljanje gozdnih požarov v gozdnih sestojih, smo določili z metodo najmanjših kvadratov. S to metodo smo pojasnili samo 1 % spremenljivosti odvisne spremenljivke. Veliko bolje smo pojasnili spremenljivost prostorskega pojavljanja gozdnih požarov z uporabo geografsko utežene regresije s stalnim jedrom (21 %). Razlog je v nestacionarnosti odnosa med odvisno in neodvisnimi spremenljivkami, ki se na študijskem območju spreminja. Na podlagi teh rezultatov lahko sklepamo, da pojavljanje požarov na študijskem območju ni izključno naključen proces, temveč ga človek dela predvidljivega. Kar lahko ugotovimo tudi iz karte standardiziranih vrednosti napak napovedi (*residuals*), kjer se največje napake pojavljajo ravno na območjih, kjer poteka železnica. Glede na rezultate geografsko utežene regresije s stalnim jedrom na povečano pojavljanje požarov v gozdnih sestojih vplivajo svetloljubna vodilna drevesna vrsta glede na lesno zalogo, manjša lesna zaloga na hektar (m^3/ha), delež listavcev glede na lesno zalogo je med 80 in 90 %, manjša vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nižje nadmorske višine sestojev (m). Razvojna faza, sestojni sklep in debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu nimajo statistično značilnega vpliva na pojavljanje požarov v gozdnih sestojih.

Človek lahko v okviru gospodarjenja z gozdovi vpliva predvsem na vodilno drevesno vrsto, vrstno sestavo sestaja in lesno zalogo. Vodilne drevesne vrste, ki jih je model izpostavil (črni bor, rdeči bor, puhasti hrast, črni gaber, mali jesen in cer), so vse svetloljubne in za svojo rast potrebujejo veliko svetlobe (Brus, 2004). Ta svetloba pa prodre do gozdnih tal in vpliva na večjo prisotnost in rast rastlin,

ki sestavljajo gozdno podrast (Messier in sod., 1998). Večja količina podrasti pa ima pomemben vpliv na ranljivost sestoja z vidika pojavljanja požarov (Gonzalez, 2007a).

Mešanost sestoja, ki je izražena kot delež listavcev glede na lesno zalogo, prav tako vpliva na povečanje pojavljanja požarov v njem. Največja verjetnost pojavljanja požara je v sestojih, kjer je delež listavcev med 80 in 90 %. To ni presenetljivo, saj je na študijskem območju več skoraj tri četrtine gozdov listnatih (73 %). Sledijo jim gozdovi z velikim deležem iglavcev, ki pa pokrivajo samo 27 % študijskega območja. Iglavci imajo veliko vnetljivost zaradi svojih značilnosti kot sta velika vsebnost smole in eteričnih olj (Bond in Van Wilgen, 1996; Gams, 1997). Manjša vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu v gozdnem sestoju prav tako vpliva na njihovo povečano požarno ogroženost. To pomeni, da je v teh sestojih manj drevesnih vrst in so te neenakomerno razporejene.

Požarno bolj ogroženi, glede na rezultate modela, so sestoji z manjšimi lesnimi zalogami na hektar. Obratno so sestoji z višjimi lesnimi zalogami na hektar manj požarno ogroženi. Cilj je torej povečanje lesne zaloge v gozdnih sestojih. V okviru gozdnogojitvenih ciljev je takšen ukrep naveden tudi v območnem načrtu Kraškega gozdnogospodarskega območja (ZGS, 2003).

Verjetnost pojavljanja požarov po rastišnogojitvenih razredih se ujema z njihovo požarno ogroženostjo v območnem načrtu Kraškega gozdnogospodarskega območja (ZGS, 2003). Primerjava je pokazala, da so rezultati modela pojavljanja gozdnih požarov dovolj natančni. Natančnost modela je prvenstveno odvisna od kakovosti vhodnih podatkov v model. V našem primeru sestojnih kart in lokacij vžiga preteklih požarov. To samo še povečuje vrednost sestojnih kart in njihovo uporabnost tudi izven okvirov gospodarjenja z gozdovi. V našem primeru za določanje potencialne požarne ogroženosti gozdov.

Rezultate geografsko utežene regresije s stalnim jedrom smo prikazali na karti, kjer smo verjetnost pojavljanja gozdnih požarov razvrstili v štiri stopnje z metodo kvartilov. Stalno jedro v tem modelu je zagotovilo enako utež za vsako lokacijo preteklega požara ne glede na njihovo gostoto. Metoda kvartilov je velikokrat uporabljena za določanje stopenj požarne ogroženosti (Martinez in sod., 2009; Lutz in sod., 2011). Predlagamo, da se rezultati tega modela uporabijo za razvrščanje gozdov v štiri stopnje požarne ogroženosti (PVG, 2009).

Rezultate geografsko utežene regresije s prilagodljivim jedrom lahko, po našem mnenju, uporabimo pri napovedovanju dejanske prostorske požarne ogroženosti naravnega okolja. V tem primeru nas zanimajo predvsem območja, kjer lahko z večjo verjetnostjo pričakujemo, da se bo pojavil požar. Prilagodljivo jedro je povečalo oceno verjetnosti pojavljanja gozdnih požarov na območjih, kjer je bila njihova pretekla aktivnost večja (večja gostota). S to metodo smo določili 10.000 ha gozda, kjer je velika verjetnost (62 %), da se bo pojavil požar. Prav tako je bila stopnja ujemanja (R^2) zelo visoka (76 %), kar pritrjuje primerno izbranim značilnostim sestojev, ki vplivajo na pojavljanje požarov. Tudi v tem primeru se je uporaba metode kvartilov za prikaz rezultatov modela izkazala za primerno. Z vidika napovedovanja zelo velike požarne ogroženosti nas zanimajo samo območja v četrtem kvartilu.

V raziskavi smo ugotovili, da je geografsko utežena regresija primerna za modeliranje nestacionarnih odnosov med odvisno in neodvisnimi spremenljivkami. Hkrati je interpretacija rezultatov precej zapletena, upoštevati moramo rezultate globalne (OLS metoda) in tudi lokalne statistike (GWR metoda), kar ugotavljajo tudi drugi avtorji (Bole, 2010). Pri tem moramo biti pozorni na napake napovedi (*residuals*), lokalne vrednosti R^2 (stopnja ujemanja), standardne napake, pojav prostorske avtokorelacije, pojav heteroskedastičnosti ... Zelo pomembna je tudi izbira jedra (stalno, prilagodljivo) ter ustrezne pasovne širine (AICc metoda, CV metoda, uporabniško določena) ali število sosedov. Kljub vsem slabostim ima GWR metoda tudi svoje prednosti. Kombinacija metode GWR in vizualno raziskovanje njenih rezultatov nam omogočata lažje prepoznavanje vzorcev v prostorsko – časovnih nizih podatkov (Demšar in sod., 2008). Nam je omogočila boljše razumevanje prostorske dinamike pojavljanja gozdnih požarov, kar so ugotovili tudi Koutsias in sod. (2005). Uporaba različnih jeder (stalno/prilagodljivo) nam je omogočila izdelavo različnih prostorskih prikazov dinamike pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti sestojev. Te prostorske prikaze lahko uporabimo tako v okviru

gospodarjenja z gozdovi kot tudi za napovedovanje potencialne prostorske požarne ogroženosti gozdov. V okviru gospodarjenja z gozdovi lahko spreminjamo značilnosti gozdnih sestojev in jih tako naredimo manj dovzetne za gozdne požare. Prostorska požarna ogroženost gozdov pa omogoča protipožarni zaščiti, da se v trenutku razglasitve zelo velike požarne ogroženosti naravnega okolja usmeri na območja, kjer je največja verjetnost pojavljanja požarov.

Za izgradnjo modela smo uporabili izključno značilnosti gozdnih sestojev in tiste požare, ki imajo evidentiran svoj začetek v gozdu. Temu pripisujemo tudi dokaj nizke vrednosti stopnje ujemanja (R^2). Namen tega modela in raziskave je bil, odgovoriti na vprašanje, katere značilnosti gozdnih sestojev vplivajo na pojavljanje požarov.

7.3 Širjenje gozdnih požarov

Za upravljanje z gozdnimi požari je bistvenega pomena poznavanje značilnosti goriv, ki jih lahko uporabimo za izračune njihovega širjenja in posledic (Arroyo in sod., 2008). Goriva je zaradi njihove kompleksnosti in spremenljivost težko opisati in kartirati, zato so bile razvite najrazličnejše metode in kombinacije med njimi za njihovo izdelavo. Izdelava vključuje izračun parametrov modela tipov goriv in določitev njihovih območij. Temeljni parametri goriva (razredi časovnega zamika) se določijo za živo in odmrlo pritalno vegetacijo v gozdu. Modeli tipov goriv se izdelujejo za gozd in za ostale rabe prostora.

V raziskavi smo se ukvarjali predvsem s talnimi in površinskimi gorivi v gozdu. Pretekla požarna aktivnost je izpostavila največje število talnih gozdnih požarov, ki se širijo po gozdnih tleh in za gorivo uporabljajo odmrlo lesno biomaso na gozdnih tleh ter živo in odmrlo gozdno podrast. Želeli smo torej izdelati model tipov goriv za napovedovanje širjenja talnih požarov. Pregledali smo gozdarske podatkovne zbirke in v njih iskali podatke o meritvah odmrle lesne biomase na gozdnih tleh in gozdni podrasti. Pokazalo se je, da na študijskem območju obstajajo meritve opada samo na posameznih točkah. Odmrta lesna biomasa je izmerjena samo za razred časovnega zamika 1000-h, ni pa meritev gozdne podrasti. Parametri, ki jih je potrebno še izmeriti, so količina odmrle biomase na gozdnih tleh po ostalih razredih časovnega zamika, ter lastnosti neolesenele vegetacije in grmičevja. Prav tako so potrebne tudi meritve horizontov gozdnih tal (opad) na več točkah. Potem smo poskusili oceniti količino gozdne podrasti, vendar smo dobili preveč splošne podatke, ki jih ne moremo uporabiti za izračun parametrov tipov goriv. Zaključili smo, da na študijskem območju modela tipov goriv ne moremo izdelati.

Model tipov goriv mora biti za uporabo v programih za simuliranje širjenja gozdnih požarov tudi ustrezno prostorsko predstavljen. Za to se uporabljajo najrazličnejše metode in kombinacije med njimi. Vsem pa je skupno, da so zahtevne in drage, hkrati pa velika variabilnost goriv v času in prostoru onemogoča njihovo natančno kartiranje (Arroyo in sod., 2008). V raziskavi smo preskusili, ali lahko območje goriva predstavimo z gozdnim sestojem, oziroma ali lahko model tipov goriv prostorsko prikažemo s sestojnimi kartami. Gozdni sestoji prikazujejo vodoravno strukturo gozda, drevesa v sestoji pa ustvarjajo navpično slojevitost ali vertikalno stratifikacijo gozda. Dosedanje raziskave so pokazale, da imajo gozdni sestoji s svojimi značilnostmi velik vpliv na prisotnost, pokrovnost, višino in vrstno raznolikost podrasti in odmrle lesne biomase na gozdnih tleh. Model pojavljanja gozdnih požarov, ki smo ga izdelali v raziskavi, za prostorski prikaz prav tako uporablja gozdne sestoeje. Iz modela je razvidno, da gozdni sestoji s svojimi značilnostmi različno vplivajo na pojavljanje požarov. Prav tako vplivajo tudi na talno in pritalno vegetacijo pod drevesnimi krošnjami. Sestojne karte se na ravni gozdnogospodarske enote obnavljajo vsakih 10 let. Takrat se naredijo novi opisi sestojev in popravi njihov prostorski prikaz. Na ta način spremljamo spremembe gozda tudi skozi čas. Opisi sestojev torej omogočajo spremljanje stanja gozda v prostoru in času. Hkrati omogočajo tudi prostorski prikaz modela tipov goriv. In z vsakokratno obnovo gozdnogospodarskih načrtov, v sklopu katerega se izdelujejo opisi sestojev, se obnavljajo tudi območja tipov goriv.

Tako smo postavili osnove za nadaljnje raziskave na področju izdelave modela tipov goriv. Gozdni sestoj predstavlja prostorski prikaz tipa goriva. Manjkajo nam na terenu izmerjene lastnosti gozdnih

goriv, ki jih potrebujemo za izračun parametrov tipov goriv. Na tej točki smo našo raziskavo na temo širjenja gozdnih požarov zaključili.

Nadaljnje raziskave na tem področju naj se usmerijo na meritve značilnosti gozdnih goriv na študijskem območju. Predlagamo pristop, ki se je uveljavil tudi drugje v Evropi (Sithoe, 2007; Gonzalez in sod., 2007b; Barbosa in sod., 2008). V tem primeru se uporabi obstoječe modele tipov goriv, ki se jih pripiše določeni vodoravni strukturi gozda, v našem primeru gozdnim sestojem. Ta pristop ne nudi najboljših rezultatov, potrebno se je zavedati njegove omejene uporabnosti, hkrati pa omogoča hitro in cenovno ugodno izdelavo ter spoznavanje lastnosti tipov goriv in sistemov za napovedovanje širjenja požarov.

Model tipov goriv, ne samo za Kraško gozdnogospodarsko območje, ampak tudi širše, je naloga, ki nas čaka v prihodnosti. Območja goriv, ki smo jih primerjali z gozdnimi sestoji, so že narejena, potrebujemo še parametre tipov goriv. Predlagamo, da se meritve gozdnih goriv izvajajo na mreži stalnih vzorčnih ploskev. Fernandes (2009) je na podlagi podatkov gozdne inventure izdelal model goriv in določil njihove značilnosti za Portugalsko. Hkrati pa ne smemo pozabiti tudi na ostale rabe prostora, ker se požari večinoma začenjajo na njih. Tudi za ta območja bi bilo potrebno prevzeti ali izdelati tipe goriv.

8 SKLEPI

V nalogi smo uporabili tehnologijo GIS za prikaz značilnosti pojavljanja gozdnih požarov in izgradnjo modelov verjetnosti pojavljanja gozdnih požarov. Prostorske analize, ki smo jih uporabili v nalogi, so omogočile drugačen, svež vpogled v preteklo požarno aktivnost na Kraškem GGO. Z uporabo metod statističnih prostorskih analiz smo lahko zgradili model verjetnosti pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev.

Rezultate naloge lahko združimo v dve skupini. V prvo skupino spada pregled pretekle požarne aktivnosti na Kraškem GGO. Analizirali smo gozdne požare na majhnem območju in v kratkem časovnem obdobju, kljub temu pa smo dobili vpogled v njihovo časovno in prostorsko dinamiko. Ugotovili smo, da se največ požarov pojavi v gozdovih listavcev, čeprav obstaja večja verjetnost, da se požar pojavi v gozdovih iglavcev. Na Kraškem gozdnogospodarskem območju listavci prekrivajo skoraj tri četrtine študijskega območja in to je razlog, zakaj je v njih več požarov. Uporaba jedrne gostote za prostorski prikaz pojavljanja požar se je izkazala za izredno primerno. S to metodo smo določili njihovo prostorsko porazdelitev glede na njihovo časovno pojavljanje. Pokazali smo, da je v poletnem času predvsem železnica največji krivec za veliko število gozdnih požarov, medtem ko v pozno zimskem času k nastanku požarov veliko prispeva človek in njegove aktivnosti na obdelovalnih površinah. Z metodo jedrne gostote smo tudi določili območje, kjer požari največkrat nastanejo zaradi udara strele. Naše ugotovitve se ujemajo z ugotovitvami drugih avtorjev, ki raziskujejo pojavljanje gozdnih požarov v drugačnih okoljih in pokrajinah. To pomeni samo, da je ogenj oziroma požar naraven proces, ki ima svoje zakonitosti, ki se ne spreminjajo ne glede na to, kje se pojavlja.

V drugo skupino rezultatov spadajo modeli za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v času in prostoru. Za napovedovanje gozdnih požarov v času smo uporabili kanadski meteorološki indeks požarne ogroženosti (CFFWIS) in preverili njegovo točnost na študijskem območju. Sistem je relativno enostaven za uporabo in hkrati dovolj celovit, saj nam poleg informacije o dnevni požarni ogroženosti posreduje še ostale informacije, ki se nanašajo na požar (hitrost širjenja požara, količino razpoložljivega goriva, ki jo lahko povežemo z težavnostjo gašenja). Dodatne informacije so koristne predvsem za gasilsko službo. Na Kraškem GGO je CFFWIS dosegel ustrezno natančnost napovedovanja stopenj požarne ogroženosti. Predlagamo, da se ta sistem v prihodnje preskusi tudi v praksi pri vsakodnevem napovedovanju požarne ogroženosti naravnega okolja.

Prostorske statistične metode smo uporabili za izgradnjo modela pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Uporabili smo metodo najmanjših kvadratov (OLS) in geografsko uteženo regresijo (GWR). Metoda najmanjših kvadratov je globalna regresija, ki je pojasnila samo 1 % variance odvisnih spremenljivk (R^2), medtem ko smo z geografsko uteženo regresijo s stalnim jedrom (lokalna regresija) pojasnili 21 % variance. Geografsko utežena regresija upošteva lokalne prostorske zakonitosti, zato je njen delež pojasnjene variance večji. Metoda je primerna za modeliranje pojavov, ki se spreminjajo v prostoru. Uporabna je tudi za ugotavljanje manjkajočih spremenljivk v modelu. V našem modelu manjka vsaj spremenljivka železnica oziroma razdalja gozdnih požarov od železniških tirov. Ker smo se odločili, da bomo v modelu upoštevali samo značilnosti gozdnih sestojev, te spremenljivke zato nismo uporabili. S pomočjo modela smo dobili odgovor, katere značilnosti gozdnih sestojev najbolj vplivajo na pojavljanja požarov. Te značilnosti lahko vplivajo na način gospodarjenja z gozdovi na Kraškem GGO. V okviru gospodarjenja z gozdovi lahko z redčenjem in kontroliranim požiganjem dosežemo zmanjšanje količine površinskih goriv, zmanjšanje gostote krošenj in ohranjanje velikih dreves požarno odpornih drevesnih vrst (Agee in Skinner, 2005). Za študijsko območje v okviru gospodarjenja z gozdovi, predlagamo ukrep, s katerim bi spodbujali ohranjanje velikih dreves sencovzdržnih drevesnih vrst. Še bolj pomembno pa se nam zdi kontrolirano požiganje, s katerim odstranimo površinska in talna goriva (Pyne in sod., 1996). Kontrolirano požiganje naj bi se vršilo prednostno na območjih okoli železnice in v gozdovih, ki so požarno najbolj ogroženi. Osnova za določitev požarno najbolj ogroženih gozdov so lahko rezultati geografsko utežene regresije s prilagodljivim jedrom. Metode, ki smo jih uporabili za določanje stopenj požarne ogroženosti gozdov na Kraškem GGO, lahko uporabimo še na drugih gozdnogospodarskih območjih v Sloveniji.

Statistična prostorska metoda, geografsko utežena regresija (GWR), ki smo jo uporabili v nalogi, se je izkazala za učinkovito za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov. Interpretacija rezultatov te metode je zapletena, ker moramo upoštevati rezultate tako globalne kot tudi lokalne statistike. Končni rezultat je kartografski prikaz predvidene verjetnosti pojavljanja gozdnih požarov, ki je enostavno razumljiv. Geografsko utežena regresija je zelo uporabna in hkrati zapletena statistična prostorska metoda ter je sestavni del programskega paketa ArcGIS.

Model pojavljanja gozdnih požarov smo zgradili samo na podlagi značilnosti gozdnih sestojev. Tak model ne zadostuje za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v naravnem okolju. Predlagamo izgradnjo celovitega modela pojavljanja požarov v naravnem okolju. V tem modelu bilo potrebno poleg značilnosti gozdov upoštevati tudi druge značilnosti naravnega okolja, ki so prikazane na karti dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, 2008). Prav tako bi bilo potrebno v modelu upoštevati vse požare v naravnem okolju.

V okviru požarne ogroženosti gozdov predlagamo začetek raziskav na področju simulacij širjenja gozdnih požarov. Podatki, ki jih danes zbiramo v Sloveniji ne omogočajo izdelave modela tipov goriv (izračuna vseh potrebnih parametrov) in s tem napovedovanja širjenja gozdnih požarov. Zbrane pa imamo grafične podatke o gozdnih sestojih, za katere smo ugotovili, da so primerni za prostorsko predstavitev območij goriv. Nadaljnje raziskave na tem področju naj se najprej orientirajo na izbiro že obstoječega modela tipov goriv in potem prevedba značilnosti gozdnih sestojev v ta model na študijskem območju. To bi lahko bil začetek napovedovanja širjenja gozdnih požarov. Naslednji koraki so potem povezani z meritvami količine površinskih in talnih goriv na študijskem območju in izdelava modela tipov goriv. Menimo, da bi bili rezultati meritev gozdnih goriv v stiku s tlemi uporabni tudi na drugih področjih.

Izsledki naloge lahko pomagajo pri razumevanju pojavljanja gozdnih požarov z vidika njihovega pojavljanja in preprečevanja. Ugotovili smo, katere so tiste značilnosti gozdnih sestojev, ki vplivajo na povečano pojavljanje gozdnih požarov. Te značilnosti lahko z ustreznim gospodarjenjem z gozdovi spremenimo in tako naredimo gozdove manj dovzetne za gozdne požare.

CFFWIS se večino uporablja na območjih, ki so požarno zelo ogrožena. V nalogi smo ugotovili, da je primeren za uporabo tudi v okoljih, ki so požarno manj ogrožena. Zato tudi predlagamo njegovo uporabo v Sloveniji kot podporo že obstoječemu sistemu.

Zavod za gozdove Slovenije pri izdelavi ocene potencialne ogroženosti gozdov razvrsti gozdove v štiri stopnje požarne ogroženosti na ravni odseka. V nalogi smo ugotovili, da se ta ocena lahko izdelava tudi na podrobnejšem nivoju, to je na ravni gozdnega sestoja. Prav tako bi bilo smiselno v metodologijo za izdelavo ocene potencialne ogroženosti gozdov dodati tudi parametre gozdnih sestojev, ki smo jih uporabili v nalogi.

Uporabnost podatkov o značilnostih gozdnih sestojev (sestojne karte) presega njihov osnovni namen zbiranja in izdelave za potrebe gospodarjenja z gozdovi. V našem primeru za izdelavo karte potencialne ogroženosti gozdov. Njihov pravi pomen se bo pokazal šele v prihodnjih letih kot ena ključnih informacij o gozdu in gozdnem prostoru, ki podaja izhodišče za spremljanje različnih habitatnih tipov in vrst ter varovanje okolja.

Nadaljnje delo na področju požarne ogroženosti gozdov in pojavljanja gozdnih požarov mora temeljiti na njihovem preprečevanju. Človekove aktivnosti v okolju in času, ki so glavni povzročitelj požarov, ne moremo preprečiti ali natančno določiti. Lahko pa opozarjamo na pravilno uporabo ognja in spodbujamo ukrepe, ki onemogočajo njegovo nenadzorovano širjenje in s tem hitro pogasitev.

9 POVZETEK

Požari v gozdu so del naravnih procesov, ki spreminjajo podobo in funkcijo gozda ter povzročijo veliko ekološko, socialno in ekonomsko škodo (Muhič, 2004). Najpogostejši povzročitelj gozdnega požara je človek s svojimi posegi v gozdu, gozdnem prostoru in dejavnostmi v njegovi bližini (Jakša 1997, 2006). Človek, kot velik povzročitelj požarov, poskuša zaradi svoje ekonomske računice te vplive zmanjšati na minimum ali jih celo preprečiti. Učinkovita protipožarna zaščita, ki lahko zmanjša neželene posledice, mora temeljiti na številnih dejavnostih, vključno s preprečevanjem požarov ter ukrepi pred in med gašenjem požarov (Fernandes, 2008). Sestavni del protipožarne zaščite je tudi ocenjevanje požarne ogroženosti, ki opredeli stopnjo pripravljenosti in prerazporeditev gasilskih enot pred in med samim gašenjem požara. Prav tako ocenjuje, kdaj in kje se bo pojavil požar in kako veliko nevarnost bo predstavljal (Alexander, 1994).

Slovenija spada med požarno manj ogrožene države v Evropi (Schmuck in sod., 2010). V Sloveniji pa je požarno najbolj ogroženost Kraško gozdnogospodarsko območje, na katerem se je v obdobju 1995–2009 vsako leto povprečno pojavilo 58 gozdnih požarov s povprečno pogorelo površino 6,9 ha. Pretekla požarna aktivnost je izpostavila dva značilna sezonska vrhunca pojavljanja gozdnih požarov. To sta obdobji konec zime (februar in marec) in poleti (julij in avgust). Konec zime se zgodi največ gozdnih požarov. Njihova prostorska razporeditev nakazuje, da je predvsem človekova aktivnost na obdelovalnih površinah glavni povzročitelj požarov. Premajhna pazljivost pri kurjenju na prostem in vremenske razmere (veter) povzročajo, da se požar iz obdelovalnih površin razširi v gozd. Požari v tem obdobju pa niso tako obsežni in nevarni, zato se lahko tudi hitro pogasijo in ne prizadenejo velikih gozdnih površin.

Nevarnejši in za gašenje zahtevnejši požari se pojavljajo poleti. Njihov glavni povzročitelj so vlakovne kompozicije na železniški progi Divača - Koper. Vremenske razmere in stanje vegetacije omogočajo hitro vnetljivost gozdnih goriv in prispevajo k velikim pogorelim površinam. Poletje je tudi obdobje največjega pojavljanja požarov zaradi strele. Strela požare največkrat zaneti v okolici Trstelja in Velikega Ovcnjaka, ki kraljujeta na severnem delu Kraškega GGO in se vzdigujeta nad okoliško pokrajino.

Gozdni požari se največkrat pojavijo v listnatih gozdovih, v katerih prevladujeta puhasti hrast in črni gaber. Kar je po svoje razumljivo, ker je 73 % vseh gozdov na Kraškem gozdnogospodarskem območju listnatih. Najbolj pa so v požarih prizadeti iglasti gozdovi, v katerih prevladuje črni bor, ki ga je največ glede na lesno zalogo (ZGS, 2003). Tem drevesnim vrstam je skupno tudi to, da so svetloljubna in za svojo rast potrebujejo veliko svetlobe. Njihovo rastišče in svetloljubna drevesa na njih s svojimi značilnostmi vplivajo na večjo količino podrasti. Podrast pa mogoča nastanek, vzdrževanje in širjenje talnih požarov, ki so najbolj pogosti na študijskem območju.

Za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti gozdov smo preskusili sistem CFFWIS, ki je med najpogosteje uporabljenimi sistemi na svetu. Za njegovo uporabo potrebujemo podatke o vremenskih spremenljivka temperatura, relativna vlaga, padavine in veter, ki se merijo na vremenskih postajah. S Thiessenovimi poligoni smo določili, da meteorološke meritve na vremenskih postajah Bilje, Godnje, Postojna in Portorož - letališče prikazujejo stanje vremena na Kraškem GGO. Vrednosti vremenskih spremenljivk na teh vremenskih postajah smo uporabili za izračun povprečnih vrednosti komponent CFFWIS na študijskem območju. Iz indeksa FWI smo s percentilno metodo določili pet stopenj požarne ogroženosti. Ugotovili smo, da so te stopnje povezane s preteklo požarno aktivnostjo, ter z zadovoljivo natančnostjo določajo stopnje požarne ogroženosti. Sistem CFFWIS je pokazal zadovoljivo natančnost predvsem v drugem sezonskem vrhuncu (poleti). V času prvega sezonskega vrhunca so njegove vrednosti nizke, prenizke, zato tudi ne napoveduje zelo velike požarne ogroženosti. Komponente CFFWIS smo uporabili tudi za napovedovanje dni, v katerih se bo pojavil požar.

Z uporabo klasifikacijskega drevesa smo dosegli večjo natančnost kot z uporabo logistične regresije. Vendar je število požarov in študijsko območje premajhno (Šturm in sod., 2011), da bi dosegli

zadovoljivo stopnjo natančnost. Logistična regresija je pokazala, da je, glede na komponente CFFWIS, pretekla požarna aktivnost bolj povezana s trenutnimi vremenskimi razmerami kot s sušo. Rezultati so pokazali, da bi lahko CFFWIS uporabili v protipožarni zaščiti kot dopolnilo ali pomoč že obstoječim sistemom. Komponente CFFWIS smo potem izračunali za posamezno vremensko postajo za določitev stopenj požarne ogroženosti med njimi. Za izračun smo uporabili samo tiste vremenske postaje, ki se nahajajo v Sloveniji. Za izdelavo zveznih ploskev smo uporabili interpolacijsko metodo *spline*. Dosegli smo prostorsko nizko natančnost napovedi stopnje požarne ogroženosti.

Poleg vremenskih razmer pa na pojavljanje in širjenje gozdnih požarov vplivajo tudi drevesa s svojimi značilnostmi. Njihove značilnosti se uporabljajo za izgradnjo modelov potencialnega pojavljanja gozdnih požarov, preko katerih lahko ocenjujemo vpliv gospodarjenja z gozdovi na nastanek požarov (Gonzalez in sod., 2006). V okviru ustreznega gospodarjenja z gozdovi lahko zmanjšamo pojavljanje gozdnih požarov in njihovo širjenje (Agee in Skinner, 2005). Za Kraško gozdnogospodarsko območje smo zgradili model pojavljanja gozdnih požarov, v katerem smo uporabili podatke o gozdnih sestojih in pretekli požarni aktivnosti. Model smo izdelali z uporabo prostorskih statističnih metod (esri, 1999–2010).

Najprej smo analizirali kakovost sestojnih kart, ki smo jih uporabili v modelu. Primerjava podatkov s Pravilnikom (1998) (Šturm, 2009) in terenski ogled izbranih gozdnih sestojev v sklopu raziskave sta pokazala, da so sestoji kakovostno izdelani in prikazujejo dejansko stanje na terenu. V modelu smo uporabili tudi podatke o točki vžiga gozdnih požarov. Njihovih lokacij nismo preverjali, ampak smo jih prevzeli kot take.

Ker se ponavadi požari odkrijejo šele nekaj časa po vžigu sklepamo, da zelo natančne lokacije točk začetka požara niso znane. Na ta način smo preverili, v kolikšni meri lahko zaupamo tudi rezultatom modela. In ugotovili, da lahko zaupamo rezultatom modela pojavljanja gozdnih požarov na podlagi značilnosti gozdnih sestojev.

Za vsak gozdni sestoj smo najprej določili njegove značilnosti, ki smo jih v modelu uporabili kot neodvisne spremenljivke. Te značilnosti so razvojna faza, sestojni sklep, vodilna drevesna vrsta glede na lesno zalogo, lesna zaloga na hektar (m^3/ha), delež listavcev glede na lesno zalogo (%), vrstna in debelinska pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nadmorska višina centroida sestoja (m). Za odvisno spremenljivko smo uporabili podatek o pretekli požarni aktivnosti v gozdnem sestoju.

Metoda najmanjših kvadratov, ki temelji na stacionarnosti odnosa med neodvisnimi in odvisno spremenljivko, je pojasnila samo 1 % spremenljivosti odvisne spremenljivke. Po merilu statistične značilnosti koeficientov modela smo ugotovili, da na povečano pojavljanje gozdnih požarov v gozdnih sestojih vplivajo vodilna drevesna vrsta, lesna zaloga na hektar, delež listavcev glede na lesno zalogo, vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nadmorska višina sestoja.

Navedene značilnosti gozdnih sestojev smo uporabili za izgradnjo modela potencialnega pojavljanja gozdnih požarov z geografsko uteženo regresijo s stalnim jedrom. S tem modelom, ki upošteva nestacionarnost odnosa med neodvisnimi in odvisno spremenljivko, smo pojasnili 21 % spremenljivosti odvisne spremenljivke. Glede na rezultate modela na povprečno povečano pojavljanje požarov v gozdnih sestojih vplivajo vodilna svetloljubna drevesna vrsta, manjša lesna zaloga na hektar (m^3/ha), delež listavcev glede na lesno zalogo je med 80 in 90 %, manjša vrstna pestrost po Shannon-Wienerjevem indeksu in nižje nadmorske višine sestojev (m).

Z modelom smo izračunali tudi verjetnost pojavljanja gozdnih požarov po rastiščnogojitvenih razredih. Te rezultate smo primerjali s požarno ogroženostjo po rastiščnogojitvenih razredih iz območnega načrta Kraške gozdnogospodarske enote (ZGS, 2003). Rezultati našega modela se ujemajo s podatki iz območnega načrta (ZGS, 2003). Na ta način smo dobili še dodatno potrditev o pravilnosti našega modela. Obenem pa je to tudi potrditev kakovosti vhodnih podatkov, predvsem podatkov sestojnih kart.

Na podlagi rezultatov modela smo razvrstili gozdove na Kraškem gozdnogospodarskem območju v štiri stopnje požarne ogroženosti. V zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti smo uvrstili 27 % gozdov, v veliko stopnjo požarne ogroženosti pa 22 % gozdov. Predlagamo, da se tako izdelana karta uporablja pri izdelavi načrtov varstva gozdov pred požarom. V okviru gospodarjenja z gozdovi pa lahko vplivamo na vodilno drevesno vrsto, mešanost sestoja in lesno zalogo na hektar. S tem posledično vplivamo na zmanjšanje pojavljanja požarov v gozdnih sestojih.

Zgradili smo še drug model z geografsko uteženo regresijo s prilagodljivim jedrom. Ta model povečuje oceno pojavljanja gozdnih požarov na območjih z veliko gostoto. Določili smo površino 10.000 ha, ki jo sestavljajo gozdni sestoji z zelo veliko stopnjo požarne ogroženosti. S tem modelom smo pojasnili 76 % spremenljivosti odvisne spremenljivke. Primerjava med rezultati modela in požarno aktivnostjo v letih 2010 in 2011 je pokazala na njegovo zanesljivost (62 %) napovedovanja pojavljanja gozdnih požarov v prostoru. Predlagamo uporabo tega modela za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti naravnega okolja v prostoru. Geografsko utežena regresija, ki smo jo uporabili v nalogi, se je izkazala za zelo uporabno in hkrati zapleteno statistično prostorsko metodo.

Sestavni del požarne ogroženosti je tudi napovedovanje širjenja požarov, katerega cilj je čim bolj točna napoved širjenja požara pri vseh možnih kombinacijah goriva, topografije in vremena. Najpomembnejši so podatki o gozdnih gorivih, ki jih je težko kartirati, ker so zelo spremenljiva v prostoru in času. Hkrati so edini element, na katerega lahko vpliva človek s svojimi dejavnostmi, kot so zmanjšanje količine goriva, zamenjava obstoječega goriva z manj vnetljivim gorivom in izolacija goriva, ki se doseže z gradnjo protipožarnih ovir in presek (Pyne in sod., 1996). Za izdelavo modela tipov goriv potrebujemo podatke o gorivih v krošnjah (živ in odmrli material v drevesnih krošnjah), površinskih (trava, grmičevje, opad in odmrli lesna masa v stiku s tlemi) in talnih gorivih (organski horizonti tal, korenine in gnijoči lesni ostanki v gozdnih tleh). Za uporabo v programih za simuliranje širjenja požarov mora biti model tipov goriv tudi ustrezno prostorsko predstavljen. Na študijskem območju je največ talnih požarov, v katerih se porabljajo goriva v stiku s tlemi (površinska in talna goriva), zato smo se osredotočili na te vrste goriv. Na širjenje požarov vplivajo s svojimi fizičnimi in kemijskimi značilnostmi, vlažnostjo, razpoložljivostjo in vnetljivostjo.

V programih za simuliranje širjenja talnih požarov potrebujemo, poleg topografije in vremenskih podatkov, model tipov goriv. Model tipov goriv vsebuje parametre goriva, kot so lastnosti delcev goriv, njihova razporeditev, vsebnost vlage goriva ... Izmed vseh parametrov je na terenu potrebno izmeriti podatke o globini (višini) goriva in količini po razredih časovnega zamika. Ostale podatke lahko izračunamo iz teh parametrov ali jih povzamemo iz literature. Ker se ukvarjamo s talnimi požari, se izmerjene količine nanašajo izključno na goriva v stiku s tlemi (lesna masa na gozdnih tleh in podrast). Pregledali smo obstoječe gozdarske podatkovne zbirke in v njih iskali podatke, iz katerih bi lahko izračunali potrebne parametre za izdelavo modela tipov goriv na Kraškem gozdnogospodarskem območju. Ugotovili smo, da vseh potrebnih značilnosti goriv v stiku s tlemi ni izmerjenih. Na veliko vzorčnih ploskvah so izmerjene značilnosti dreves, tankega živega drevja, sušic in odmrlih ležečih dreves. Na samo nekaj vzorčnih ploskvah so izmerjene značilnosti opada ter delno razkrojenih rastlinskih ostankov in humificirane organske snovi, kar pa ne zadostuje za izračun parametrov površinskih in talnih goriv. Potrebovali bi še izmerjene podatke o odmrlem lesnem gorivu za razrede časovnega zamika 1-h, 10-h in 100-h, značilnosti neolesenele vegetacije in grmičevja.

Modela tipov goriv za Kraško gozdnogospodarsko območje nismo mogli izdelati. Ugotovili pa smo, da za njegov prostorski prikaz lahko uporabimo gozdne sestoje. Tip goriva, ki ga prikažemo z območjem goriva, prav tako kot gozdni sestoj poudarja razlikovanje od okolice po fizioloških kazalnikih vegetacije. Vsebuje podatke o zvrsti, obliki, velikosti, porazdelitvi in kontinuiteti površinskih in talnih goriv. Na ta goriva pa v veliki meri vplivajo gozdni sestoji s svojimi značilnostmi, kot so drevesna sestava, razvojna faza, sestojni sklep, število dreves, temeljnica in lesna zaloga. Mreža gozdnih sestojev oziroma sestojne karte prikazujejo območja tipov goriv. Ne smemo pa pozabiti tudi na goriva na obdelovalnih površinah, ker se požari večinoma začenejo na njih, so prizadeta v požarih in imajo velik vpliv na njegovo širjenje.

Napovedovanje požarne ogroženosti je izjemo odgovorna naloga, ki vpliva na ljudi in okolje, v katerem živijo. Pojavljanje požarov je odvisno od vremenskih razmer in stanja vegetacije, predvsem pa od človeka in njegovih aktivnosti. Vremenske razmere ustvarijo potrebe pogoje, ki povečajo vnetljivost vegetacije, sam vžig pa največkrat sprožijo s svojo aktivnostjo v naravnem okolju človek in njegove tehnološke naprave. Požarna ogroženost mora upoštevati vse elemente in čim bolj natančno napovedati kraj in čas nastanka požara in njegovo širjenje v prostoru. Le na ta način lahko učinkovito zmanjšamo posledice gozdnih požarov in se zaščitimo pred njegovim uničujočim pohodom.

10 SUMMARY

Forest fires are part of natural processes, which alter the appearance and function of forests, and cause great social and economic damage (Muhič, 2004). The most common perpetrator of forest fire is man with his interventions in the forest, forest land, and his activities in its vicinity (Jakša 1997, 2006). Man as a main perpetrator of forest fire attempts to reduce these influences to a minimum or even prevent them, on account of personal economic benefits. Effective fire protection, which may reduce unwanted consequences, must be based on numerous activities, including fire prevention and measures before and during fire fighting (Fernandes, 2008). A component part of fire protection is also assessing forest fire danger, which defines the level of preparedness and re-arrangement of fire-fighting units before and during fire fighting. Likewise, it assesses when and where fire will occur and the level of risk it represents (Alexander, 1994).

Slovenia is among less endangered countries in Europe in terms of forest fire (Schmuck et al., 2010). However, in Slovenia the most fire risk region is Karst forest management unit, where each year, in the period from 1995 to 2009, 58 forest fires on average occurred, resulting in an average burnt area of 6,9 ha. The former fire activity has generated two typical season peaks of forest fire incidence, i.e. the period at the end of winter (February, March) and in the summer (July, August). The majority of fires occur at the end of winter. Their spatial distribution indicates that the main cause of fire on cultivated areas is particularly human activity. Lack of attentiveness during outdoor burning and weather conditions (wind) cause fire from cultivated areas to spread into the forest. Fire in this period is not very dangerous, so it can be quickly suppressed without affecting major forest areas.

But more dangerous and more challenging fires to suppress happen in summer. Their main perpetrator are train compositions on the Divača - Koper railway line. Weather conditions and vegetation enable faster flammability of forest fuels and contribute to larger burnt areas. Summer is also the period of frequent lightning-caused fires. Lightning fires often occur in the area of Trstelj and Veliki Ovčnjak hills, which boast on the northern part of Karst forest management unit and rise above the surrounding landscape.

Forest fires most frequently occur in deciduous forests, where *Quercus pubescens* and *Ostrya carpinifolia* prevail. That is reasonable, because 73 % of all forests are broadleaves forests. However, forest fires majorly affect coniferous forests, where *Pinus nigra* prevails, with the highest growing stock in the study area. What these forests have in common is that they are light-intolerant and need a lot of light to grow. Their natural site and light-demanding trees on them and their features affect a greater quantity of understory. The understory enables occurrence, maintenance and spreading of ground fire, which is most frequent in the study area.

To predict actual forest fire danger we tested the Canadian forest fire weather system (CFFWIS), which is one of the most frequently used systems in the world. For its use we need data on weather variables, such as temperature, relative humidity, precipitation and wind, which are measured on weather stations. By means of the Thiessen polygons we determined that meteorological measurements on weather stations Bilje, Godnje, Postojna and Portorož - Airport show the weather condition in Karst forest management unit. The values of weather variables on these weather stations have been used to calculate the average values of CFFWIS components in the study area. On the basis of the FWI index and by using the percentile method we determined five classes of forest fire danger. We established that these levels are related to the former fire activity and determined the levels of forest fire danger with a satisfying precision. The CFFWIS system has shown a satisfying precision particularly in the second season peak (summer). In the first peak its levels are low, too low, so it doesn't predict very high forest fire danger.

The CFFWIS components have also been used for predicting days, when forest fire will occur. By means of a classification tree we achieved higher precision than with the use of logistic regression. However, the number of forest fires and the area of study are too small (Šturm et al., 2011) to achieve a satisfying precision. Logistic regression showed that, with regard to CFFWIS components, former

fire activity is more related to current weather conditions than to drought. The results have shown that CFFWIS could be used in fire protection as a complement or aid to the existing systems. Afterwards, CFFWIS components have been calculated for an individual weather station to determine the levels of fire forest danger among them. For calculation we used only weather stations located in Slovenia. For the calculation of interpolated layers we used interpolation methods, i.e. *spline*. We achieved a spatially low precision of prediction of the level of forest fire danger.

In addition to weather conditions, trees with their features also impact the forest fire occurrence and behaviour. Tree features are used for creating forest fire probability models, through which we can assess the influence of forest management on fire occurrence (Gonzalez et al., 2006). Within appropriate forest management we can reduce the forest fire occurrence and its behaviour (Agee and Skinner, 2005). For Karst forest management unit we created a forest fire probability model, where we used data on forest stands and past fire activity. We used spatial statistical methods for building the model.

First we made quality assessment of forest stand maps that are used in the model. Comparison with Regulation on the forest management and silviculture plans (1998) and field visit of selected forest stands have shown that forest stand maps are quality made and they show actual conditions. Forest fire ignition points are also used in the model. We did not check their spatial locations. Fires are usually discovered after some time, so we concluded that exact ignition points are not known. We tested the input data in the model and found that we can trust the results of the fire probability model based on forest stands characteristics.

To create a model, each forest stand was attributed an independent variable, i.e. information on the development phase, canopy closure, main tree species regarding to growing stock, growing stock per hectare, the share of deciduous trees with regard to growing stock, Shannon-Wiener index tree species composition, Shannon-Wiener index size class distribution and elevation of forest stand centroid. As an independent variable we used information on the former forest fire activity in the forest stands.

The ordinary least squares method, which is based on the stationariness of the relationship between the independent and dependent variable, accounted for only 1 % of variability of the dependent variable. Based on the criterion of statistical features of model coefficients, we established that increased forest fire occurrence in forest stands is generated by main tree species regarding to growing stock, growing stock per hectare, the share of deciduous trees with regard to growing stock, Shannon-Wiener index tree species composition and elevation of forest stand centroid.

The stated features of forest stands were used for creating a fire probability model for forest stands with geographically weighted regression with the fixed kernel type. This model, which observes non-stationariness of the relationship between independent and dependent variables, accounted for 21 % of variability of the dependent variable. With regard to the model results, the average increased probability of fire in forest stands is generated by shade intolerant main tree species regarding to growing stock, low growing stock per hectare, the share of deciduous trees with regard to growing stock between 80 and 90 %, smaller Shannon-Wiener tree species composition and lower elevation above sea level.

We also used model to calculate forest fire probability for forest management classes. We compare results with fire hazard for forest management classes in regional plan for Karst forest management unit (ZGS, 2003). The results were quite similar and that proved our model as good one. At the same time this is also a confirmation of quality of input data, especially forest stand maps.

On the basis of the model results, we classified forests into four levels of forest fire danger. There is 27 % of all forests in the very high forest fire danger level and 22 % in the high forest fire danger level. We suggest that such a map is used in the preparation of forest fire prevention plans. With forest management we can influence on the main tree species, species composition and growing stock per hectare, and consequently on lower fire probability in those forest stands.

We also created another model with geographically weighted regression with an adaptive kernel type. This model increases the assessment of the incidence of forest fire in areas with high density. We determine 10.000 ha of forests with very high fire occurrence probability. This model accounted for 76 % of variability of the dependant variable. The comparison of model results and fire activity in 2010 and 2011 showed the model's great reliability (62 %) of predicting forest fire occurrence in the study area. We propose the use of this model for predicting actual spatial forest fire danger in natural environment. Geographically weighted regression has proven to be very useful and at the same time complex spatial statistical method.

A component part of forest fire danger is also the prediction of fire behaviour, the purpose of which is to deliver as precise prediction of fire spread as possible in terms of all possible fuel combinations, topography and weather. The most important data is forest fuels, which are difficult to map, because they are very changeable in space and time. At the same time they are the only element, which can be influenced by people and their activities, such as reducing the quantity of fuels, exchange of existing fuel with less flammable fuels and isolation of fuels, which is achieved with the construction of fire protection barriers and cross-section (Pyne et al, 1996). To create a fuel model we need data on fuels in tree canopies (live and dead matter), surface (grass, shrubs, litter and down woody biomass in contact with soil) and ground (organic horizons of soil, roots and decomposing wood remains in the forest soils). To be used in programmes for simulating fire behaviour, a fuel model must also be duly spatially presented. The majority of ground fires that occur in the study area are triggered by fuels in contact with soil (surface and ground fuels); this is why we focused on these fuel types. They affect the fire behaviour with their physical and chemical properties, humidity, availability and flammability.

In programmes for simulating ground fire behaviour, in addition to topography and weather information, we also need a fuel model. A fuel model contains fuel parameters, such as features of fuel particles, their distribution, fuel humidity content, etc. Considering all parameters, field measurement is performed with a purpose of obtaining information on the depth (height) of fuel and quantity by time lags. Other information can be calculated on the basis of these parameters or taken from literature. Because we are dealing with ground fire, the measured quantities apply exclusively to fuels in contact with soil (down wood biomass on forest ground and understory). We examined the existing forest databases and searched for information in them to help us calculate the required parameters for the creation of a fuel model in Karst forest management unit. We established that all the required features of fuels in contact with soil have not been measured. On numerous sampling plots the following have been measured: features of trees, live thin trees, snags and down lying trees. The features of litter as well as features of partly decomposed plant remains and humified organic matter have been measured on only a few sampling plots, but this is not sufficient for the calculation of parameters of surface and ground fuels. We would also need measured data on down wood biomass for the time lags, such as 1-h, 10-h and 100-h, and features of non-wooded plants and shrubs.

The fuel model for Karst forest management unit could not have been created. But we determined that forest stands can be used for its spatial presentation. Just like forest stand, the fuel type, which is presented with the fuel bed, also emphasizes the distinction from the surroundings by physiological vegetation indicators. It contains information on sort, shape, size, distribution and continuity of surface and ground fuels. These fuels are greatly affected by forest stands with their features, such as tree composition, site productivity, development phase, crown coverage, number of trees, basal area and growing stock). The network of forest stands or stand map depicts regions of fuel types. However, we should not disregard fuels on cultivated areas, because fires mostly start there, because they are affected by fires and because they have a major impact on the fire spread.

Predicting forest fire danger is an extremely responsible task, which affects people and environment in which they live. Fire occurrence depends on weather conditions and vegetation, but particularly on people and their activities. Weather conditions create conditions, which increase flammability of vegetation, but the very combustion is mostly caused by people in their natural environment with their own activities and technological devices. Forest fire danger must observe all the elements and predict the place and time of fire occurrence and its behaviour as precisely as possible. This is the only way

for us to effectively reduce consequences of forest fire and protect ourselves from its march of destruction.

VIRI

- Agee J. K., Skinner C. N. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management* 211: 83-96.
- Aguado I., Chuvieco E., Martín P., Salas F. J. 2003. Assessment of forest fire danger conditions in southern Spain from NOAA images and meteorological indices. *International Journal for Remote Sensing* 24: 1653-1668.
- Alexander M. E. 1994. Proposed revision of fire danger class criteria for forest and rural areas in New Zealand. NRFA/NZFRI, Circular 1994/2, Wellington.
- Allgöwer B., Harvey S., Rüegegger M. 1998. Fuel models for Switzerland: description, spatial pattern, index for torching and crowning. In: Viegas D.X. (Ed.), Proc. 3rd International Conference on Forest Fire Research & 14th Fire and Forest Meteorology Conference, ADAI, Coimbra: 2605-2620.
- Amiro B. D., Stocks B. J., Alexander M. E., Flannigan M. D., Wotton B. M. 2001. Fire, climate change, carbon and fuel management in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire* 10, 3/4: 405-413.
- Amiro B. D., Logan K. A., Wotton B. M., Flannigan M. D., Todd J. B., Stocks B. J., Martell D. L. 2004. The weather of large fires in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire* 13, 4: 391-400.
- Anderson H. E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. Gen. Tech. Rep. No. INT-122. Ogden, UT. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment station: 22 str.
- Andrews P. L. 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part 1. Gen. Tech. Rep. No. INT-194. Ogden, UT. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station: 133 str.
- Andrews P. L., Queen L. P. 2001. Fire modeling and information system technology. *International Journal of Wildland Fire* 10, 4: 343-352.
- Andrews P. L., Loftsgaarden D. O., Bradshaw L. S. 2003. Evaluation of fire danger rating indexes using logistic regression and percentile analysis. *International Journal of Wildland Fire* 12, 2: 213-226.
- Andrews P. L. 2007. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future. In 'Proceedings of 7th Symposium on Fire and Forest Meteorological Society', 23-25, Bar Harbor, Maine: 13 str. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/126669.pdf> (pridobljeno 13. 5. 2011).
- Arroyo L. A., Healey S. P., Cohen W. B., Cocero D. 2006. Using object-oriented classification and high-resolution imagery to map fuel types in a Mediterranean region. *Journal of Geophysical Research* 111.
- Arroyo L. A., Pascual C., Manzanera J. A. 2008. Fire models and methods to map fuel types: the role of remote sensing. *Forest Ecology and Management* 256: 1239-52.
- Asgary A., Ghaffari A. 2010. Spatial and temporal analyses of structural fire incidents and their causes: A case of Toronto, Canada. *Fire Safety Journal* 45,1: 44-57.

- Austin J. M., Mackey B. G., Van Niel K. P. 2003. Estimating forest biomass using satellite radar: an exploratory study in a temperate Australian Eucalyptus forest. *Forest Ecology and Management* 176: 575-583.
- Bachmann A. 2001. GIS-based wildland fire risk analysis. PhD thesis, Department of Geography. University of Zurich, Zurich.
- Barbosa P., Camia A., Kucera J., Liberta G., Palumbo I., San-Miguel-Ayanz J. Schmuck G. 2008. Chapter 8 Assessment of Forest Fire Impacts and Emissions in the European Union Based on the European Forest Fire Information System. *Developments in Environmental Sciences*. M. J. A. A. R. R. Andrzej Bytnerowicz and A. Christian, Elsevier. Volume 8: 197-208.
- Bernard M. L., Nimour N. 2007. Wildfires, weather, and productivity. In: Butler, B. W.; Cook, W. The fire environment--innovations, management, and policy; conference proceedings. 26-30 March 2007; Destin, FL. Proceedings RMRS-P-46CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 7-26.
- Bertolette D. R., Spotskey D.B. 1999. Fuel model and forest type mapping for FARSITE. In: The Joint Fire Science Conference and Workshop. University of Idaho and International Association of Wildland Fire, Boise, Idaho.
- Bobnar S., Drobne S., Šumrada R. 2010. Vaje iz prostorskih analiz v GIS orodju ArcGIS. UL, FGG, Ljubljana.
- Bodrožić L., Marasović J., Stipaničev D. 2005. Fire Modelling in Forest Fire management. Proc.of Int. Conf. CEEPUS Spring School - Engineering for the Future, Kielce, Poland: 7-15.
- Bole D. 2010. Primer uporabe geografsko obtežene regresije s pomočjo GIS orodja. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010 / uredila Drago Perko, Matija Zorn*. Ljubljana : Založba ZRC, 2008: 309-318.
- Bončina A. 2000. Primerjava strukture gozdnih sestojev in sestave rastlinskih vrst v pragozdu in gospodarskem gozdu ter presoja uporabnosti izsledkov za gozdarsko načrtovanje. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 63.
- Bond W.J., Van Wilgen B.W. 1996. Why and how do ecosystems burn? *Fire and Plants*, Chapman & Hall: 17-33.
- Bradshaw, Larry S., John E. Deeming, Robert E. Burgan, Jack D. Cohen. 1984. The 1978 National Fire-Danger Rating System: Technical Documentation. Gen. Tech. Rep. INT-169. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 44 str.
- Brus R. 2004. Drevesne vrste na slovenskem. Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Buchholz G., Weidemann D. 2000. The use of simple fire danger rating systems as a tool for early warning in forestry. *FAO/ECE/ILO International Forest Fire News* 23: 33-36.
- Burgan R. E., Rothermel R. C. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system--FUEL subsystem. Gen. Tech. Rep. INT-167. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 110 str.
- Burgan R.E. 1988. 1988 Revisions to the 1978 National Fire-Danger Rating System. Res. Pap.SE-273. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station: 39 str.

Burgan R. E., Klaver R. W., Klaver J. M. 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire* 8,3: 159-170.

Camia A., Amatulli G. 2009. Weather factors and fire danger in the Mediterranean. In: Chuvieco E. (ed) *Earth observation of wildland fires in Mediterranean ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin: 71-82.

Cane D., Ciccarelli N., Gottero F., Francesetti A., Pelfini F., Pelosini R. 2008. Fire Weather Index application in north-western Italy. *Advances in Science and Research* 2: 77-80.

Carvalho A., Flannigan M. D., Logan K., Miranda A. I., Borrego C. 2008. Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire* 17: 328-338.

Carlson J. D. Engle D. M. 1998. Recent developments in the Oklahoma fire danger model, a mesoscale fire danger rating system for Oklahoma. Pages 42-47 in *Preprints of the 2nd Symposium on Fire and Forest Meteorology*, Phoenix, Arizona. January 11-16, 1998. American Meteorological Society, Boston, MA.

Chuvieco E., Salas J. 1996. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 10: 333-345.

Chuvieco E., Riano D., van Wagtenonk J., Morsdorf F. 2003. Fuel loads and fuel type mapping. In: Chuvieco, E. (Ed.), *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. The Role of Remote Sensing Data*. World Scientific, Singapore: 119-142.

Chuvieco E., Cocero D., Riano D., Martin P., Martinez-Vega J., Riva J. D. L., Perez F. 2004. Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment* 92: 322-331.

CIPOP. 2011. Integralna protupožarna zaštita Splitsko-dalmatinske županije. Centar za istraživanje požara otvorenog prostora. Sveučilišta u Splitu. Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje http://vatra.fesb.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=66 (pridobljeno 23. 4. 2011).

Colaco C., Molina D. M. 2010. Learning and Training on the Use of Prescribed Burning Techniques. In *EFI Research Report nr. 23. "Fire Paradox"*, Project no. FP6-018505, European Commission: 161-173.

Cruz M.G., Fernandes P.M. 2008. Development of fuel models for fire behaviour prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. *International Journal of Wildland Fire* 17: 194-204.

CWFIS. 2009. Canadian Wildland Fire Information System. Natural resources Canada. <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/> (pridobljeno 3. 5. 2010).

De'ath C., Fabricius K. 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology* 81: 3178-3192.

Deeming J. E., Burgan R.E., Cohen J.D. 1977. The National Fire Danger Rating System - 1978. Gen. Tech. Rep. INT-39. USDA Forest Service, Intermount Forest and Range Experiment Station: 144 str.

Demšar U., Fotheringham A. S., Charlton M. 2008. Exploring the Spatio-temporal Dynamics of Geographical Processes with Geographically Weighted Regression and Geovisual Analytics. *Information Visualisation* 7: 181-197.

- Dennison P. E., Charoensiri K., Roberts D. A., Peterson S. H., Green R. O. 2006. Wildfire temperature and land cover modeling using hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment* 100: 212-222.
- Deeming J. E., Lancaster J. W., Fosberg M. A., Furman W. R., Schroeder M. J.. 1972. The National Fire-Danger Rating System. Research Paper RM-84. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Revised 1974: 165 str.
- De la Riva J., Pérez F., Renault N.L., Koutsias N. 2004. Mapping forest fire occurrence at a regional scale. *Remote Sensing of Environment* 92, 3: 363-369.
- Dimitrakopoulos A. P., 2002. Mediterranean fuel models and potential fire behaviour in Greece. *International Journal of Wildland Fire* 11: 127-130.
- Dimitrakopoulos A. P., Bemmerzouk A. M., Mitsopoulos I. D. 2010. Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications* 18, 1: 83-93.
- Dimitrov T. 1996. Sistemi za oceno nevarnosti gozdnega požara in modeliranje obnašanja gozdnih požarov. *Gozdarski vestnik* 54, 4: 219-224.
- EC. 2011. European Commission (EC). Joint Research Centre (JRC). European Forest Fire Information System (EFFIS).
<http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/> (pridobljeno 17. 4. 2011).
- Etlinger M. G. 2000. Fire performance of landscape plants. Berkeley, University of California: 117 str.
- esri. 1999–2010. Economic and Social Research Institute (esri inc.).
www.esri.com/ (pridobljeno 13. 1. 2012).
- Falkowski M. J., Gessler P. E., Morgan P., Hudak A. T., Smith A. M. S. 2005. Characterizing and mapping forest fire fuels using ASTER imagery and gradient modeling. *Forest Ecology and Management* 217: 129-146.
- Ferlan M., Kovač M., Levanič T., Kušar G., Kutnar L., Ogris N., Rupel M., Skudnik M., Urbančič M., Verlič A., Vilhar U., Žlindra D., Simončič P. 2010. Poročilo o spremljanju stanja gozdov za l. 2009: vsebinsko poročilo o spremljanju stanja gozdov v l. 2009 v skladu s Pravilnikom o varstvu gozdov (2009). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije: 89 str.
- Fernandes P. 2005. Estudo de adaptação para Portugal do Sistema Canadano de Indexação do Perigo de Incêndio. Relatório para a Agência para a Prevenção de Incêndios. Departamento Florestal. UTAD.
- Fernandes P., Luz A., Loureiro C., Ferreira-Godinho P., Botelho H. 2006. Fuel modelling and fire hazard assessment based on data from the Portuguese National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management*: 234 str.
- Fernandes P. M., 2008. Forest fires in Galicia (Spain): the outcome of unbalanced fire management. *Journal of Forest Economics* 14: 155-157.
- Fernandes P. 2009. Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. *Annals of Forest Science* 66, 4: 415-419.
- Finney M. A. 2004. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 47 str.

Finney M. A. 2006. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: Fuels management-how to measure success: conference proceedings. 2006 March 28-30; Portland, Oregon. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 213-220.
www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p041/rmrs_p041_213_220.pdf (pridobljeno 15. 9. 2010).

Flannigan M. D., Wotton B. M. 1989. A study of interpolation methods for forest fire danger rating in Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1059-1066.

Flannigan M. D., Wotton B. M. 1991. Lightning-ignited fires in northwestern Ontario. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 277-287.

Flannigan M. D., Logan K. A., Amiro B. D., Skinner W. R., Stocks B. J. 2005. Future area burned in Canada. *Climatic Change* 72: 1-16.

Forestry Canada. 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Rep. No. ST-X-3. Forestry Canada, Ottawa.

Fotheringham A. S., Charlton M. E., Brunson C. 1998. Geographically weighted regression: a natural evolution of the expansion method for spatial data analysis. *Environment and Planning A* 30 (11): 1905-1927.

Fujioka F.M., Gill A.M., Viegas D.X., Wotton B.M. 2009. Fire danger and fire behavior modeling systems in Australia, Europe and North America. In: Bytnerowicz A, Arbaugh M, Riebau A, Andersen C (eds) *Wildland fires and air pollution. Developments in Environmental Science* 8, Elsevier, Amsterdam: 471-498.

Gams I. 1997. Gozdni požari na Krasu in vloga borovih sestojev. *Ujma* 11: 113-117.

Garestier F., Dubois-Fernandez P. C., Papathanassiou K. P. 2008. Pine forest height inversion using single-pass X-band PolInSAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46: 59-68.

Gasilci.org. 2011. Neformalno spletišče namenjeno vsem operativnim gasilcem.
www.gasilci.org/modules/news/article.php?com_mode=nest&com_order=1&storyid=3123
(pridobljeno 15. 11. 2011),
www.gasilci.org/modules/news/article.php?storyid=2633 (pridobljeno 15. 11. 2011).

Giakoumakis N. M., Gitas I. Z., San-Miguel J. 2002. Object-oriented classification modelling for fuel type mapping in the Mediterranean, using LANDSAT TM and IKONOS imagery - preliminary results. In: Viegas (Ed), *Forest Fires Research & Wildland Fire Safety*. Millpress, Rotterdam.

Gilliam F.S., Turrill N.L. 1993. Herbaceous layer cover and biomass in a young versus a mature stand of a central Appalachian hardwood forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 120: 445-450.

Gonzalez J.R., Palahí M., Trasobares A., Pukkala T. 2006. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science* 63: 169-176.

Gonzalez J.R., Kolehmainen O., Pukkala T. 2007a. Using expert Knowledge to model forest stands vulnerability to fire. *Computers and Electronics in Agriculture* 55: 1007-114.

Gonzalez J. R., del Barrio G., Duguy B. 2007b. Assessing functional landscape connectivity for disturbance propagation on regional scales--a cost-surface model approach applied to surface fire spread. *Ecological Modeling* 211: 121-141.

- Guijarro M., Hernando C., Díez C., Martínez E., Madrigal J., Lampin-Cabaret C., Blanc L., Colin P. Y., Pérez-Gorostiaga P., Vega J. A., Fonturbel M. T. 2002. Flammability of some fuel beds common in the South-European ecosystems. In 'Proceedings of the 4th International Conference on Forest Fire Research & Wildland Fire Safety', November 2002, Luso-Coimbra, Portugal. (Ed. DX Viegas) <http://marioloureiro.net/ciencia/firebrand/161.pdf> (pridobljeno 15. 10. 2011).
- Harrington J.B., Flannigan M.D., Van Wagner C.E. 1983. A study of the relation of components of the Fire Weather Index to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953-80. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute, Chalk River, Ontario. Information Report PI-X-25: 65 str.
- Harvey S., Rügsegger M., Allgöwer B. 1997. Fuel Models for Switzerland (Swiss National Park). Rep. No. BBW Nr. 94.0177, EC Nr. EV5VCT-0570. Department of Geography, Zurich.
- Helfman R. S., Straub R. J., Deeming J. E. 1987. User's guide to AFFIRMS: time-share computerized processing for fire danger rating. Gen. Tech. Rep. INT-82. USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- Hočevar M., Kušar G., Japelj A. 2005. Gozdni viri Slovenije: stanje in razvoj 1990-2000-2005: global forest resources assessment 2005. Poročilo za Slovenijo. Ljubljana. Gozdarski inštitut Slovenije: 120 str.
- Hosmer D.W., Lemeshow S. 2000. Applied logistic regression. 2nd edn. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Hyde P., Dubayah R., Walker W., Blair J. B., Hofton M., Hunsaker C. 2006. Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM+, Quickbird) synergy. Remote Sensing of Environment 102: 63-73.
- Hyypä J., Hyypä H., Inkinen M., Engdahl M., Linko S., Zhu Y. H. 2000. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. Forest Ecology and Management 128: 109-120.
- Hyypä J., Hyypä H., Leckie D., Gougeon F., Yu X., Maltamo M. 2008. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. International Journal of Remote Sensing 29: 1339-1366.
- Jakša J. 1997. Obseg in posledice gozdnih požarov v Sloveniji v letih 1991 do 1996 ter vloga gozdarstva v varstvu pred požari. Gozdarski vestnik 55, 9: 386-395.
- Jakša J. 2006. Gozdni požari. Gozdarski vestnik 64, 9: 393-409.
- James P. M. A., Fortin M. J., Fall A., Kneeshaw D., Messier C. 2007. The effects of spatial legacies following shifting management practices and fire on boreal forest age structure. Ecosystems 10: 1261-1277.
- Jia G. J., Burke I. C., Goetz A. F. H., Kaufmann M. R., Kindel B. C. 2006. Assessing spatial patterns of forest fuel using AVIRIS data. Remote Sensing of Environment 102: 318-327.
- Jules M. J., Sawyer J. O. 2008. Assessing the relationships between stand development and understory vegetation using a 420-year chronosequence. Forest Ecology and Management 255, 7: 2384-2393.
- Jerina K. 2006. Prostorska razporeditev, območja aktivnosti in telesna masa jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) glede na okoljske dejavnike. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 172 str.

Kastelec D., 2001. Objektivna prostorska interpolacija meteoroloških spremenljivk in njihovo kartranje: doktorska disertacija. Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko: 152 str.

Keane R.E., Burgan R.E., van Wagendonk J. 2001. Mapping wildland fuel for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire* 10: 301-319.

Kerns B. K., Ohmann J. L. 2004. Evaluation and prediction of shrub cover in coastal Oregon forests (USA). *Ecological Indicators* 4, 2: 83-98.

Kleschenko A., Grom L., Ndiaye M., Stefanski R. 2003. The Impacts of Agrometeorological Application for Sustainable Management of Farming, Forestry and Livestock. CAgM Report No. 92 WMO/TD No. 1175: 70 str.

<http://cagm.arso.gov.si/CAgM-XIII/9.3Sustainable.pdf> (pridobljeno 12. 3. 2010).

Kobler A. 2001. Končno poročilo o rezultatih podprojekta Prostorski model požarne ogroženosti gozdov, dopolnjena izdaja. Gozdarski inštitut Slovenije.

Kobler A., Ogrinc P., Fajfar D., Džeroski S. 2006. Končno poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta: napovedovalni GIS model požarne ogroženosti naravnega okolja, ciljni raziskovalni program: znanje za varnost in mir 2004-2010. Inštitut Jožef Štefan, Gozdarski inštitut Slovenije, IGEA.

Kušar G. 2007. Zanesljivost ugotavljanja volumna dreves in lesne zaloge sestojev z enoparametrijskimi funkcijami in stratifikacijo: doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 277 str.

Košir Ž. 1976. Zasnova uporabe prostora - Gozdarstvo. Vrednotenje gozdnega prostora po varovalnem in lesnoproizvodnem pomenu na osnovi naravnih razmer. Zavod SR Slovenije za družbeno planiranje in Institut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti, Ljubljana: 147 str.

Košir Ž. 1997. Ekološke posledice gozdnih požarov in požarna ogroženost gozdnih združb, Ujma 11: 107-112.

Košmelj K. 2001. Uporabna statistika. Biotehniška fakulteta, Ljubljana: 249 str.

Kotz B., Schaepman M., Morsdorf F., Bowyer P., Itten K., Allgower B. 2004. Radiative transfer modeling within a heterogeneous canopy for estimation of forest fire fuel properties. *Remote Sensing of Environment* 92: 332-344.

Koukoura, Z., Kyriazopoulos A. 2007. Adaptation of herbaceous plant species in the understorey of *Pinus brutia*. *Agroforestry Systems* 70, 1: 11-16.

Koutsias N., Kalabokidis K. D., Allgöwer B. 2004. Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods. *Natural Resource Modeling* 17, 4: 359-375.

Koutsias N., Martinez J., Chuvieco E., Allgöwer B. 2005. Modeling Wildland Fire Occurrence in Southern Europe by a Geographically Weighted Regression Approach. *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*: 51-55.

Kovač M. 2007. Popis poškodovanosti gozdov in gozdnih ekosistemov: priročnik za terensko snemanje podatkov. Gozdarski inštitut Slovenije. Ljubljana.

- Kralj T. 2008. Primerjava sistemov za razvrščanje tal na izbranih tleh v Sloveniji. Doktorska disertacija. Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani: 413 str.
- Lasaponara R., Lanorte A. 2006. Multispectral fuel type characterization based on remote sensing data and Prometheus model. *Forest Ecology and Management* 234: 226.
- Lasaponara R., Lanorte A. 2007. Remotely sensed characterization of forest fuel types by using satellite ASTER data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9: 225-234.
- Lawson B.D., Stocks B.J., Alexander M.E., van Wagner C.E. 1985. A system for predicting fire behaviour in Canadian forest. In *Proceedings of the 8th Conference on Fire and Forest Meteorology*. April 29-May 2, 1985, Detroit, Michigan, USA. Society of American Foresters, Bethesda, Maryland, Usa. 85, 4: 6-16.
- Lawson B.D., Armitage O.B. 2008. *Weather Guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System* Canadian Forest Service Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta: 73 str.
- Lebez Lozej J., Urbančič M. 1998. Tla in talna mezofavna v travniških in gozdnih ekosistemih na komenskem Krasu = Soil and soil mesofauna of the grassland and forest ecosystems in the karst region near Komen. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 55: 5-27.
- Lee B. S., Alexander M. E., Hawkes B. C., Lynham T. J., Stocks B. J., Englefield P. 2002. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture* 37: 185-198.
- Légaré S., Bergeron Y. Paré D. 2001. Comparison of the understory vegetation in boreal forest types of southwest Quebec. *Canadian Journal of Botany* 79: 1019-1027.
- Loehle C. 2004. Applying landscape principles to fire hazard reduction. *Forest Ecology and Management* 198, 1-3: 261-267.
- Lundgren S. 1999. The National Fire Management Analysis System (NFMAS) Past 2000: A New Horizon. In Armando González-Cabán and Philip N. Omi, eds., *Proceedings of the Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Bottom Lines* (Albany, CA: Forest Service, 1999): 72 str.
- Lutz J. A., Key C. H., Kolden C. A., Kane J. T., van Wagendonk J. W. 2011. Fire frequency, area burned, and severity: a quantitative approach to defining a normal fire year. *Fire Ecology* 7, 2: 51-65.
- Macdonald S. E., Fenniak T. E. 2007. Understory plant communities of boreal mixedwood forests in western Canada: natural patterns and response to variable- retention harvesting. *Forest Ecology and Management* 242: 34-48.
- Mallinis G., Koutsias N., Tsakiri-Strati M., Karteris M. 2008. Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63: 237-250.
- Marinček L., Čarni A. 2002. Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000. Ljubljana: 79 str.
- Martínez J, Vega-García C, Chuvieco E. 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* 90: 1241-1252.
- Maselli F., Romanelli S., Bottai L., Zipoli G. 2003. Use of NOAA-AVHRR NDVI images for the estimation of dynamic fire risk in Mediterranean areas. *Remote Sensing of Environment* 86: 187-197.

Matijašič D., Šturm T. 2006. Sestojna karta Slovenije. V: XXIV. Gozdarski študijski dnevi, Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino, Hladnih D. (ur.), Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.

McKenzie D., Halpern C. B. 1999. Modeling the distributions of shrub species in Pacific Northwest forests. *Forest Ecology and Management* 114: 293-307.

Merrill D.F., Alexander M. E. 1987. Glossary of forest fire management terms. National Research Council of Canada, Committee for Forest Fire Management. Ottawa, Ontario.

Messier C., Parent S., Bergeron Y. 1998. Effects of overstory vegetation on the understory light environment in mixed boreal forests. *Journal of Vegetation Science* 9: 511-520.

Miller M. 1994. Fuels. *Fire Effects Guide*. National Wildfire Coordinating Group, NFES 2394.

Miller J. D., Danzer S. R., Watts J. M., Stone S., Yool S. R. 2003. Cluster analysis of structural stage classes to map wildland fuels in a Madrean ecosystem. *Journal of Environmental Management* 68: 239-252.

Muhič D. 2004. Požari v naravi. Ljubljana, Gasilska zveza Slovenije.

Mutlu M., Popescu S. C., Stripling C., Spencer T. 2008. Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment* 112: 274-285.

Muukkonen P., Mäkipää R. 2006. Empirical-biomass models of understorey vegetation in boreal forests according to stand and site attributes. *Boreal Environment Research* 11: 355-369.

Nilsson C. O., Engelmark J., Cory A., Forsslund A., Carlborg E. 2008. Differences in litter cover and understorey flora between stands of introduced lodgepole pine and native Scots pine in Sweden. *Forest Ecology and Management* 255: 1900-1905.

NWCG. 2002. Gaining an Understanding of the National Fire Danger Rating System. National Wildfire Coordinating Group Report NFES 2665, P. Schlobohm and J. Brain (Eds.): 71 str.

Ogris N. 2003. Meteorološko modeliranje in kazalec požarnega vremena, Seminarska naloga, Podiplomski študij, Univerza v Lj, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne, Ljubljana.

Ogris N., Jurc D., Piltaver A., Jurc M. 2006. Podatkovna zbirka gliv Slovenije *Boletus informaticus* in njen pomen za ocenjevanje biotske pestrosti gozdnih ekosistemov. Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Studio Forestalia Slovenica, 127. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.

Ottmar R. D., Sandberg D. V., Riccardi C. L., Prichard S. J. 2007. An Overview of the Fuel Characteristic Classification System - Quantifying, Classifying, and Creating Fuelbeds for Resource Planning. *Canadian Journal of Forest Research* 37, 12: 2383-2393.

Papež J., Černigoj V. 2008. Metodologija za oceno pomembnosti sestojev za ohranjanje biotske raznolikosti v gozdni krajini. *Gozdarski vestnik* 66, 3: 160-186.

Pečenko A. 1994. Določanje stopenj požarne ogroženosti naravnega okolja v Sloveniji. *Ujma* 8: 193-196.

Pečenko A. 2005. Požari v naravnem okolju. Agencija RS za okolje - Urad za meteorologijo. Ljubljana.

www.arso.gov.si/vreme/porocila_in_projekti/drzavna_sluzba/Pozari_v_naravnem_okolju.pdf (pridobljeno 30. 7. 2008).

Peterson D. L., Johnson M. C., Agee J. K., Jain T. B., McKenzie D., Reinhardt E. D. 2005. Forest structure and fire hazard in dry forests of the Western United States. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-628. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 30 str.

Pitkänen S. 1997. Correlation between stand structure and ground vegetation: an analytical approach. *Plant Ecology* 131, 1: 109-126.

Podobnikar T. 1998. Metode Monte Carlo simulacij v prostorskih analizah, magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo: 191 str.

Podobnikar T., Drobne S. 1999. Metode statističnih prostorskih analiz v geografskem informacijskem sistemu. *Geodetski vestnik*, 43 (2): 130-142.

Podobnikar T. 2001. Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo: 343 str.

Poljanec A. 2005. Analiza obravnavanja sestojev kot inventurnih in načrtovalnih enot v gozdarskem načrtovanju, magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 112 str.

Polyakova O., Billor N. 2007. Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management* 253: 11-18.

Poulos H. M., Camp A. E., Gatewood R. G., Loomis L. 2007. A hierarchical approach for scaling forest inventory and fuels data from local to landscape scales in the Davis Mountains, Texas, USA. *Forest Ecology and Management* 244: 1-15.

Pravilnik o gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih načrtih. UL RS št. 5/1998, 70/2006, 12/2008, 91/2010.

Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. UL RS št. 90/2006, 9/2008, 45/2008, 122/2008.

Pravilnik o varstvu gozdov. UL RS št. 92/2000 56/2006, 114/2009.

Pyne S. J., Andrews P. L., Laven. R. D. 1996. *Introduction to Wildland Fire*, 2nd Ed. Wiley Publishers, New York, NY.

Rainha M., Fernandes P. M. 2002. Using the Canadian Fire Weather Index (FWI) in the Natural Park of Montesinho, NE Portugal: calibration and application to fire management. In: Viegas D (ed) *Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research*, Luso, Portugal.

Reinhard M., Rebetez M., Schlaepfer R. 2005. Recent climate change: Rethinking drought in the context of forest fire research in Ticino, South of Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology* 82, 1-2: 17-25.

Riano D., Chuvieco E., Ustin S. L., Salas F. J., Rodriguez-Perez J. R., Ribeiro L. M., Viegas D. X., Moreno J. F., Fernandez H. 2007. Estimation of shrub height for fuel-type mapping combining airborne LiDAR and simultaneous color infrared ortho imaging. *International Journal of Wildland Fire* 16: 341-348.

Roberts D. A., Dennison P. E., Gardner M. E., Hetzel Y., Ustin S. L., Lee C. T. 2003. Evaluation of the potential of Hyperion for fire danger assessment by comparison to the airborne visible/infrared imaging spectrometer. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41: 1297-1310.

Roethel-Kovač M., Vičar Z. 2005. Kontrola meteoroloških podatkov. Agencija RS za okolje - Urad za meteorologijo. Ljubljana.
www.arso.gov.si/vreme/poročila_in_projekti/drzavna_sluzba/Kontrola_meteoroloskih_podatkov.pdf (pridobljeno 30. 7. 2008).

Rollings M. G., Morgan P., Swetan T. 2002. Landscape-scale controls over 20th century fire occurrence in two large rocky Mountain (USA) wilderness areas. *Landscape Ecology* 17: 539-557.

Rothermel R. C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. General Technical Report INT-115, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 50 str.

Sagers C.L. Lyon J. 1997. Gradient analysis in a riparian landscape: contrast among forest layers. *Forest Ecology and Management* 96: 13-26.

Sandberg D. V., Ottmar, R. D., Cushon, G. H. 2001. Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire* 10: 381-387.

Scott J. H., Burgan R. E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Seaman D. E., Powell R. A., 1996. An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology* 77: 2075-2085.

Sithoe P. J. 2007. Fuel map model for Portugal. Unpublished MSc, Cranfield. University, Cranfield. Sneeuwjagt, R. J., & Peet, G. B. Osebna komunikacija. (pridobljeno 25. 5. 2009).

Slatton K. D., Crawford M. M., Evans B. L. 2001. Fusing interferometric radar and laser altimeter data to estimate surface topography and vegetation heights. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 39: 2470-2482.

Schmuck G., San-Miguel-Ayanz J., Camia A., Durrant T., Santos De Oliveira S., Boca, R., Whitmore C., Giovando C., Liberta G., Schulte E. 2011. Forest Fires in 2010. Publications Office of the European Union, Luxembourg, EUR 24910 EN.

Stratton R. D. 2006. Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 15 str.

Stocks B. J., Lawson B. D., Alexander M. E., Van Wagner C. E., McAlpine R. S., Lynham T. J., Dube D. E. 1989. The Canadian forest fire danger rating system: An overview. *Forestry Chronicle* 65, 6: 450-457.

Stocks B. J., Lynham T. J. 1996. Fire Weather Climatology in Canada and Russia. In: *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Ed. J. G. Goldammer and V.V. Furyaev. Kluwer Academic Publishers. Netherlands: 481-487.

Svenning J. C., Skov F. 2002. Mesoscale distribution of understorey plants in temperate forest (Kalo, Denmark): The importance of environment and dispersal. *Plant Ecology* 160: 169-185.

- Šturm T. 2009. Kakovost sestojne karte. Kontrolna vzorčna metoda v Sloveniji - zgodovina, značilnosti in uporaba = Control sampling method in Slovenia - history, characteristic and use / Marko Kovač ... [et al.] ; [glavna urednica Špela Planinšek ; prevod Henrik Ciglič]. - Ljubljana : Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica.
- Šturm T., Fernandes P., Šumrada R. 2011. The Canadian fire weather index system and wildfire activity in the Karst forest management area, Slovenia. *European Journal of Forest Research*. 133, 3: 829-834.
- Šumrada R. 2005. Strukture podatkov in prostorske analize. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Tomppo E., Gschwantner T., Lawrence M., McRoberts R.E. (ur). 2010. National forest inventories. Pathways for common reporting. Springer: 612 str.
- Urbančič M., Ferlin F., Kutnar L. 1999. Proučevanje pestrosti in rodovitnosti gozdnih rastišč na Sežansko-Komenskem Krasu = Investigation of diversity and productivity of forest sites in the Sežana-Komen Karst region. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 58: 5-45.
- Urbančič M., Ferlin F., Kutnar L. 2001. Soil conditions in older Austrian pine stands of the lows Kras = Pedološke prilike u starijim sastojinama crnoga bora niskoga Krasa. *Glasnik za šumske pokuse* 38: 149-157.
- Urbančič M., Dakskobler I. 2001. Spremembe talnih razmer in rastlinske sestave v gozdovih črnega bora in malega jesena (*Fraxino orni-Pinetum nigrae*) ter bukve in dlakavega sleča (*Rhododendro hirsuti-Fagetum*) po požaru = Changes of soil conditions and floristic composition in Black Pine forest (*Fraxino orni-Pinetum nigrae*) and in the forest of beech and Hairy Alpenrose (*Rhododendro hirsuti-Fagetum*) after the wildfire. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 66: 95-137.
- Urbančič M. 2002. Vplivi požarov na tla v črnoborovih in v puhavčevih gozdovih slovenskega Primorja = Impacts of wildfires on soils in black pine and in pubescent oak forests of the slovenian region Primorje. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 69: 7-42.
- Urbančič M., Simončič P. 2005. Atlas gozdnih tal Slovenije, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Ljubljana.
- Urbančič M., Kutnar L., Kralj T., Kobal M., Simončič P. 2009 .Rastiščne značilnosti trajnih ploskev slovenske 16 × 16-kilometerske mreže = Site characteristics of permanent plots on the Slovenian 16 km × 16 km net. *Gozdarski vestnik* 67, 1: 17-48.
- USFS. 2011. Forest Encyclopedia Network (FEN). US Forest Service. www.forestencyclopedia.net (pridobljeno 13. 3. 2011).
- Ustin S. L., Roberts D. A., Gamon J. A., Asner G. P., Green R. O. 2004. Using imaging spectroscopy to study ecosystem processes and properties. *BioScience* 54: 523-534.
- Uredba o varstvu pred požarom v naravnem okolju. UL RS št. 26/1993, 62/1995, 4/2006.
- Van Kerm P. 2003. Adaptive kernel density estimation. *The Stata Journal* 3, 2: 148-156.
- Van Wagner C. E., Pickett T.L. 1985. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. For. Tech.Rep 33. Canadian Forest Service, Ottawa, Ontario: 18 str.
- Van Wagner C. E. 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. For. Tech. Rep. 35. Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario: 37 str.

van Wagtendonk J. W. 2007. The History and Evolution of Wildland Fire Use. *Fire Ecology* 3, 2: 3-17.

van Wagtendonk J. W., Cayan D. R. 2008. Temporal and spatial distribution of lightning in California in relation to large-scale weather patterns. *Fire Ecology* 4, 1: 34-56.

Varga T. A., Asner G. P. 2008. Hyperspectral and lidar remote sensing of fire fuels in Hawaii Volcanoes National Park. *Ecological Applications* 18: 613-623.

Viegas D. X., Sol B., Bovio G., Nosenzo A., Ferreira A. 1994. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. In Proc. 2nd Int. Conf. Forest Fire Research, Vol. II, C.05: 571-590.

Viegas D. X. 1999. Contribuição para a aferição do índice canadiano de perigo de incêndio para Portugal Continental. In Documentação destinada à interpretação do risco de incêndio calculado pelo sistema Canadano para ICN. IM, Lisboa.

Vučetić M., Vučetić V., Španjol Ž., Barčić D., Rosavec R., Mandić A. 2006. Secular variations of monthly severity rating on the Croatian Adriatic coast during the forest fire season. *Forest Ecology and Management* 234, 1: 251-261.

Wierzchowski J., Heathcott M., Flannigan M. D. 2002. Lightning and lightning fire, central cordillera, Canada. *International Journal of Wildland Fire* 11: 41-51.

Wotton B. M., Martell D. M., Logan K. A. 2003. Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario. *Climatic Change* 60: 275-295.

Wotton B. 2009. Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications. *Environmental and Ecological Statistics* 16, 2: 107-131.

ZG. 2010. Zakon o gozdovih. UL RS, št. 30/1993, 13/1998, 24/1999, 67/2002, 110/2002, 112/2006, 115/2006, 110/2007, 61/2010, 106/2010.

Zakon o varstvu pred požarom. UL RS, št. 71/93.

ZGS. 1995. Poročilo o delu Zavoda za gozdove Slovenije v letu 1994 (z opisom stanja gozdov v Sloveniji v letu 1994). Ljubljana. Zavod za gozdove Slovenije: 48 str.

ZGS. 2003. Gozdnogospodarski načrt Kraškega gozdnogospodarskega območja 2001-2010. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Sežana.

ZGS. 2010. Navodila za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah. Zavod za gozdove Slovenije. Oddelek za gozdnogospodarsko načrtovanje.

Zorn M. 1975. Gozdnovegetacijska karta Slovenije. Opis gozdnih združb. Biro za gozdarsko načrtovanje, Ljubljana.

Žlebnik A. 2007. Ukrepi varstva pred požarom iz dejavnosti Slovenskih železnic d.o.o. Slovenske železnice d.o.o.

www.sos112.si/slo/page.php?src=sv1114.htm (pridobljeno 17. 1. 2012).

PRILOGE

Priloga A: Obrazec Poročilo o požaru (PVG, 2009)

Annex A: Fire report form

PRILOGA 3

POROČILO O POŽARU				
Št. (zap. št. v GGE / takoča leto) /				
OE	KE	GGE	ODD/ODS	K.O. (šifra in ime)

Podatki o mestu nastanka gozdnega požara		
Koordinata x:	Koordinata y:	
Lokalno ime lokacije požara:		Občina:
Razvojna faza (šifra):	Mešanost (šifra):	Združba (šifra in ime):
Prevladujoča drevesna vrsta:	Lega od: _____	NMV od: _____ m; NMV do: _____ m
	Lega do: _____	Položaj v pokrajini:
St. požarne ogroženosti gozdov (šifra):	Nagib od: _____ °	Relief:
	Nagib do: _____ °	Vremenske razmere (šifra): ____ / ____ / ____
Čas nastanka požara oz. prijave požara:		Požar pogašen:
Datum: _____ Ura:(ura:minuta): _____		Datum: _____ Ura:(ura:minuta): _____
Vzrok nastanka požara (šifra in z besedo):		Ocena škode: _____ EUR
		Obnova potrebna (DA/NE):

B. Opožarjena površina (ha)	Skupaj	Javni gozd	Zasebni gozd
1. Gozdovi in grmišča			
1.1. Visoki gozd			
1.1.1. Gozdovi iglavcev			
1.1.2. Gozdovi listavcev			
1.1.3. Mešani gozdovi			
1.2. Panjevci			
1.3. Grmišča, grmičav gozd			
2. Druge površine			
1.1. Druga gozdna zemljišča			
1.2. Druge površine			

Tipi gozdnega požara po odstotkih opožarjene površine:	
Podtalni požar	%
Talni požar	%
Vršni požar (kompleksni)	%

Poškodovana lesna masa v nto m ³ :	
Iglavci	m ³
Listavci	m ³

Posebnosti:

Obrazec izpolnil: Ime in priimek: _____, dne: _____ Podpis: _____

Vnos v SPIN: Ime in priimek: _____, dne: _____ Podpis: _____

Obvezna priloga poročila je skica požara na topografski karti od M 1 : 5.000 do M 1 : 25.000.

Priloga B: Seznam vremenskih postaj
Annex B: Weather stations

Številka postaje	Kraj	X	Y	H (m)
3	KRVAVEC	464459	128255	1740
38	PLANINA POD GOLICO	427624	147445	970
48	KREDARICA	411847	137865	2514
51	RATEČE	401574	151142	864
97	BILJE	393617	84389	55
107	GODNJE	410437	68508	320
136	POSTOJNA	437588	69412	533
158	NOVA VAS NA BLOKAH	462091	69955	722
174	KOČEVJE	488690	55756	467
189	TOPOL PRI MEDVODAH	451721	105620	660
192	LJUBLJANA - BEŽIGRAD	462645	102486	299
249	NOVO MESTO	514163	73066	220
257	ČRNOMELJ - DOBLIČE	511774	46206	157
268	CELJE - MEDLOG	517778	121400	242
310	MARIBOR - TABOR	549839	155251	275
321	ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU	508908	149509	444
355	MURSKA SOBOTA - RAKIČAN	591549	168258	188
403	LESCE	436850	136011	515
452	LISCA	522410	102663	943
464	PORTOROŽ - LETALIŠČE	392163	37707	2

Priloga C: Obrazec Zavoda za gozdove Slovenije za vpisovanje podatkov o sestojih
Annex C: Slovenia forest service form for forest stands

Zavod za gozdove Slovenije, april 2000

GE **OPIS SESTOJA ŠT.** /

Razvojna faza	Zasnova (ml., drog.)	Sklep	Pomladek % površ.	Negov. zasnova	Negov.	Vrsta poseka

Drevesna sestava

DV	% LZ	ml. poml.:	% pov.

Drevesne vrste pod 1% LZ:

Ukrepi:

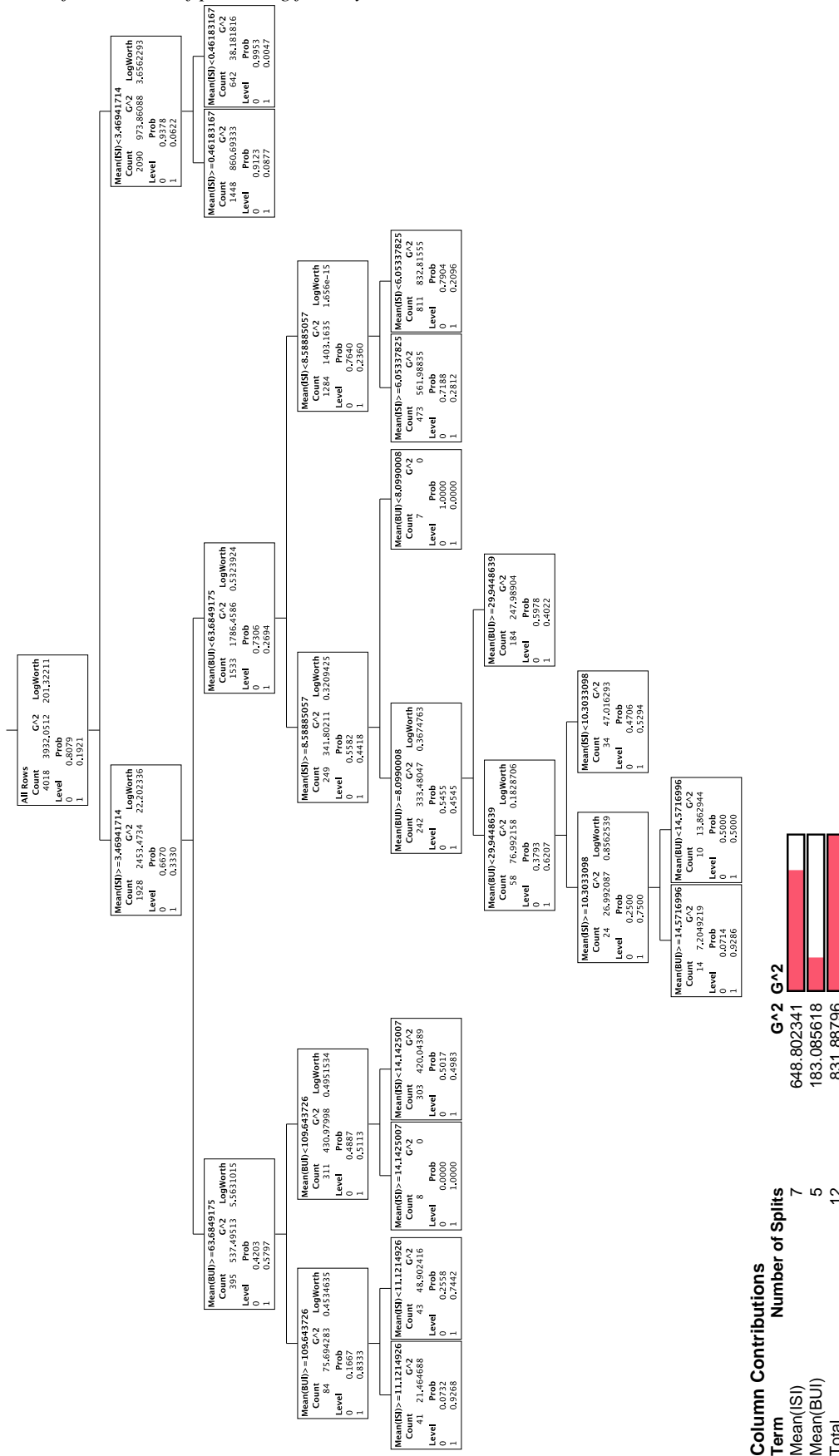
Odsek	Obl. last.		Možni posek %		Gojitvena in varstvena dela																			
	šifra	%	Iglavci	Listavci	Ukrep				ha				%				p							

LZ (m³/ha):

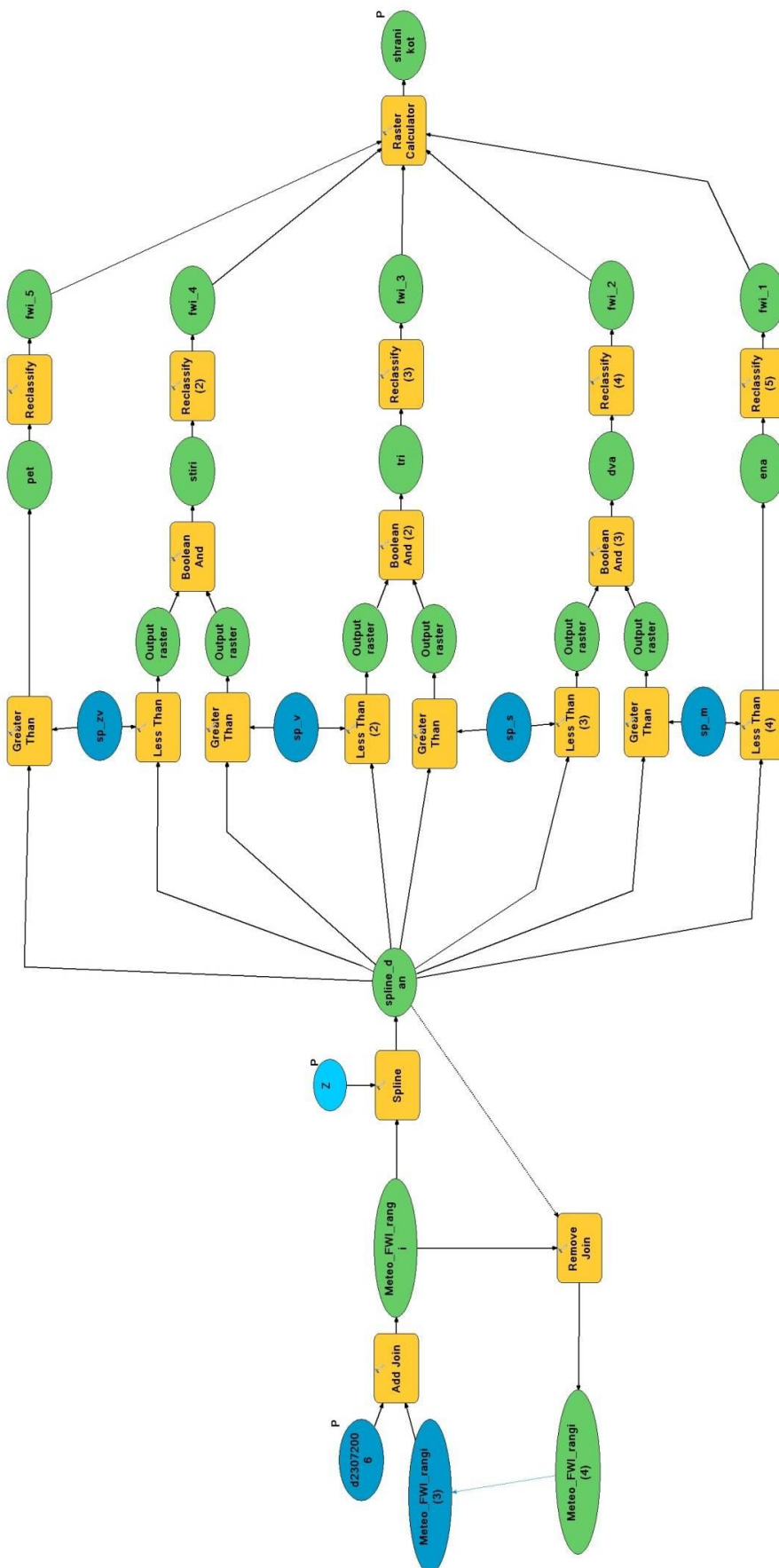
	Iglavci	Listavci
I		
II		
III		
IV		
V		
	100	100

Usmeritev:

Priloga E: Klasifikacijsko drevo napovedovanja požarnih dni
Annex E: Classification tree of predicting fire days



Priloga F: Model za izdelavo interpolirane ploskve z metodo zlepkov (*spline*)
 Annex F: Scheme of the model to make interpolated surfaces with Spline method



Priloga G: Python koda modela zlepkov

Annex G: Spline model python code

```

<< # -----
# spline.py
# Created on: 2011-06-21 16:44:14.00000
# (generated by ArcGIS/ModelBuilder)
# Usage: spline <d23072006> <Z_value_field> <shrani_kot>
# Description:
# -----

# Import arcpy module
import arcpy

# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("spatial")

# Set Geoprocessing environments
arcpy.env.snapRaster = "dmv50_meja"
arcpy.env.extent = "375209,199937786 30853,1799593905 624065,300062214 193291,000040609"
arcpy.env.cellSize = "sp_s"
arcpy.env.mask = "sp_m"

# Script arguments
d23072006 = arcpy.GetParameterAsText(0)
if d23072006 == '#' or not d23072006:
    d23072006 = "d23072006" # provide a default value if unspecified

Z_value_field = arcpy.GetParameterAsText(1)
if Z_value_field == '#' or not Z_value_field:
    Z_value_field = "d23072006.FWI" # provide a default value if unspecified

shrani_kot = arcpy.GetParameterAsText(2)
if shrani_kot == '#' or not shrani_kot:
    shrani_kot = "U:\\Tomas\\FWI\\Slo_model\\FWI.gdb\\spline_fwi_dan" # provide a default value if
    unspecified

# Local variables:
sp_m = "sp_m"
sp_s = "sp_s"
sp_v = "sp_v"
sp_zv = "sp_zv"
Meteo_FWI_rangi__3_ = "Meteo_FWI_rangi"
Meteo_FWI_rangi = d23072006
Meteo_FWI_rangi__4_ = Meteo_FWI_rangi
spline_dan = Meteo_FWI_rangi
pet = spline_dan
fwi_5 = pet
Output_raster__2_ = spline_dan
stiri = Output_raster__2_
fwi_4 = stiri
Output_raster__3_ = spline_dan
Output_raster__4_ = spline_dan
tri = Output_raster__4_
fwi_3 = tri
Output_raster__5_ = spline_dan
Output_raster__6_ = spline_dan
dva = Output_raster__6_
fwi_2 = dva
Output_raster__7_ = spline_dan

```

```
ena = spline_dan
fwi_1 = ena

# Process: Add Join
arcpy.AddJoin_management(Meteo_FWI_rangi__3_, "Postaja", d23072006, "Postaja", "KEEP_ALL")

# Process: Spline
tempEnvironment0 = arcpy.env.snapRaster
arcpy.env.snapRaster = "dmv50_meja"
tempEnvironment1 = arcpy.env.extent
arcpy.env.extent = "375193,75 30818,75 624693,75 193818,75"
tempEnvironment2 = arcpy.env.cellSize
arcpy.env.cellSize = "500"
tempEnvironment3 = arcpy.env.mask
arcpy.env.mask = "s1_spline_t018"
arcpy.gp.Spline_sa(Meteo_FWI_rangi, Z_value_field, spline_dan, "500", "TENSION", "5", "8")
arcpy.env.snapRaster = tempEnvironment0
arcpy.env.extent = tempEnvironment1
arcpy.env.cellSize = tempEnvironment2
arcpy.env.mask = tempEnvironment3

# Process: Remove Join
arcpy.RemoveJoin_management(Meteo_FWI_rangi, "d23072006")

# Process: Greater Than Equal
arcpy.gp.GreaterThanEqual_sa(spline_dan, sp_zv, pet)

# Process: Reclassify
arcpy.gp.Reclassify_sa(pet, "VALUE", "0 0;1 5", fwi_5, "DATA")

# Process: Less Than
arcpy.gp.LessThan_sa(spline_dan, sp_zv, Output_raster__2_)

# Process: Greater Than Equal (2)
arcpy.gp.GreaterThanEqual_sa(spline_dan, sp_v, Output_raster__3_)

# Process: Boolean And
arcpy.gp.BooleanAnd_sa(Output_raster__2_, Output_raster__3_, stiri)

# Process: Reclassify (2)
arcpy.gp.Reclassify_sa(stiri, "VALUE", "0 0;1 4", fwi_4, "DATA")

# Process: Less Than (2)
arcpy.gp.LessThan_sa(spline_dan, sp_v, Output_raster__4_)

# Process: Greater Than Equal (3)
arcpy.gp.GreaterThanEqual_sa(spline_dan, sp_s, Output_raster__5_)

# Process: Boolean And (2)
arcpy.gp.BooleanAnd_sa(Output_raster__4_, Output_raster__5_, tri)

# Process: Reclassify (3)
arcpy.gp.Reclassify_sa(tri, "VALUE", "0 0;1 3", fwi_3, "DATA")

# Process: Less Than (3)
arcpy.gp.LessThan_sa(spline_dan, sp_s, Output_raster__6_)

# Process: Greater Than Equal (4)
arcpy.gp.GreaterThanEqual_sa(spline_dan, sp_m, Output_raster__7_)
```



```
# Process: Boolean And (3)
arcpy.gp.BooleanAnd_sa(Output_raster__6_, Output_raster__7_, dva)

# Process: Reclassify (4)
arcpy.gp.Reclassify_sa(dva, "VALUE", "0 0;1 2", fwi_2, "DATA")

# Process: Less Than (4)
arcpy.gp.LessThan_sa(spline_dan, sp_m, ena)

# Process: Reclassify (5)
arcpy.gp.Reclassify_sa(ena, "VALUE", "0 0;1 1", fwi_1, "DATA")

# Process: Raster Calculator
arcpy.gp.RasterCalculator_sa("\%fwi_5%\+"\%fwi_4%\+"\%fwi_3%\+"\%fwi_2%\+"\%fwi_1%",
shrani_kot)
```

Priloga H: Seznam izbranih sestojev za terenski ogled
Annex H: List of selected forest stands for field visit

Odsek	Sestoj	Površina (ha)	Razvojna faza	Sestojni sklep	Lesna zaloga iglavcev (m³)	Lesna zaloga listavcev (m³)
02038	J016	3,90	03	3	732,00	32,00
02039A	J003	3,79	02	3	0,00	267,00
02056	A102	7,03	02	1	577,00	121,00
02075	G029	15,81	04	4	0,00	740,00
02077B	G123	1,94	08	4	9,00	124,00
02110B	M189	0,12	02	1	28,00	0,00
02135B	M010	0,87	02	2	21,00	23,00
03013A	R345	2,46	02	2	0,00	429,00
03078B	B247	3,50	02	2	650,00	0,00
04036	A026	0,01	02	1	0,00	3,00
06117B	R293	12,62	02	2	45,00	1469,00
06127B	A050	19,69	02	1	289,00	3846,00
07136B	V289	5,45	03	1	1274,00	46,00
08033A	P097	10,49	02	2	0,00	2062,33
09036	F216	1,29	01	4	0,00	0,00
09055A	B235	0,76	07	3	0,00	30,40
09113B	F596	23,77	07	2	285,24	1616,36
09146B	B699	2,06	02	2	0,00	103,81
09152A	F654	8,63	02	2	38,84	1255,71
09168B	G619	10,60	09	3	0,00	424,00

Priloga I: Rezultati metode najmanjših kvadratov v programskem paketu ArcGIS
Annex I: Summary of Ordinary Least Squares results in program ArcGIS

```

Summary of OLS Results
t-statistic Probability Robust_t Robust_Pr Robust_SE Robust_t Robust_Pr VIF [1]
Intercept 0,048172 0,006344 7,593684 0,000000* 0,006968 6,912825 0,000000* -----
LZ_HA -0,000045 0,000013 -3,392618 0,000711* 0,000009 -4,824935 0,000002* 1,426502
H -0,000049 0,000007 -6,724597 0,000000* 0,000007 -6,946710 0,000000* 1,130321
DEL_LST -0,000408 0,000050 -8,161888 0,000000* 0,000047 -8,731136 0,000000* 2,473449
VP_SW -0,007916 0,003133 -2,526430 0,011524* 0,002821 -2,805991 0,005027* 1,468837
DP_SW 0,006632 0,003491 1,899466 0,057523 0,003457 1,918074 0,05120 1,408336
SKLEP 0,001451 0,001646 0,881605 0,377992 0,001794 0,808904 0,418572 1,050685
DREVO 0,000524 0,000091 5,738872 0,000000* 0,000078 6,733202 0,000000* 2,569841
RF 0,000747 0,000704 1,060937 0,288729 0,000796 0,938295 0,348095 1,103592

Input Features:
Number of Observations: 13024
Multiple R-squared [2]: 0,012969
Joint F-Statistic [3]: 21,375667
Joint Wald Statistic [4]: 157,319289
Koenker (BP) Statistic [5]: 173,906969
Jarque-Bera Statistic [6]: 803514,581939

SESTG_model 13024
Dependent variable: OGENJ
Akaïke's Information Criterion (AICC) [2]: -12310,219745
Adjusted R-squared [2]: 0,012362
Prob(>F), (8,13015) degrees of freedom: 0,000000*
Prob(>chi-squared), (8) degrees of freedom: 0,000000*
Prob(>chi-squared), (8) degrees of freedom: 0,000000*
Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom: 0,000000*

OLS Diagnostics
Notes on Interpretation
* Statistically significant at the 0.05 level.
[1] Large VIF (> 7.5, for example) indicates explanatory variable redundancy.
[2] Measure of model fit/performance.
[3] significant p-value indicates overall model significance.
[4] significant p-value indicates robust overall model significance.
[5] significant p-value indicates biased standard errors; use robust estimates.
[6] significant p-value indicates residuals deviate from a normal distribution.

```