

METEOROLOŠKI KAZALNIK POŽARNE OGROŽENOSTI GOZDOV V SLOVENIJI

dr. Tomaž Šturm

*Spatial mind, Tomaž Šturm s. p., Ojstri Vrh 2, SI – 4228 Železniki, Slovenija
tomas@qgis.si*

dr. Nikica Ogris

*Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija
nikica.ogris@gozdis.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4058-9417>*

DOI: 10.3986/NN0504

UDK: 550.50:630*4(497.4), 630*4(497.4)

IZVLEČEK

Meteorološki kazalnik požarne ogroženosti gozdov v Sloveniji

Razvili smo sistem za samodejni izračun dnevne napovedi požarne ogroženosti gozdov z uporabo kanadskega meteorološkega kazalnika požarne ogroženosti (CFFWIS). Sistem smo preskusili na Kraškem gozdnogospodarskem območju in ugotovili njegovo uporabnost v protipožarni zaščiti. Na podlagi tega smo razvili CFFWIS za celotno Slovenijo. Del tega sistema sta spletni aplikaciji za pregled dnevnih napovedi požarne ogroženosti gozdov v Sloveniji na podlagi uporabe meteoroloških modelov ALADIN in INCA. Sistem INCA na podlagi boljše prostorske ločljivosti nekoliko bolje napoveduje požarno ogroženost in posledično nastanek požara v naravi. Po drugi strani pa napoved požarne ogroženosti s podatki meteorološkega modela ALADIN omogoča napoved za tri dni vnaprej.

KLJUČNE BESEDE

požarna ogroženost, požarna nevarnost, vreme, CFFWIS, FWI, ALADIN, INCA, model

ABSTRACT

Forest fire weather index system in Slovenia

We have developed a system to calculate the daily forest fire risk prediction using the Canadian Forest Fire Weather Index System (CFFWIS). The system was tested in the Karst Forest Management Unit and showed its applicability in forest fire protection and prevention. Consequently, we have developed a CFFWIS for the whole Slovenia. The system consists of two web applications showing forest fire risk on daily basis using meteorological data from ALADIN and INCA models. INCA system better predicts fire risk because of better spatial resolution. On the other hand, forest fire prediction with the ALADIN model enables forecasts for three days ahead.

KEY WORDS

forest fire danger, fire risk, weather, CFFWIS, FWI, ALADIN, INCA, model

1 Uvod

Pri upravljanju z gozdnimi požari uporabljamo računalniške modele za napovedovanje verjetnosti pojavljanja, hitrost širjenja in velikosti pogorelih območij. Požarne modele lahko uporabljamo (Stocks s sodelavci 1989; Agee in Skinner 2005; Bodrožič, Marasović in Stipaničev 2005; Andrews 2007; Wotton 2009):

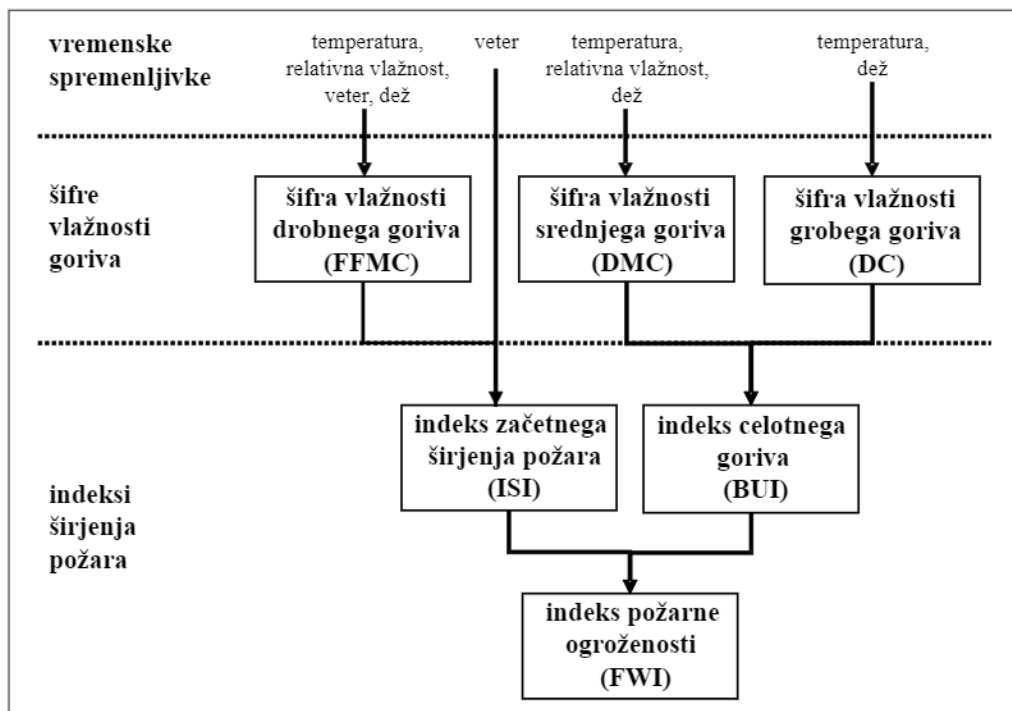
- a) pred požarom za izračun požarne ogroženosti, kar lahko pomaga pri gospodarjenju z gozdovi in gasilcem, da se osredotočijo na požarno bolj ogrožena območja,
- b) pred požarom za usposabljanje gasilcev in razvijanje ustreznih gasilskih vaj,
- c) v času trajanja požara za načrtovanje gašenja, kar lahko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

Med naloge upravljanja z gozdnimi požari sodijo: napovedovanje požarne ogroženosti (verjetnost pojavljanja požarov), spreminjanje okolja, v katerem požar gori in gašenje majhnih požarov, preden bi postali veliki (Pyne, Andrews in Laven 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 kazalnikov (Viegas s sodelavci 1994) do bolj zapletenih sistemov, ki temeljijo na raziskavah širjenja požarov (Fujioka s sodelavci 2008). V drugo skupino metod sodi 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. Njegov podsistem CFFWIS (*Canadian Forest Fire Weather Index System*) določa oceno požarne ogroženosti kot stopnjo težavnosti nadzovanja ognja. Primerjalne analize so pokazale, da je CFFWIS primeren za uporabo na območju Sredozemlja (Viegas s sodelavci 1994). Evropski informacijski sistem za gozdne požare (*European Forest Fire Information System* – EFFIS) za napovedovanje požarne ogroženosti v Evropi uporablja CFFWIS in meteorološke podatke Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – ECMWF) ter francoske (*MeteoFrance*) in nemške meteorološke službe (*Deutscher Wetterdienst* – DWD) (EC 2019). CFFWIS uporabljajo na Portugalskem (Viegas 1999), preizkušen je bil med drugim v naravnem parku Montesinho (Raíña in Fernandes 2002), na Kreti (Dimitrakopoulos, Bemmerzouk in Mitsopoulos 2011), v Italiji (Cane s sodelavci 2008), v Hrvaškem primorju (Vučetić s sodelavci 2006) in v Sloveniji (Šturm, Fernandes in Šumrada 2011). Študije o vplivu podnebnih sprememb na pojavnost gozdnih požarov uporabljajo kanadski sistem tudi kot standardno orodje za vrednotenje relativne spremembe požarne aktivnosti, predvidene v različnih prihodnjih podnebnih scenarijih (Fujioka s sodelavci 2008).

Namen študije je povzeti dosedanje raziskave o meteorološkem kazalniku požarne ogroženosti gozdov v Sloveniji in nakazati nadaljnji razvoj na tem področju.

2 Kanadski meteorološki kazalnik požarne ogroženosti

Kanadski meteorološki kazalnik požarne ogroženosti gozdov CFFWIS je sestavni del kanadskega sistema za ocenjevanja nevarnosti gozdnih požarov (CFFDRS), ki ga kanadski Zavod za gozdove razvija od leta 1968 (Stocks s sodelavci 1989). Meteorološke spremenljivke so temeljni vhodni podatki (slika 1) in so skupaj s kazalniki CFFWIS potrebni tudi za izračun rezultatov sistema za napovedovanje širjenja gozdnih požarov (*Canadian Forest Fire Behavior Prediction System* – FBP), ki je drugi del sistema CFFDRS. CFFWIS je sestavljen iz šestih kazalnikov vlažnosti goriva in širjenja požara ter računa vpliv vlažnosti goriva in vetra na širjenje požara v standardnem tipu goriva (odrasel borov sestoj) (Van Wagner 1987).



Slika 1: Kazalniki CFFWIS (CWFIS 2019).

Za izračun dejanske požarne ogroženosti gozdov uporabljamo podatke o meteoroloških spremenljivkah, merjenih na vremenskih postajah. Temperatura zraka (v °C), relativna vlažnost zraka (%), hitrost vetra (km/h) in višina padavin (mm) so tiste spremenljivke, ki se v CFFWIS uporabljajo za izračun požarne ogroženosti. CFFWIS navadno računamo z vrednostmi omenjenih spremenljivk, zabeleženih ob 12. uri (Van Wagner 1987; Lawson in Armitage 2008). Iz meteoroloških spremenljivk izračunamo tri kazalnike vlažnosti goriva (Van Wagner 1987):

- kazalnik vlažnosti drobnega goriva (*Fine Fuel Moisture Code* – FFMC), ki predstavlja vsebnost vlage v drobnem gorivu na površini gozdnih tal – horizont O1, ki ga sestavlja rastlinski opad: listje, iglice, vejice in drugi rastlinski ostanki,
- kazalnik vlažnosti srednjega goriva (*Duff Moisture Code* – DMC), ki predstavlja vsebnost vlage v zgornjih plasteh gozdnih tal, kjer se drobno gorivo (opad) začne razkrajati – horizont *Of* iz delno razkrojenih rastlinskih ostankov, katerih poreklo se še razloči,
- kazalnik vlažnosti grobega goriva (*Drought Code* – DC), ki predstavlja vsebnosti vlage v globljih plasteh gozdnih tal in v velikih lesnih ostankih ter odmrli lesni biomasi na gozdnih tleh.

Izračunamo tudi tri kazalnike širjenja požara:

- kazalnik začetnega širjenja (*Initial Spread Index* – ISI), ki je kombinacija hitrosti vetra in FFMC in predstavlja hitrosti širjenja požara brez vpliva spremenljivke o količini goriva,
- kazalnik celotnega goriva (*Build-Up Index* – BUI), ki je kombinacija DMC in DC in predstavlja količino goriva, ki je na voljo za širjenje požara,
- kazalnik požarne ogroženosti gozdov (*Fire Weather Index* – FWI), ki je kombinacija kazalnikov ISI in BUI in predstavlja intenzivnost širjenja požara ter je kazalnik splošne požarne ogroženosti.

Trije kazalniki vlažnosti goriva (FFMC, DMC, DC) sledijo dnevnim spremembam vsebnosti vlage v treh kategorijah gozdnega goriva z različnimi stopnjami sušenja. Vsak kazalnik vlažnosti se izračuna v dveh delih – posebej za mokrenje z dežjem in za sušenje. Kazalniki so urejeni tako, da višje vrednosti predstavljajo nižje vsebnosti vlage ter s tem večjo vnetljivost (Van Wagner 1987). Vmesna kazalnika širjenja požara (ISI, BUI) predstavljata stopnjo širjenja in količino razpoložljivega goriva. Končni kazalnik širjenja požara je kazalnik FWI, ki združuje vmesna kazalnika (ISI in BUI) in predstavlja intenzivnost širjenja požara. Uporablja se kot splošni kazalnik požarne ogroženosti (Lawson in Armitage 2008).

Pred začetkom izračuna kazalnikov CFFWIS je treba za kazalnik vlažnosti goriva določiti začetne vrednosti. Lawson in Armitage (2008) za Evropo priporočata uporabo enakih začetnih standardnih vrednosti, kot se uporabljajo v Kanadi (FFMC = 85, DMC = 6, DC = 15). Šest standardnih kazalnikov sistema meteorološke požarne ogroženosti zagotavlja številčno oceno verjetnosti nastanka gozdnega požara. Za vsak kazalnik je dnevno določena ena vrednost, zato sistem ne kaže urnih sprememb, niti ne upošteva sprememb v vrsti goriva med letnimi časi ali od kraja do kraja. CFFWIS je odvisen od vremenskih razmer in ne upošteva razlik v vzroku nastanka požara, vrsti goriva in topografiji. 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, Flannigan in Van Wagner 1983; Amiro s sodelavci 2004; Šturm, Fernandes in Šumrada 2011). Glede na vrednosti kazalnika FWI in napovedi vremena je mogoča tudi napoved požarne ogroženosti za naprej.

3 Preverjanje meteorološkega kazalnika požarne ogroženosti na Kraškem gozdnogospodarskem območju

Meteorološki kazalnik požarne ogroženosti je bil v Sloveniji prvič preverjen na Kraškem gozdnogospodarskem območju (Kraško GGO), kar so podrobno predstavili Šturm, Fernandes in Šumrada (2011) ter Šturm (2013). V nadaljevanju je prikazan povzetek te raziskave.

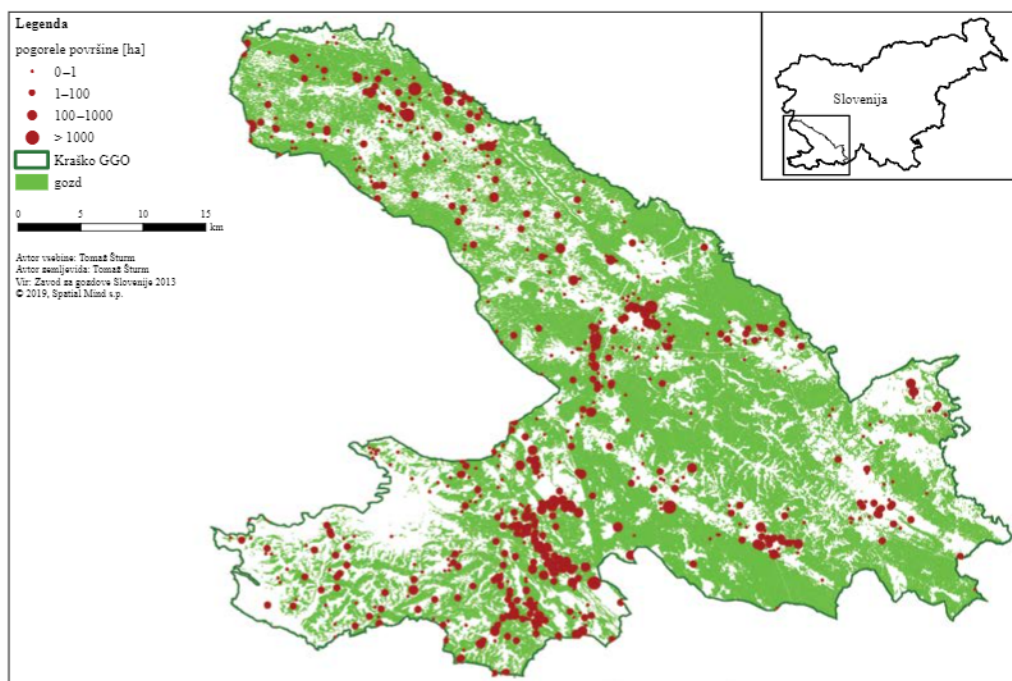
3.1 Izbira študijskega območja

Podatki o pretekli požarni aktivnosti nam glede na njeno časovno in prostorsko porazdelitev omogočajo razumevanje glavnih značilnosti ter dinamiko gozdnih požarov (Carvalho s sodelavci 2008). Jakša (1997) 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 drugačna (Košir 1997). Jakša (1997) je pregledal število gozdnih požarov in pogorelih zemljišč v obdobju od 1988 do 1996 in izpostavil Kraško GGO, kjer se je v obravnavnem obdobju zgodilo 50 % gozdnih požarov, velikost pogorišč pa je bila kar 90 % velikosti vseh pogorišč v Sloveniji. Odločili smo se, da bomo v raziskavi uporabili podatke o gozdnih požarih, ki jih zbira Zavod za gozdove Slovenije (ZGS), za obdobje od 1. 1. 1995 do 31. 12. 2009. Po njihovih podatkih je bilo v tem obdobju na Kraškem GGO 66 % vseh požarov v Sloveniji, pogorela zemljišča pa predstavljajo kar 78 % vseh pogorelih zemljišč v Sloveniji.

Ker smo po pregledu pretekle požarne aktivnosti v Sloveniji ugotovili, da je Kraško GGO, ki pokriva Kras, obalni del in slovensko Istro, požarno najbolj ogroženo, smo ga izbrali za študijsko območje raziskave (Šturm 2013).

3.2 Podatki o gozdnih požarih

Za prikaz požarne aktivnosti na študijskem območju smo uporabili podatkovno zbirko o požarih v študijskem obdobju 1. 1. 1995–31. 12. 2009, ki smo jo pridobili na ZGS. Podatki se zbirajo skladno s Pravilnikom o varstvu gozdov (2009) na obrazcu »Poročilo o požaru«. Poročilo o požaru vsebuje podatke o značilnostih mesta nastanka požara, lokaciji, času nastanka in času pogasitve požara, opožarjeni površini (ha) glede na vrste gozdov, poškodovani lesni masi (m³) in tipu gozdnega požara (podtalni, talni in vršni). V podatkovni zbirki o gozdnih požarih je popisanih 1345 požarov, od katerih se jih je na študijskem območju zgodilo 882. Iz zbranih podatkov smo izločili podatke o enajstih gozdnih požarih, pri katerih ni bil vpisan datum začetka požara. Na študijskem območju je bilo zabeleženih 871 požarov s skupnimi pogorelimi zemljišči 6046,9 ha. Požari so se pojavili v 592 različnih dnevih, od tega je bil v 181 dnevih zabeležen več kot en požar dnevno (Šturm 2013).



Slika 2: Lokacije gozdnih požarov na študijskem območju (1995–2009) (vir: ZGS).

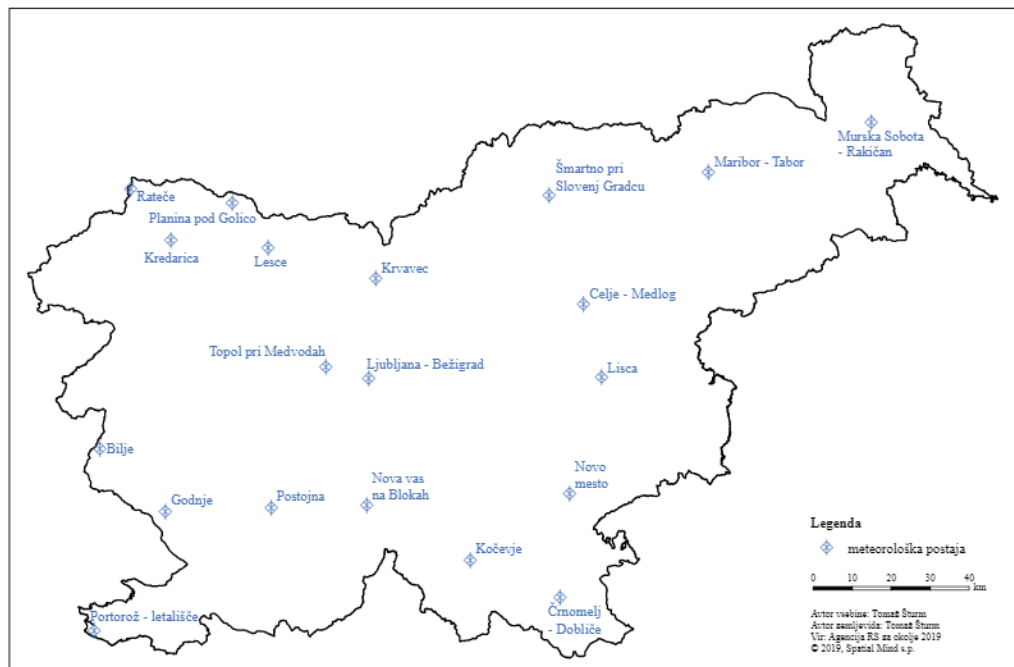
3.3 Podatki o meteoroloških spremenljivkah

V raziskavi smo uporabili podatke tistih postaj v Sloveniji, na katerih merijo vse štiri za izračun CFFWIS potrebne vremenske spremenljivke (temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, padavine in veter) in so imele v obdobju 1. 1. 1995–31. 12. 2009 (15 let) neprekinjen niz opazovanj (izbrali smo meteorološke postaje 1. reda in podnebne postaje). Ker opazovalci na podnebnih postajah omenjene spremenljivke v popoldanskem času beležijo le ob 14. uri (srednjeevropski čas) pri izračunu CFFWIS glede izbire časa nismo mogli slediti osnovni metodologiji (Van

Wagner 1987; Lawson in Armitage 2008). Podatki, ki smo jih pridobili za posamezno postajo in se nanašajo na 14. uro, so (Šturm 2013):

- temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$),
- relativna vlažnost zraka (%),
- hitrost vetra (podatki so podani v m/s in smo jih preračunali v km/h),
- višina padavin (mm).

Po pregledu podatkov o meteoroloških spremenljivkah, ki imajo 15-letni neprekinjen niz opazovanj, smo za Slovenijo izbrali dvajset meteoroloških postaj, katerih podatke o meteoroloških spremenljivkah smo uporabili v nadaljnjih analizah. Podatkov o meteoroloških spremenljivkah iz sosednjih držav za obdobje raziskave nismo uporabili. Za ocenjevanje točnosti CFFWIS smo uporabili le vrednosti meteoroloških spremenljivk meteoroloških postaj s Kraškega GGO (Bilje, Godnje, Postojna, Portorož – letališče) (Šturm 2013).



Slika 3: Izbrane meteorološke postaje Agencije Republike Slovenije za okolje (vir: Agencija Republike Slovenije za okolje).

Za vseh dvajset izbranih meteoroloških postaj v Sloveniji smo za vsak dan izračunali kazalnike CFFWIS. Iz podatkov smo na podlagi percentilne metode (Helfman, Straub in Deeming 1987; Andrews, Loftsgaarden in Bradshaw 2003), določili stopnje požarne ogroženosti, jih primerjali s časovnim pojavljanjem preteklih požarov in za Kraško GGO ocenili njegovo točnost. Na študijskem območju obstajata dva letna vrhunca pojavljanja požarov (konec zime in poleti), kazalnik FWI pa ima zgolj en vrh, ki sovpada s pojavljanjem požarov poleti (Šturm 2013). Kljub temu je CFFWIS pokazal zadovoljivo stopnjo natančnosti določanja dneva, v katerem se bo pojavil požar. V več kot 50 % dni, za katere je bila izračunana zelo velika stopnja požarne ogroženosti, se je gozdni požar pojavil (Šturm 2013).

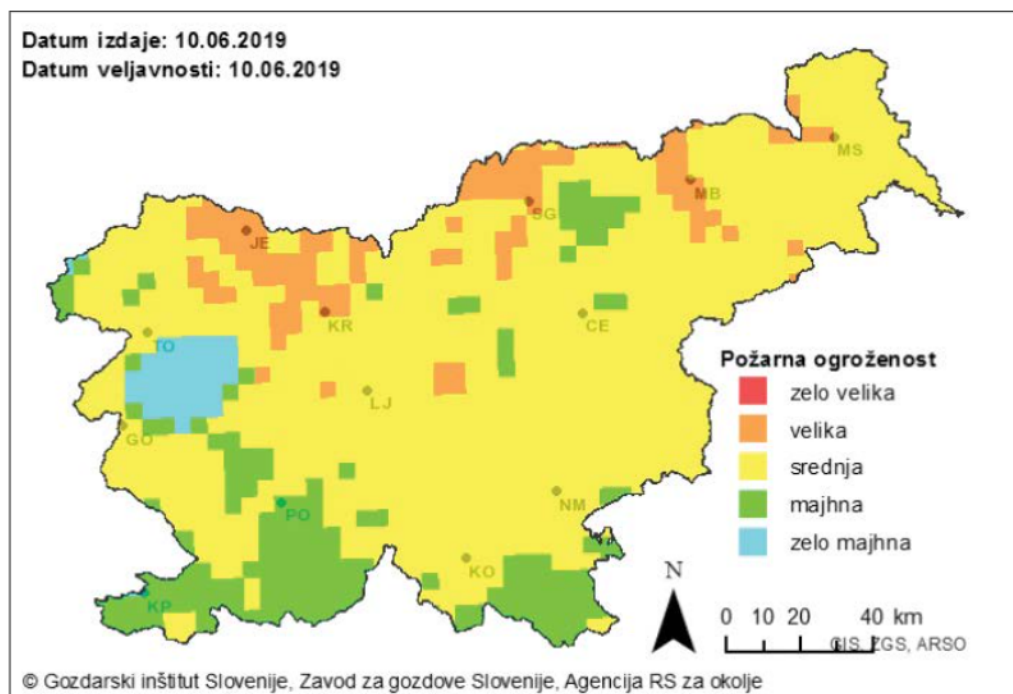
Z metodo logistične regresije (Hosmer in Lemeshow 2000) smo ugotovili, da je kazalnik ISI najbolj povezan s pojavljanjem požarov. Kazalnik ISI, ki združuje vlažnost drobnega goriva na

gozdnih tleh (kazalnik FFMC) in hitrost vetra, je pojasnil največji del pojavljanja požarov na študijskem območju. Na podlagi tega sklepamo, da je pojavljanje gozdnih požarov na študijskem območju odvisno predvsem od trenutnih vremenskih razmer. Kazalnika ISI in BUI v različnih kombinacijah, določenih z odločitvenim drevesom, izkazujeta veliko natančnost določanja dneva, v katerem se bo pojavil požar. Vendar je bila verjetnost napovedi požarnega dneva podcenjena s strani kazalnikov 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 Raínha in Fernandes (2002) za severovzhodno Portugalsko. Večja časovna natančnost napovedovanja pojavljanja požarov bi morala temeljiti na bolj celovitejših pristopih, kjer bi morala odločitvena drevesa upoštevati tudi tipe gorov in časovne vzorce uporabe ognja na podeželskih območjih (Šturm 2013).

Z vidika pojavljanja požarov na študijskem območju smo za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti CFFWIS ocenili kot uporabnega (Šturm, Fernandes in Šumrada 2011; Šturm 2013). 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 na študijskem območju najpogostejša drevesna vrsta (ZGS 2012).

4 Sistem CFFWIS z uporabo podatkov modela ALADIN

Rezultati raziskave uporabe CFWIS na študijskem območju so nas spodbudili k razširitvi sistema na vso Slovenijo, za kar smo zgradili sistem za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti gozdov na podlagi izračunov meteorološkega modela ALADIN (Ogris in Šturm 2014). ALADIN je številčni

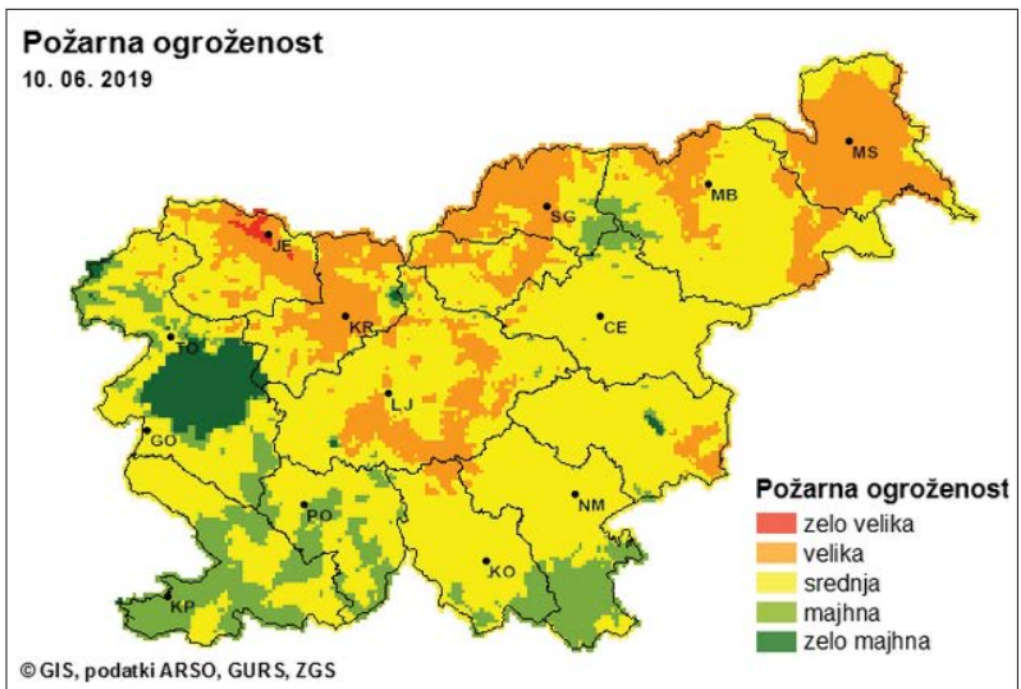


Slika 4: Prikaz napovedi požarne ogroženosti sistema FWI-ALADIN za dan 10. 06. 2019 (Medmrežje 1).

meteorološki model za računanje prihodnjega stanja ozračja nad omejenim geografskim območjem (Pristov s sodelavci 2012). Model ALADIN na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) vsakodnevno uporabljajo kot primarni meteorološki model za kratkoročno napoved vremena na območju Slovenije, ki služi kot podlaga za pripravo meteorološke in hidrološke napovedi. Osnovo modela ALADIN predstavljajo fizikalne enačbe, ki so zapisane v spektralnem prostoru. Prihodnje modelsko stanje oziroma napoved dobimo s časovno integracijo enačb. Poleg podatkov o meteoroloških spremenljivkah ALADIN v izračunih uporablja še podatke o nadmorski višini, hrapavosti površja, tipu tal (vodne površine ali trdna tla, delež peska in zemlje) in drugih fiziografskih lastnostih, ki vplivajo na izmenjavo energijskih tokov med tlemi in ozračjem. Podrobnejša napoved z modelom ALADIN je mogoča za tri dni (72 ur) vnaprej (Pristov s sodelavci 2012). Iz modela ALADIN dobimo podatke o meteoroloških spremenljivkah v mreži rastrskih celic velikost približno 4×4 km. Na podlagi teh podatkov smo izračunali šest standardnih kazalnikov meteorološke požarne ogroženosti, ki zagotavljajo številčno oceno verjetnosti nastanka gozdnega požara. Te podatke smo uporabili za izračun meteorološkega kazalnika požarne ogroženosti gozdov na ravni Slovenije. Izračuni kazalnika meteorološke požarne ogroženosti se na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS) obnavljajo dnevno, njegove napovedi pa so javno objavljene na spletni strani (Medmrežje 1; Ogris in Šturm 2014).

5 Sistem CFFWIS z uporabo podatkov modela INCA

Na ARSO so skupaj s partnerji INCA-CE razvili model INCA (*Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis*), ki za kratkoročno napoved vremena tudi uporablja podatke modela ALADIN (Šajn Slak, Kršmanc in Merše 2012). Posledično smo tudi mi razvili model FWI-INCA, ki napoveduje



Slika 5: Prikaz napovedi požarne ogroženosti sistema FWI-INCA za dan 10. 06. 2019 (Medmrežje 2).

dnevno verjetnost nastanka gozdnega požara v prostorski ločljivosti 1×1 km. Za izračun uporabljamo podatke modela INCA/SI (ARSO) (Ogris 2018a). Model INCA je model za izračun zelo kratkoročnih ali zdajšnjih (*nowcasting*) meteoroloških napovedi v visoki prostorski in časovni ločljivosti. INCA uporablja kot prvi približek stanja v ozračju prostorska polja meteoroloških spremenljivk številčnega meteorološkega modela (ALADIN). Temu sledi 3-razsežnostna fizikalna konsistentna analiza v visoki krajevni ločljivosti (1 km). To je podlaga za kratkoročno napoved meteoroloških spremenljivk za 12 ur naprej. Ključno je, da so izračuni dovolj hitri, da so lahko analize in napovedi dostopne v dejanskem ali zelo blizu dejanskega časa, kar omogoča tudi pogosto obnavljanje (Pristov s sodelavci 2012).

Vhodni podatki za izračun CFFWIS v model INCA so temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, hitrost vetra na višini 10 m in 24-urna višina padavin (mm). Te podatke dobimo iz napovedi modela INCA/SI. Večina podatkov iz modela INCA/SI se osveži vsako uro, le podatki o padavinah se osvežijo vsake pol ure. Temu primerno je prilagojen tudi izračun sistema CFFWIS, ki se samodejno izračuna in posodablja od 3. ure do 13. ure. Bližje smo 12. uri, zanesljivejše so napovedi. Rezultati sistema FWI-INCA so prosto dostopni v spletni aplikaciji (Med mreže 2; Ogris 2018b).

6 Preverjanje sistemov

Po izdelavi sistemov nas je zanimala njihova točnost napovedovanja dejanske požarne ogroženosti gozdov. Naredili smo primerjavo med preteklim pojavljanjem gozdnih požarov in sistemoma FWI-INCA in FWI-ALADIN (Ogris 2018a) ter preverjali točnost napovedi med obema sistemoma. Točnost smo preverjali z zbranimi podatki o gozdnih požarih, ki jih ZGS beleži v računalniškem programu Varstvo gozdov (Ogris 2012). Povzetki raziskave (Ogris 2018a) so predstavljeni v nadaljevanju.

Za preverjanje sistemov FWI-INCA in FWI-ALADIN smo vključili vse gozdne požare, ki so nastali v obdobju 10. 11. 2015–10. 8. 2018 in so bili zbrani v računalniškem programu Varstvo gozdov. Takšnih požarov je bilo skupaj 224. Pri treh požarih je manjkala napoved sistema FWI-ALADIN, zato smo jih izključili iz analize. V končno preverjanje je bilo vključenih 221 požarov. Povprečna površina gozdnega požara v obravnavanem obdobju je bila 4,51 ha, največja pa 459,43 ha (Ogris 2018a).

Za preverjanje točnosti napovedi sistemov smo uporabili preprosto razvrščanje frekvence pojavljanja gozdnih požarov po različnih stopnjah požarne ogroženosti FWI. Za izbrane gozdne požare je bil 95 % interval zaupanja FWI-INCA $11,3 \pm 1,3$, FWI-ALADIN pa je bil nižji, tj. $8,5 \pm 0,9$. S t-testom smo preskusili, ali sta srednji vrednosti FWI-INCA in FWI-ALADIN enaki in ugotovili, da sta statistično različni ($p < 0,001$). Analiza po stopnjah požarne ogroženosti je pokazala, da sta imela oba načina izračuna CFFWIS več kot polovico primerov gozdnih požarov razporejenih v zelo majhni in majhni stopnji požarne ogroženosti. Izračun FWI-ALADIN jih je imel za 10,9 % več kot izračun FWI-INCA (preglednica 1). Izračun FWI-INCA je imel posledično tudi večji delež gozdnih požarov v višjih stopnjah požarne ogroženosti (Ogris 2018a).

Preglednica 1: Razporeditev gozdnih požarov po stopnjah požarne ogroženosti sistemov FWI-INCA in FWI-ALADIN v obdobju od 10. 11. 2015–10. 8. 2018 (N = 221) (Ogris 2018a).

požarna ogroženost	FWI-INCA (%)	FWI-ALADIN (%)
zelo velika	5,0	0,5
velika	14,5	10,9
srednja	28,5	25,8
majhna	29,0	32,1
zelo majhna	23,1	30,8

7 Razprava

Napovedovanje dejanske požarne ogroženosti temelji na podatkih meteoroloških spremenljivk, iz katerih se izračunajo možnosti za nastanek požara. V Sloveniji se uporablja izpopolnjena vzhodnonemška metoda (Pečenko 1994). Pregled sistemov za napovedovanje požarne ogroženosti po svetu je izpostavil CFFDRS (Viegas s sodelavci 1994) oziroma njegov podsistem CFFWIS kot skupni mednarodni »jezik« požarne ogroženosti. Za napovedovanje dejanske požarne ogroženosti na podlagi trenutnih vremenskih razmer smo uporabili in preskusili CFFWIS (Stocks s sodelavci 1989). Sistem je preprost 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, količina razpoložljivega goriva, ki jo lahko povežemo s težavnostjo gašenja).

CFFWIS smo preskusili na študijskem območju (Kraško GGO) ter preverili njegovo uporabnost v povezavi s preteklo požarno aktivnostjo in preteklimi vrednostmi meteoroloških spremenljivk (Šturm, Fernandes in Šumrada 2011; Šturm 2013). Na Kraškem GGO je CFFWIS dosegel ustrezno natančnost napovedovanja požarne ogroženosti na podlagi meteoroloških spremenljivk (temperatura, relativna vlažnost zraka, padavine, veter). Na podlagi teh ugotovitev smo se na ravni Slovenije odločili za izdelavo dveh sistemov CFFWIS, ki jih lahko uporabljamo pri vsakodnevem napovedovanju požarne ogroženosti gozdov (Ogris in Šturm 2014; Ogris 2018a). V sistemih smo uporabili trenutne in napovedane podatke meteoroloških spremenljivk. Za to smo uporabili podatke modelov ALADIN in INCA. Naredili smo tudi analizo točnosti obeh sistemov in medsebojno primerjavo (Ogris 2018a).

Srednja vrednost FWI-INCA je bila značilno višja kot pri FWI-ALADIN, prav tako je bilo večje število gozdnih požarov razvrščenih v višje stopnje požarne ogroženosti pri FWI-INCA. Zato lahko trdimo, da je napoved FWI-INCA nekoliko točnejša kot napoved FWI-ALADIN (Ogris 2018a), saj je večja verjetnost nastanka gozdnega požara pri višjih vrednostih FWI (Dimitrakopoulos, Bemmerzouk in Mitsopoulos 2011). Več kot polovico vseh gozdnih požarov je pri nižjih vrednostih požarne ogroženosti FWI povzročil človek. Kljub temu so Carvalho s sodelavci (2008) potrdili, da FWI skupaj z relativno zračno vlažnostjo in kazalnikom grobega goriva pojasni kar 80,2 % variabilnosti povprečne mesečne površine požarov na Portugalskem.

Neposredna primerjava izračunov sistemov FWI-ALADIN in FWI-ICA je lahko nevhvaležna, saj INCA kot prvi približek stanja v ozračju uporablja prostorska polja meteoroloških spremenljivk numeričnega meteorološkega modela ALADIN, nato pa s pomočjo interpolacijskih metod ob upoštevanju določenih fizikalnih zakonitosti izračunava 3-dimenzionalno fizikalno konsistentno analizo v visoki krajevni ločljivosti (1 km) (Šajn Slak, Kršmanc in Merše 2012). Prednost pri uporabi podatkov INCA/SI je povečanje prostorske ločljivosti napovedi, ki pa je omejena zgolj na dan izračuna. Zaradi tega za napoved požarne ogroženosti gozdov za dva in tri dni vnaprej še vedno uporabljamo rezultate sistema FWI-ALADIN (Ogris 2018a).

8 Sklep

V raziskavi smo pokazali uporabnost sistema meteorološkega kazalnika požarne ogroženosti CFFWIS na območju Slovenije. V zadnjem desetletju je CFFWIS tudi povezal raziskovalce in strokovne delavce, ki se ukvarjajo z ocenjevanjem požarne ogroženosti. Primerjalna študija uporabe petih metod ocenjevanja požarne ogroženosti v šestih regijah v Franciji, Italiji in na Portugalskem, je pokazala, da je pri napovedovanju števila in površine požarov najučinkovitejši prav CFFWIS (Viegas s sodelavci 2000). Podobna študija manjka za območje Slovenije, kjer bi primerjali v Sloveniji obstoječe sisteme napovedovanja požarne ogroženosti. V primerjavo bi bilo smiselno vključiti metodo, ki so jo razvili Kobler s sodelavci (2006) in temelji na metodi strojnega učenja ter je vključena v sistem GIS-UJME na Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje. Poleg te bi

bilo treba vključiti tudi izpopolnjeno vzhodnonemško metodo, ki jo ARSO uporablja za določanje stopenj požarne ogroženosti (Pečenko 1994).

Uporabnost CFFWIS presega zgolj okvire uporabe za napovedovanje požarne ogroženosti. Wotton (2009) je izpostavil raziskovanje razmerij med kazalniki vlažnosti goriva in pojavljanjem požarov, globino gorenja v gozdnih tleh ter velikostjo pogorelih zemljišč. CFFWIS predstavlja tudi podlago za študije vpliva vremenskih sprememb na požare in gozdove (Flannigan s sodelavci 2005; Wotton 2009). Uporablja se tudi za ocenjevanje izgube količine ogljika v gozdnih požarih (Amiro s sodelavci 2001).

Podatki, ki smo jih uporabili v raziskavi, predvsem podatki sistema FWI-INCA, bodo nadaljnje uporabljene v sistemu za napovedovanje širjenja gozdnih požarov in ocenjevanju pogorelih zemljišč. V tem sistemu bodo kratkoročne napovedi iz modela INCA nujno potrebne, predvsem zaradi višje prostorske ločljivosti podatkov. Za razvoj sistema za napoved širjenja požarov je potreben kakovosten zemljevid tipov goriv, ki za Slovenijo še ni izdelan (Šturm 2013). Sistem za kratkoročno napoved širjenja požarov bi bil lahko zelo uporabno orodje gasilcem pri načrtovanju gašenja požarov in razvijanju strategij za zmanjšanje požarne ogroženosti naravnega okolja.

9 Viri in literatura

- Agee, J. K., Skinner, C. N. 2005: Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecology and Management* 211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.034>
- Amiro, B. D., Logan, K. A., Wotton, B. M., Flannigan, M. D., Todd, J. B., Stocks, B. J., Martell, D. L. 2004: Fire weather index system components for large fires in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire* 13-4. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF03066>
- 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* 10-4. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF01038>
- Andrews, P. L. 2007: BehavePlus fire modeling system: Past, present, and future. *Proceedings of 7th Symposium on Fire and Forest Meteorology*. Boston.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF02059>
- Bodrožić, L., Marasović, J., Stipaničev, D. 2005: Fire modelling in forest fire management. *Proceedings of the CEEPUS Spring School*. Kielce.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.5194/asr-2-77-2008>
- 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* 17-3. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF07014>
- CWFFIS 2019: Canadian Wildland Fire Information System. Medmrežje: <https://cwffis.cfs.nrcan.gc.ca/interactive-map> (10. 2. 2020).
- Dimitrakopoulos, A. P., Bemmerzouk, A. M., Mitsopoulos, I. D. 2011: Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications* 18-1. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.214>
- EC 2019: European Forest Fire Information System (EFFIS). Medmrežje: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> (10. 2. 2020).
- Flannigan, M. D., Logan, K. A., Amiro, B. D., Skinner, W. R., Stocks, B. J. 2005: Future area burned in Canada. *Climatic Change* 72. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5935-y>

- Fujioka, F. M., Gill, A. M., Viegas, D. X., Wotton, B. M. 2008: Fire danger and fire behavior modeling systems in Australia, Europe, and North America, Chapter 21. *Developments in Environmental Science* 8. Amsterdam. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(08\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(08)00021-1)
- 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. Chalk River.
- Helfman, R. S., Straub, R. J., Deeming, J. E. 1987: *User's Guide to AFFIRMS: Time-share Computerized Processing for Fire Danger Rating*. Fort Collins.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S. 2000: *Applied Logistic Regression*. New York.
- Jakša, J. 1997: Obseg in posledice gozdnih požarov v Sloveniji v letih 1991 do 1996 ter vloga gozdarstva in varstva pred požari v gozdu. *Gozdarski vestnik* 55.
- Kobler, A., Ogrinc, P., Skok, I., Fajfar, D., Džeroski, S. 2006: Končno poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta »Napovedovalni GIS model požarne ogroženosti naravnega okolja«. Raziskovalni projekt številka M1-0032 v okviru Ciljnega raziskovalnega programa »Znanje za varnost in mir 2004–2010«. Ljubljana.
- Košir, Ž. 1997: Ekološke posledice gozdnih požarov in požarna ogroženost gozdnih združb. *Ujma* 11.
- Lawson, B. D., Armitage, O. B. 2008: *Weather Guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System*. Edmonton.
- Medmrežje 1: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=6 (10. 2. 2020).
- Ogris, N. 2012: *Prognozične osnove za varstvo gozdov Slovenije*. Ljubljana.
- Ogris, N. 2018a: *Dnevna napoved meteorološke požarne ogroženosti gozdov v Sloveniji z modelom FWI-INCA. Napovedi o zdravju gozdov 2018*.
- Ogris, N. 2018b: *Dnevna napoved požarne ogroženosti gozdov z modelom FWI-INCA - spletna aplikacija. Napovedi o zdravju gozdov 2018*.
- Ogris, N., Šturm, T. 2014: *Meteorološki indeks požarne ogroženosti gozdov. Napovedi o zdravju gozdov 2014*.
- Pečenko, A. 1994: Določanje stopenj ogroženosti naravnega okolja v Sloveniji. *Ujma* 8.
- Pristov, N., Cedilnik, J., Jerman, J., Strajnar, B. 2012: *Priprava numerične meteorološke napovedi ALADIN-SI. Vetrnica* 4.
- Pyne, S. J., Andrews, P. L., Laven, R. D. 1996: *Introduction to Wildland Fire*. New York.
- Raíinha, 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. *Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research*. Rotterdam.
- Pravilnik o varstvu gozdov. Uradni list Republike Slovenije 114/2009, 31/2016. Ljubljana.
- Stocks, B. J., Lawson, B. D., Alexander, M. E., Van Wagner, C. E., McAlpine, R. S., Lynham, T. J., Dubé, D. E. 1989: The Canadian forest fire danger rating system: An overview. *Forestry Chronicle* 65-6.
- Šajn Slak, A., Kršmanc, R., Merše, J. 2012: INCA-CE – projekt, ki povezuje meteorološke službe osrednje Evrope s končnimi uporabniki. *Vetrnica* 4.
- Šturm, T. 2013: *Uporaba tehnologije GIS za napovedovanje pojavljanja gozdnih požarov v Sloveniji. Doktorsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani*. Ljubljana.
- 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* 131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0556-7>
- Van Wagner, C. E. 1987: *Development and structure of the canadian forest fire weather index system. Forestry Technical Report* 35.

- Viegas, D. X. 1999: Contribuição para a aferição do índice canadiano de perigo de incêndio para Portugal Continental. Documentação destinada à interpretação do risco de incêndio calculado pelo sistema Canadano para ICN. Lisboa.
- Viegas, D. X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A., Sol, B. 2000: Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* 9-4. <https://doi.org/10.1071/WF00015>
- Viegas, D. X., Sol, B., Bovio, G., Nosenzo, A., Ferreira, A. 1994: Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *Proceedings: 2nd International Conference on Forest Fire Research 2*. Coimbra.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.280>
- Wotton, B. M. 2009: Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications. *Environmental and Ecological Statistics* 16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10651-007-0084-2>
- ZGS 2012: Gozdnogospodarski načrt Kraškega gozdnogospodarskega območja 2001–2010. Sežana.