

Analiza Hainesova indeksa na Jadranu s ciljem poboljšanja procjene opasnosti od požara raslinja

Analysis of Haines Index in the Adriatic to improve the estimate of forest fire risk

Marija Mokorić, dipl. ing.
Tomislav Kozarić, dipl. ing.
Lovro Kalin, dipl. ing.

SAŽETAK

Poznato je da vremenske i klimatske prilike uvelike utječu na učestalost i ponašanje požara raslinja, a s time i na veličinu izgorjele površine. Stoga se u većini zemalja koje ugrožavaju požari koriste razni meteorološki indeksi koji upućuju na vremenske, ali i klimatološke prilike posebno opasne za nastanak i širenje požara raslinja. U Hrvatskoj se već desetljećima koristi meteorološki indeks opasnosti za nastanak i širenje požara po kanadskoj metodi (*Fire Weather Indeks* – FWI), koji u sebi sadrži temperaturu zraka, relativnu vlažnost, brzinu vjetra i količinu oborine.

Međutim, znanstvenicima i stručnjacima koji se bave problematikom požara raslinja poznato je da na ponašanje požara utječe i stabilnost atmosfere te da se u suhoj i nestabilnoj atmosferi požari ponašaju neuobičajeno. Kao kvantitativna mjera nestabilnosti atmosfere koristi se Hainesov indeks.

U ovom radu prikazano je kako se Hainesov indeks ponaša na području Jadrana gdje su i požari raslinja najučestaliji i najžešći, te da se može koristiti kao dodatni alat za izdavanje posebnih upozorenja na vremenske prilike osobito pogodne za ekstremno ponašanje požara.

Ujedno je napravljena meteorološka analiza jednog požara u Istri 2012. godine na čije je ponašanje najviše utjecala nestabilnost u suhom zraku na području zahvaćenom požarom.

Ključne riječi: Hainesov indeks, Istra, Jadran, nestabilnost atmosfere, požar raslinja

Summary

It is known that weather and climate conditions greatly affect the frequency and fire behavior of plants and, therefore, the size of the burned area. Therefore, in most countries that threaten fires using various meteorological indices that point to the weather, but climate and opportunities particularly dangerous for the emergence and spread of fire vegetation. In Croatia, for decades used meteorological index of the risk for the occurrence and spread of fire by the Canadian method (Fire Weather Index - FWI), which contains an air temperature, relative humidity, wind speed and rainfall.

However, scientists and experts that deal with fire vegetation is known that the fire behavior affects the stability of the atmosphere and that is in a dry and unstable atmosphere fires behave abnormally. As a quantitative measure of the instability of the atmosphere used Haines Index. This paper shows how the Haines index behaves in the Adriatic where vegetation fires and the most common and severe, and can be used as an additional tool for the issuance of special warnings on weather conditions especially suitable for extreme fire behavior. He also made meteorological analysis of a fire in Istria in 2012 on whose behavior is most affected by instability in the dry air in the area affected by fire.

Keywords: Haines Index, Istria, Adriatic, the instability of the atmosphere, vegetation fire

UVOD

Introduction

Na učestalost i ponašanje požara raslinja, osim tipa bilnog pokrova i topografije terena, uvelike utječu vremenske prilike. Dugotrajna suša, odnosno manjak oborina i visoke temperature zraka isušuju tlo i vegetaciju što pogoduje pojavi većeg broja požara, a utječe i na njihovu žestinu. Na potencijalno ekstremno ponašanje požara raslinja, uz sušne prilike, najviše utječe vjetar. I u Hrvatskoj su svima koji se bave problematikom požara raslinja, a posebice vatrogascima na terenu, dobro poznate situacije s jakim burom kada je bilo vrlo teško držati požar pod kontrolom. Primjerice, požar na području Hrvatskog primorja u srpnju 2012. godine (Kozarić i Mokorić, 2012). Međutim, primijećeno je da se požari raslinja ponekad teško gase i u vremenskim situacijama sa slabim do umjerenim vjetrom. To se najčešće događa u sinoptičkim situacijama kada na vrijeme utječe polje povišenog tlaka zraka i termobarički greben u visini, a atmosfera je nad područjem zahvaćenim požarom termički nestabilna. Požar u Istri u kolovozu 2012. primjer je problema tijekom gašenja, najvjerojatnije uzrokovan nestabilnošću atmosfere. I mnogi znanstvenici u svijetu koji se bave istraživanjem požara raslinja sma-

traju da atmosferska stabilnost znatno utječe na ponašanje i širenje požara. Požari na čije ponašanje dominantan utjecaj ima nestabilnost atmosfere nazivaju se požarima upravljanim konvekcijom (eng. plume-dominant) i uz njih je često vezana pojava *pyro-cumulusa*, oblaka vertikalnog razvoja koji upućuju na nestabilnost.

Osim toga, nestabilnost u nižoj atmosferi može uzrokovati izraženiju pojavu širenja vatre kroz krošnje (eng. crowning) i točkastog širenja vatre na veće udaljenosti (eng. spotting), a moguće je i lokalno intenziviranje vrtložnosti u atmosferi (Potter, 2012A, 2012B).

Stoga je bilo potrebno pronaći kvantitativnu mjeru stabilnosti, odnosno nestabilnosti nižih slojeva atmosfere u odnosu na ponašanje požara raslinja. Američki meteorolog Donald A. Haines razvio je takav kvantitativni pokazatelj te ga je nazvao LASI - Low Atmospheric Severity Indeks (Haines, 1988). Kasnije se sve više počeo koristiti naziv Hainesov indeks.

Hainesov indeks u operativnoj se praksi od 1988. koristi na cijelom teritoriju SAD-a, a već dulje i u Australiji, osobito na području Tasmanije, Victorije i Novog Južnog Walesa.

U Hrvatskoj se Hainesov indeks u operativnom radu počeo koristiti 2013. godine kao dodatni alat za izdavanje upozorenja na vremenske prilike posebno opasne za potencijalno ekstremno ponašanje požara raslinja. Tomu je prethodila analiza Hainesova indeksa u slučaju velikih požara raslinja u Hrvatskoj 2003. godine, pri čemu je preliminarno pokazano postojanje korelacije Hainesova indeksa s velikim požarima (Mokorić i Kalin, 2005), te verifikacija prognostičkog Hainesova indeksa (Mokorić i Kalin, 2006).

STRUKTURA HAINESOVA INDEKSA – *Structure of Haines Index*

Poznato je da suh i nestabilan zrak povećava vjerojatnost da požari raslinja postanu veliki i/ili nepredvidljivi (ekstremni). Veza između ponašanja požara i suhog, nestabilnog zraka empirički je kvantificirana uvođenjem Hainesova indeksa. Hainesov indeks (HI) jednostavan je indeks koji se temelji na vertikalnoj stopi ohlađivanja u sloju zraka u kombinaciji sa sadržajem vlage u tom sloju, a računa se iz jednostavne empiričke relacije (Haines, 1988):

$$HI=A(T_p-T_p1)+B(T_p-T_{dp}),$$

u kojoj je T temperatura na atmosferskim nivoima s tlakom p i p_1 , a T_d je temperatura rosišta na nivou s tlakom p . Komponenta A funkcija je razlike temperatura na nivoima p i p_1 te predstavlja doprinos termičke nestabilnosti sloja zraka, a komponenta B funkcija je razlika temperature i rosišta (deficit rosišta) na nivou p i predstavlja doprinos sadržaja vlage u sloju. Hainesov je indeks, dakle, zbroj komponente stabilnosti (A) i komponente vlage (B). Zbog razlika u nadmorskim visinama određenih područja, tri se kombinacije atmosferskih nivoa koriste u izračunu Hainesova indeksa. Slojevi su odabrani dovoljno visoko da se zanemari dnevna varijabilnost prizemne temperature i prizemna temperaturna inverzija. U tom smislu za nadmorske visine do 500 m računa se niska varijanta Hainesova indeksa, za visine između 500 i 1500 m srednja varijanta, a za visine iznad 1500 m visoka varijanta. Vrijednosti komponenti A i B za različite varijante Hainesova indeksa prikazane su u tablici 1. Komponente A i B poprimaju vrijednosti 1, 2 ili 3.

Tablica 1. Vrijednosti komponente stabilnosti A Hainesova indeksa povezane s različitim stopama ohlađivanja i komponente vlage B povezane s različitim deficitima rosišta za izračun u niskoj, srednjoj i visokoj varijanti

Table 1. Values of Haines Index stability term A related to lapse rates and moisture term B related to dewpoint depressions for low, middle and high variant

Stopa ohlađivanja $T_p - T_{p1}$ Lapse rate $T_p - T_{p1}$			
A	Niska varijanta (950 - 850 hPa)	Srednja varijanta (850 - 700 hPa)	Visoka varijanta (700 - 500 hPa)
1	<4	<6	<18
2	4 do 8	6 do 11	17 do 22
3	≥8	≥11	≥22
Deficit rosišta $T_p - T_{dp}$			
B	Niska varijanta (850 hPa)	Srednja varijanta (850 hPa)	Visoka varijanta (700 hPa)
1	<6	<6	<15
2	6 do 10	6 do 13	15 do 21
3	≥10	≥13	≥21

Hainesov indeks stoga poprima vrijednosti između 2 i 6. Manje su vrijednosti u termički stabilnijem i vlažnijem zraku, a veće u termički nestabilnijem i sušem zraku. I naposljetku veza između Hainesova indeksa i vjerojatnosti da požari raslinja postanu veliki i/ili nepredvidljivi prikazana je četirima klasama u tablici 2.

Tablica 2. Veza između vrijednosti Hainesova indeksa i klase Hainesova indeksa, odnosno potencijala za veliki rast požara

Table 2. Relationship between values of Haines Index and the class of Haines Index

Hainesov indeks <i>Haines index</i>	Klasa (potencijal za veliki rast požara i/ili nepredvidljivo ponašanje) <i>Class (Potential for a high growth of fire and / or unpredictable behavior)</i>
2 ili 3	vrlo mala
4	mala
5	umjerena
6	velika

Klimatološke analize koje su zatim provedene za američko podneblje (Haines, 1988) pokazuju da se za nisku varijantu Hainesova indeksa samo 2 % požara dogodilo u danima s vrlo malom klasom, a 51 % požara u danima s velikom klasom. S druge strane 75 % dana u požarnim sezonama bilo je s vrlo malom ili malom klasom, a samo 5 % dana s velikom klasom. Za srednju varijantu Hainesova indeksa dobiveno je 6 % požara pri vrlo maloj klasi, koja je bila prisutna u 58 % dana požarne sezone, a 78 % požara dogodilo se pri umjerenoj i velikoj klasi koja je bila prisutna u 17 % dana požarne sezone. Sličan rezultat analize dobiven je i za visoku varijantu. Dakle, udio je dana s vrlo malom i malom klasom najveći, a najmanji je za veliku klasu. Umjerena je klasa, naravno, između po postotku broja dana. Bitno je istaknuti da se umjerena klasa vjerojatnosti rasta požara (vrijednost 5 Hainesova indeksa) ne događa često, velika klasa (vrijednost 6) još rjeđe, ali su tada požari veliki i/ili brojni te često nepredvidljivi. Primjer odnosa klase Hainesova indeksa i pritom izgorene površine može se vidjeti u radu Werth i Ochoa (1993). U tom smislu velike vrijednosti Hainesova indeksa, ponajprije vrijednost 6, dobar su pokazatelj utjecaja vremenske situacije na iznimnu požarnu situaciju. Ipak, Hainesov indeks nije pokazatelj vjerojatnosti za nastanak požara, za to se koristi kanadska metoda sustava CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System) poznatija kao FWI - *Fire Weather Index* koji je detaljno objašnjen u radu Van Wagner (1987).

Kanadska metoda se u Državnom hidrometeorološkom zavodu primjenjuje unazad više od 30 godina svakog dana požarne sezone. Analize su još pokazale da je Hainesov indeks najbolje primjenljiv kada brzina vjetra nije velika i požari su upravljani konvekcijom. U slučaju jakog vjetra i požara upravljanih vjetrom (eng. wind-driven) performanse Hainesova indeksa su slabije jer je dinamika požara koju uzrokuje vjetar jača od dinamike koju stvara sam požar ili je djelovanje kombinirano (Werth i Ochoa, 1993).

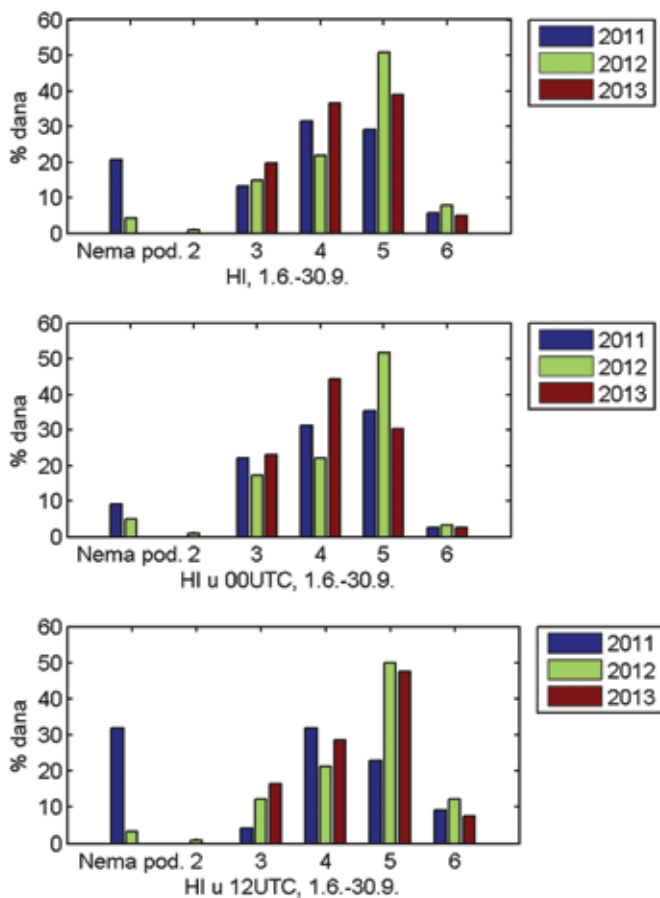
UPOTREBA HAINESOVA INDEKSA U DRŽAVNOM HIDROMETEOROLOŠKOM ZAVODU - *Use of Haines index in Meteorological and Hydrological Service*

U sklopu Službe za vremenske analize i prognoze Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) od 2013. godine operativno se koriste analitički i prognostički izračuni Hainesova indeksa s ciljem izdavanja posebnih upozorenja za požare raslinja s obzirom na vrlo nestabilne i suhe vremenske prilike. Posebna upozorenja upućuju na moguće iznimne probleme s veličinom, brojem i ponašanjem požara, odnosno njihovim gašenjem i izdaju se po potrebi kada se u narednih 36 sati uoče unaprijed definirani meteorološki preduvjeti. Precizno se naznačuje vrijeme i područje na koja se upozorenje odnosi.

Preduvjeti za posebna upozorenja vezana uz Hainesov indeks:

1. velika i/ili vrlo velika klasa opasnosti od požara raslinja (izračunata po kanadskoj metodi korištenjem FWI)
2. vremenska situacija bez vjetra ili sa slabim do umjerenim vjetrom (prizemna srednja brzina vjetra manja od 8 m/s). Hainesov se indeks, dakle, ne koristi u situacijama s jakim burom i jugom, već se tada izdaju posebna upozorenja na jak vjetar
3. velika klasa Hainesova indeksa (HI najveće vrijednosti 6).

Analitički (stvarni) Hainesov indeks izračunava se iz radiosondažnih mjerenja (tzv. tempova) u Zadru, Udinama i Zagrebu u 00 i 12 UTC. Oznaka UTC znači univerzalno koordinirano vrijeme. 00 UTC odgovara 2 sata po Srednjoeuropskom ljetnom vremenu (SEV+1), odnosno 12 UTC odgovara 14 sati. Prognostički Hainesov indeks izračunava se za cijelo područje Hrvatske za 3 dana unaprijed (svakih 3 sata) iz meteoroloških polja numeričkog modela



Slika 1. Učestalost pojavljivanja (%) različitih vrijednosti Hainesova indeksa i nedostajućih podataka u požarnim sezonama 2011. (plavo), 2012. (zeleno) i 2013. godine (smeđe) za cijeli niz radiosondažnih mjerenja (gore) te zasebno za 00 UTC (u sredini) i 12 UTC (dolje)

Figure 1. Frequency of occurrence (%) of different values of Haines Index and missing data in fire seasons of 2011 (blue), 2012 (green) and 2013 (brown) for the complete set of upper air radiosoundings (above) and separately for 00 UTC (center) and 12 UTC (below)

ECMWF-a prostorne rezolucije 12 kilometara te po točkama iz pseudotempova numeričkog modela ALADIN prostorne rezolucije 8 kilometara.

ANALIZA HAINESOVA INDEKSA U HRVATSKOJ U POŽARNIM SEZONAMA 2011.-2013. – Analysis of Haines index in Croatia in the fire season 2011 - 2013

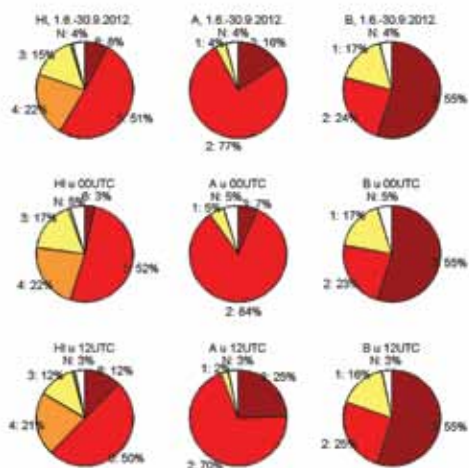
Analiza stvarnog Hainesova indeksa tijekom ljetne požarne sezone, u razdoblju od 1. lipnja do 30. rujna, provedena je za 2011., 2012. i 2013. godinu. Stvarni Hainesov

indeks računat je iz radiosondažnih mjerenja u 00 i 12 UTC na postaji Zadar-Zemunik. S obzirom da je postaja Zadar-Zemunik na nadmorskoj visini od 88 m, u izračunu se koristila niska varijanta Hainesova indeksa opisana u tablici 1.

Slika 1. prikazuje učestalost pojavljivanja različitih vrijednosti Hainesova indeksa te nedostajućih podataka u odnosu na ukupan broj podataka u požarnoj sezoni. Za sve tri požarne sezone zasebno su prikazane vrijednosti Hainesova indeksa za cijeli niz radiosondažnih podataka i zasebno za one u 00 i 12 UTC.

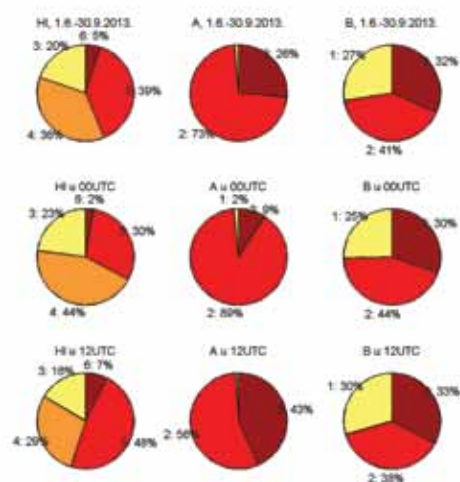
Premda je u požarnoj sezoni 2011. godine raspodjela učestalosti različitih klasa Hainesova indeksa slična drugim prikazanim sezonama, odmah se uočava velik broj podataka koji nedostaju, osobito za 12 UTC niz. Stoga se 2011. godina neće detaljno opisivati.

Za preostale dvije sezone, 2012. i 2013., na svim trima prikazima vidljiv je najmanji postotak velike klase Hainesova indeksa, odnosno vrijednost 6 zastupljena je većinom u manje od 10 % dana (za cijeli niz podataka to je 8 % dana u sezoni 2012. godine, odnosno 5 % u 2013.). Takav mali udio velike klase poželjan je i očekivan, što je u skladu s klimatološkim analizama američkih meteorologa. Međutim, iznenađuje velik udio umjerene klase Hainesova indeksa (vrijednost 5) koja se ističe u odnosu na preostale klase. U sezoni 2012. godine pojavljuje se u prosjeku svaki drugi dan u svakom od nizova, a u 2013. osobito u nizu 12 UTC. Usporedi li se postotak umjerene klase s postotkom vrlo male i male klase zajedno (vrijednosti 2, 3 i 4 Hainesova indeksa, za koje se očekuje da budu najčešće), on je u 2013. malo manji za cijeli niz i 00 UTC niz, a veći za 12 UTC, dok je u 2012. čak i veći u svakom od prikazanih nizova. Takav odnos udjela vrlo male, male i umjerene klase na području Hrvatske, odnosno Jadrana, ne odgovara analizama američkih autora i nije poželjan. Prevelik udio umjerene klase umanjuje pouzdanost velikih vrijednosti Hainesova indeksa koje su indikator iznimne vremenske situacije za ponašanje požara. Da bi se pronašao uzrok nepovoljno velikom udjelu umjerene klase, provedena je i analiza pojedinačnih komponenti Hainesova indeksa, komponente stabilnosti A i komponente vlage B za sezonu 2012. (slika 2) i 2013. godine (slika 3). Unaprijed je očekivana barem podjednaka raspodjela vrijednosti 1, 2 i 3 u prikazima svih nizova A i svih nizova B. Međutim, u sezoni 2012. godine postotak pojavljivanja vrijednosti 2 komponente A u svakom od nizova bio je veći od 70 %, dok je postotak vrijednosti 3 komponente B u svakom od nizova bio veći



Slika 2. Udio različitih vrijednosti Hainesova indeksa (lijevi stupac) te različitih vrijednosti komponente A (sredina) i komponente B (desni stupac) u požarnoj sezoni 2012. godine za cijeli niz radiosondažnih mjerenja (gore), i zasebno za 00 UTC (u sredini) i 12 UTC (dolje)

Figure 2. Share of different values of Haines Index (left column) and different values of component A (center) and component B (right column) in the fire season of 2012 for the complete set of radiosoundings (above), and separately for 00 UTC (center) and 12 UTC (below)



Slika 3. Isto kao za sliku 2, samo u 2013. godini

Figure 3. Same as Figure 2, only in 2013.

od 55 %. Dakle, u najvećem broju dana dogodile su se upravo navedene vrijednosti komponenata A i B, pa je vrijednost Hainesova indeksa, kao njihove sume, iznosila najčešće 5. Iako se u raspodjeli komponente B u sezoni 2012. godine u prosjeku svaki drugi dana pojavila vrijednost 3, uzrok se može naći u ekstremno suhim vremenskim prilikama koje su tada vladale. U sezoni 2013. godine koja je na području Zadra bila normalna s obzirom na sušu, oblik raspodjele B bliže je očekivanom, sa svim vrijednostima podjednako zastupljenim. Vrlo sličan rezultat dobiven je i za neprikazanu sezonu 2011. godine.

S druge strane komponenta A stabilnosti zraka u sezoni 2013. godine (koja je bila ekstremno topla kao i 2012.) opet poprima najčešću vrijednost 2, od 55 % u 12 UTC do čak 90 % u 00 UTC. Vrijednost 3 komponente A vidljivo je manje zastupljena od 2, dok se vrijednost 1 javlja vrlo rijetko i u 2012. i u 2013., ali i u neprikazanoj 2011. godini. Analiza pojedinačnih komponenti pokazuje neobičnu raspodjelu komponente A Hainesova indeksa, koja najčešće iznosi 2, bez obzira što su ekstremno tople bile sve tri analizirane sezone. Jasan manjak ili čak nepostojanje vrijednosti 1 u raspodjeli komponente A također

se u početku nije očekivao. Raspodjela komponente B zadovoljavajuća je u svim trima analiziranim sezonama. Rezultat ove analize sličan je preliminarnoj analizi Hainesova indeksa provedenoj već u 2003. godini. Na identičan način dodatno provedena analiza stvarnog Hainesova indeksa u sezoni 2013. za postaje Zagreb-Maksimir, i Udine u sjevernoj Italiji, pokazuje prihvatljivu i očekivanu raspodjelu A i B. Međutim, te su postaje suviše kopnene i predaleko od obale da bi se mogle koristiti kao reprezentativne za stanje atmosfere na Jadranu. Stoga je za jadransko, odnosno zadarsko područje i Dalmaciju, nužno prilagođavanje Hainesova indeksa, posebice komponente stabilnosti A. Jedan način bio bi korištenje i testiranje srednje varijante u izračunu Hainesova indeksa zbog općenito kompleksne i povišene orografije hrvatske obale (slično kao što se u SAD-u koristi visoka varijanta i za kalifornijsku obalu). Drugi, složeniji način, bio bi empirijska kalibracija vrijednosti komponenti A i B za nisku varijantu Hainesova indeksa, što zahtijeva duge i detaljne nizove podataka o požarima i njihovu ponašanju na našoj obali. Treba napomenuti da je prilagođavanje Hainesova indeksa provedeno i u australskoj meteorološkoj službi (Mills i McCaw, 2010). Što se prognostičkog (modelskog) Hainesova indeksa tiče, u uvodu ovog rada spomenuta je njegova verifikacija u odnosu na stvarni indeks. Mokorić i Kalin (2006) pokazali su dobre i zadovoljavajuće rezultate već za požarnu sezonu 2003. godine. Numerički modeli koji se operativno koriste na DHMZ-u od tada su poboljšani i mogu vrlo dobro prognozirati vertikalno stanje atmosfere s obzirom na temperaturu i relativnu vlažnost, a time i sam Hainesov indeks. Naravno, nužno je identično prilagođanje i prognostičkog Hainesova indeksa.

ISTARSKI POŽAR 2012. - *Istrian fire 2012.*

Kao primjer zajedničkog djelovanja suhog i nestabilnog zraka na ponašanje požara, odnosno vremenske situacije u kojoj je klasa Hainesova indeksa bila velika, a preduvjeti za korištenje indeksa zadovoljeni, analizirat će se požar koji se zbilo početkom kolovoza 2012. godine u zapadnom dijelu poluotoka Istre. Glavna obilježja tog požara bila su velik intenzitet i vrlo naglo širenje vatre (slika 4) te jak konvektivni stup dima zbog izražene termičke nestabilnosti atmosferskog graničnog sloja (slika 5). Zbog opisanog ponašanja vatre i mjesta gdje je požar nastao nazvan je „Istarskim požarom“.



Slika 4. Intenzivni plamen „Istarskog požara“ uništava bjelogoričnu šumu i makiju. Izvor: internetski portali

Figure 4. Very strong “Istrian fire” destroys deciduous forest and bushes. Source: internet portals



Slika 5. Jak konvektivni stup dima „Istarskog požara“ svjedoči o termički nestabilnoj atmosferi. Izvor: internetski portali

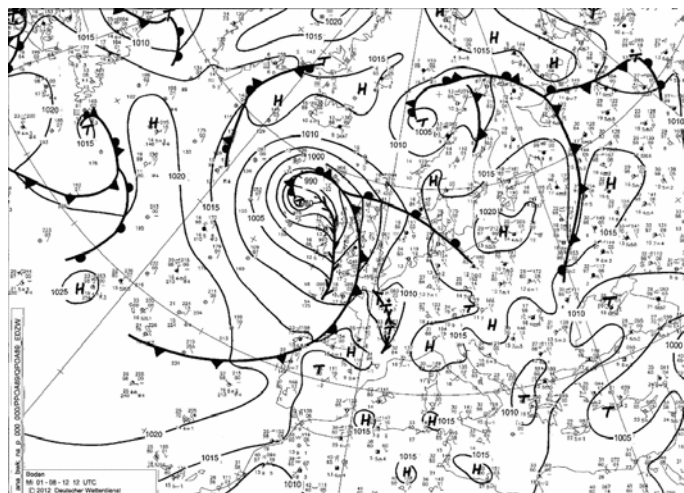
Figure 5. Strong convective column of “Istrian fire” in the thermally unstable atmosphere. Source: internet portals

Prva dojava o požaru bila je 1. kolovoza u 11:35 sati po srednjoeuropskom ljetnom vremenu, a uzrokovan je ljudskim faktorom. Požar je zahvatio bjelogoričnu šumu, makiju i poljoprivredne kulture, a opožareno je oko 350 ha površine. Uvjeti na požarištu najlošiji su bili u poslijepodnevnim satima kad se vatra naglo širila kroz gusto, neprekinuto i isušeno raslinje. Iako je gašenje s tla bilo otežano, požar je lokaliziran već do 20:00 sati istog dana, čemu su doprinijeli pristupačan teren i vrlo učinkovito gašenje iz

zraka zbog blizine mora. Iako je glavninom trajao jedan dan, požar je proglašen ugašenim tek 3. kolovoza u 08:00 sati. Požarište se nalazilo između gradova Poreča i Pazina na području Rakovci – Štifanići – Rušnjak – Srbinjak, udaljeno je bilo oko 10 km od zapadne obale mora, na zaravni nadmorske visine malo više od 200 m. Poznato je da se za sunčanih anticiklonalnih ljetnih situacija, zaravan zapadnog dijela poluotoka Istre jako zagrijava u odnosu na okolno more te se razvija specifična obalna cirkulacija sa zmorcem i linijom konvergencije vjetra.

Požaru su prethodila dva tjedna većinom suha i vruća vremena uz slab razvoj dnevne obalne cirkulacije vjetra (nije prikazano). Najviša dnevna temperatura bila je viša od 30 °C, u pojedine dane viša od 34 °C. Najniža relativna vlaga u poslijepodnevrim satima bila je niža od 30 %, a najniža vrijednost od 24 % zbila se upravo 1. kolovoza kad je izbio požar. Taj je dan najviša temperatura dosegla gotovo 35 °C. Dakle, u okolnostima suha i vruća vremena uz dugotrajan manjak oborina, isušivanje raslinja, posebice trava i grmlja, bilo je znatno, a posljedica je vrlo velika klasa opasnosti od požara raslinja na dan 1. kolovoza, izračunata na temelju kanadske metode. Vrijednost indeksa opasnosti od požara (FWI, Fire Weather Index) iznosila je 48, indeksa početnog širenja (ISI, Initial Spread Index) 16, dok je pokazatelj mogućnosti da gorivo prihvati požar (BUI, Buildup Index) iznosio 144. Pokazatelji vlažnosti finog goriva (FFMC, Fine Fuel Moisture Code), srednje krupnog goriva (DMC, Duff Moisture Code) i dubokog krupnog goriva (DC, Drought Code) iznosili su 94, 108 i 541 istim redosljedom. Sinoptičku situaciju nad Europom 1. kolovoza karakteriziralo je polje malo povišenog tlaka koje se prostiralo od Sredozemlja, preko sjevernog Jadrana i Hrvatske, do sjeveroistoka kontinenta gdje se nalazilo središte te ciklona na sjeverozapadu (slika 6).

U takvoj situaciji u sklopu visinskog grebena iz zapadnog Sredozemlja nad područjem sjevernog Jadrana, odnosno Istre, zadržavao se vruć i suh zrak. Ta zračna masa u prethodnim se danima nad Sredozemlje proširila iz sjeverne Afrike. Prvog kolovoza na širem području Istre i u okolici mjesta požara vrijeme je bilo vedro uz slab dnevni razvoj oblaka. U Pazinu, mjestu udaljenom 15-ak kilometara od požarišta, podaci automatske meteorološke postaje pokazuju pravilni dnevni hod temperature i relativne vlage koji je u poslijepodnevrim satima bio malo narušen razvojem dnevne obalne cirkulacije i vjetrovom s mora (slika 7). Noću i ujutro vjetra nije bilo, a uz najnižu temperaturu od oko 15 °C, relativna je vlaga porasla do 85 %. Međutim,

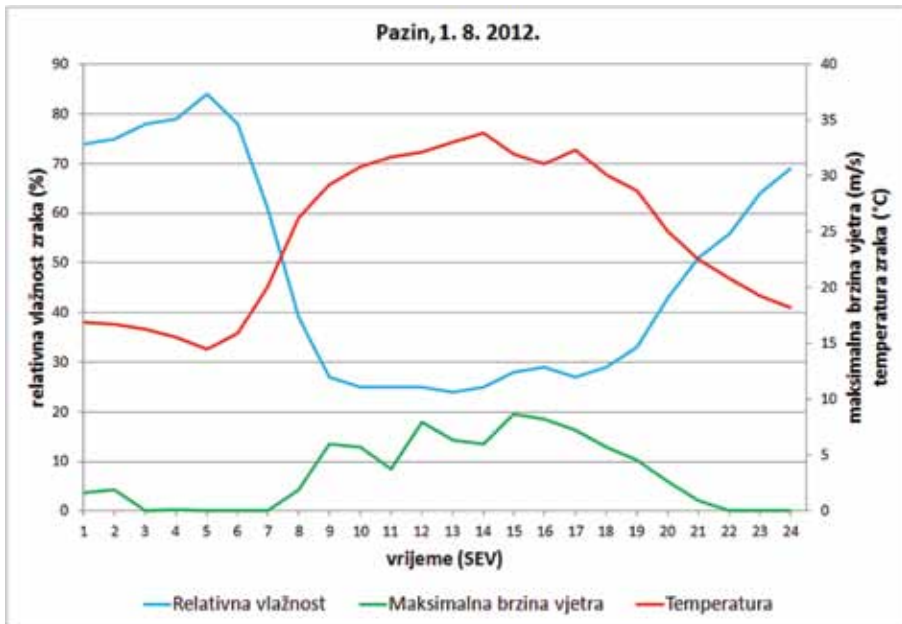


Slika 6. Prizemna sinoptička analiza 1. kolovoza 2012. u 12 UTC. Izvor: Deutscher Wetterdienst (DWD)

Figure 6. Surface synoptic analysis on 1 August 2012 at 12 UTC. Source: Deutscher Wetterdienst (DWD)

napli rast temperature koji je uslijedio zbog jake insolacije i toplog zraka po visini, bio je praćen izrazitim padom relativne vlažnosti. U rano poslijepodne, u vrijeme najvećeg intenziteta i brzine širenja požara, temperatura je porasla do 35 °C, a relativna se vlaga snizila i niže od 25 %. Situaciju na požarištu poslijepodne u manjoj je mjeri otežavao i slab do umjeren zapadni vjetar s mora, brzine do 6 m/s. Navečer je vjetar sasvim prestao, a porast relativne vlage i radijacijsko ohlađivanje (stabiliziranje) zraka doveli su do bolje situacije na požarištu i konačno do lokaliziranja požara.

U polju vjetra dinamičke adaptacije mezoskalnog modela ALADIN prostorne rezolucije od 2 km uočava se konvergentno strujanje koje je na požarištu bilo prisutno oko 13 sati po srednjoeuropskom ljetnom vremenu (nije prikazano). Vjetar s istoka i zmorac sa zapada, koji se razvio zbog dnevnog zagrijavanja, stvorili su liniju konvergencije nad zapadnom Istrom. Posljedica je bila pojava ulazih zračnih gibanja koja pospješuju razvoj konvektivnog dimnog stupa. Kisik koji se pritom lokalnim konvergentnim strujanjem unosi iz okolice pojačava aktivnost vatre, a efekt je sličan dimnjaku. Istovremeno, udari vjetra su vlastitom dinamikom požara mogli biti pojačani. Upravo tada brzina širenja i jačina požara bile su najveće. Opisani učinci nestabilnog zraka na ponašanje požara najjednostavnije se mogu predvidjeti analizom vertikalnog

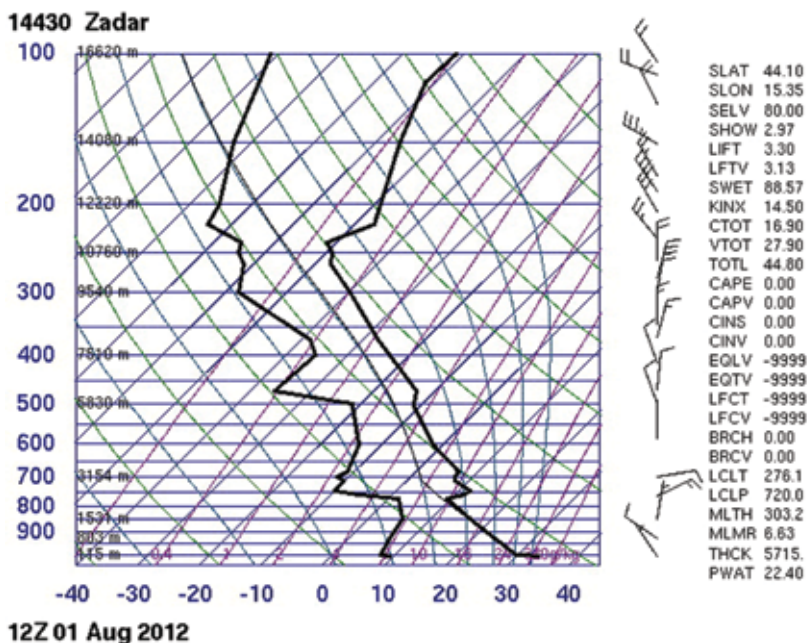


Slika 7. Satni podaci temperature zraka na 2 m (crveno), relativne vlažnosti (plavo) i brzine vjetra (zeleno) 1. kolovoza 2012. s automatske meteorološke postaje DHMZ-a u Pazinu

Figure 7. Hourly data of air temperature at 2 m (red), relative humidity (blue) and wind speed (green) on 1 August 2012. DHMZ's automatic weather station in Pazin

stanja atmosfere. Ono je u vrijeme požara prikazano radiosondažnim mjerenjem u 14 sati po srednjoeuropskom ljetnom vremenu s meteorološke postaje Zadar-Zemunik smještene oko 150 km južnije od mjesta požara (slika 8). Sličan vertikalni profil atmosfere uočava se i na talijanskoj postaji Udine smještenoj stotinjak kilometara sjevernije. S obzirom na zanemarive prizemne razlike u atmosferskim uvjetima i nepostojanje frontalnih zona na području Jadrana, radiosondaža u Zadru može se vrlo pouzdano koristiti za opis vertikalnog stanja atmosfere i na području Istre.

U prizemnom sloju zraka do 2 km visine (odnosno do 800 hPa izobarne plohe), uočava se velika vertikalna stopa ohlađivanja, gotovo suhoadijabatski gradijent temperature. Temperatura pri tlu bila je 33 °C, a na 1500 m (približno 850 hPa) snižavala se na 17 °C. Velik deficit rosišta (razlika između temperature zraka i temperature rosišta) pokazuje da je taj sloj bio jako suh, prosječna relativna vlažnost u sloju bila je niža od 35 %. Uočava se i slab vjetar brzine manje od 5 m/s te nestabilan zrak u cijelom sloju atmosfere do 8 km visine. Dakle, najniži slojevi zraka bili su jako suhi i nestabilni, a vjetar je bio zanemariv.



Slika 8. Termodinamički dijagram radiosondažnog mjerenja temperature, rosišta i vjetra u Zadru-Zemuniku 1. kolovoza 2012. u 12 UTC. Izvor slike: University of Wyoming

Figure 8. Thermodynamic diagram of the radiosonde measurement of temperature, dew point and wind in Zadar-Zemunik on 1 August 2012 at 12 UTC. Figure source: University of Wyoming

U mirnoj i termički nestabilnoj vremenskoj situaciji, kao što je bila 1. kolovoza 2012. na području Istre, ponašanje požara bilo je predodređeno konvekcijom. Stoga se za „Istarski požar“ Hainesov indeks može koristiti kao mjera moguće jačine požara. Analiza Hainesova indeksa na temelju radiosondaže u Zadru pokazuje najvišu vrijednost 6, istovremeno u Udinama 5. Dakle, vjerojatnost za jak požar 1. kolovoza na području Istre bila je velika, što se u stvarnosti i pokazalo.

ZAKLJUČAK

Conclusion

S obzirom na velik utjecaj stabilnosti atmosfere na širenje, te osobito ponašanje požara raslinja, u operativni je rad 2013. godine u Hrvatskoj za područje Jadrana i priobalja uveden Hainesov indeks, kao kvantitativna mjera nestabilnosti u suhom zraku nižih slojeva atmosfere. Analizom Hainesova indeksa za meteorološku postaju Zadar-Zemunik pokazalo se da se Hainesov indeks može koristiti kao upozorenje na veliku nestabilnost atmosfere u slučaju najviše vrijednosti 6 koja ima zadovoljavajuću raspodjelu u promatranom razdoblju (2011. – 2013.). Iz

analize se ujedno vidi da su vrijednosti Hainesova indeksa 4 i 5 preučestale te da bi za područje Jadrana nisku varijantu indeksa trebalo prilagoditi, posebice kroz kalibraciju komponente stabilnosti (A) koja je pokazala raspodjelu s prevelikim udjelom vrijednosti 2. Ili bi, s obzirom na konfiguraciju i povišenu orografiju jadranske obale, trebalo testirati varijantu Hainesova indeksa za više područje (primjerice srednju varijantu). U planu je, dakle, daljnji rad na Hainesovu indeksu za požare u Hrvatskoj, kako stvarnom, dobivenom iz radiosondažnih mjerenja, tako i prognostičkom, dobivenom iz podataka numeričkih prognostičkih modela. Trenutno se provodi i detaljna analiza povezanosti stvarnog Hainesova indeksa s brojem i ponašanjem požara, a prvi rezultati će uskoro biti dostupni.

U svakom slučaju Hainesov indeks je vrijedan dodatni alat i u izvornom se obliku već upotrebljava u Državnom hidrometeorološkom zavodu za procjenu opasnosti od požara raslinja na području Jadrana i izdavanje upozorenja.

LITERATURA

References

1. Haines D.A. (1988): *A lower atmosphere severity index for wildland fire*, *Natl. Wea. Dig.*, 13, 23–27.
2. Kozarić T., Mokorić, M. (2012): *Kvarnerski požar 23. i 24. srpnja 2012. godine – vremenska analiza*, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 2, 53–66.
3. Mills G.A, McCaw, L. (2010): *Atmospheric Stability Environments and Fire Weather in Australia – extending the Haines Index*, *CAWCR Technical report No. 20*.
4. Mokorić M., Kalin, L. (2005): *Meteorological Support For Forest Fires Protection In Croatia*, *Proceedings of European Conference on Applications of Meteorology*.
5. Mokorić M., Kalin, L. (2006): *The Evaluation of Meteorological Haines Index for Forest Fire Protection in Croatia*, *Proceedings of International Conference on Forest Fire Research*.
6. Potter B. E. (2012a): *Atmospheric interactions with wildland fire behaviour – I. Basic surface interactions, vertical profiles and synoptic structures*, *International Journal of Wildland Fire*, 21, 779–801.
7. Potter B. E. (2012b): *Atmospheric interactions with wildland fire behavior - II. Plume and vortex dynamics*, *International Journal of Wildland Fire*, 21, 802–817.
8. Van Wagner C. E. (1987): *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*, *Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35*.
9. Werth P., Ochoa, R. (1993): *The evaluation of Idaho Wildfire Growth Using the Haines Index*, *Weather and Forecasting*, 8, 223–234.