

FirEUrisk procjena integralnog indeksa požarnog rizika



2025.

FIREURISK – RAZVOJ HOLISTIČKE STRATEGIJE ZA UPRAVLJANJE POŽARNIM RIZICIMA

Broj ugovora: 101003890	
Identifikator poziva: H2020-LC-CLA-2018-2019-2020	
Tema:	LC-CLA-15-2020 Smanjenje rizika od požara raslinja: korak prema pristupu integriranog upravljanja požarima raslinja u EU
Instrument:	RIA

FirEURisk procjena integralnog indeksa požarnog rizika

Identifikator dokumenta:	Diseminacija rezultata projekta FirEURisk za području Republike Hrvatske.
Rok za izradu dokumenta:	31/03/2025
Datum izrade dokumenta:	10/03/2025
Verzija:	1.0
Glavni dokument:	D1.7: Report in the FirEURisk-Wiki on Integrated risk assessment frame definition
Autor glavnog dokumenta i glavni partner ovih istraživanja:	Emilio Chuvieco, Simone Martino, Ramona Velea, Florent Mouillot, Juan R. Molina, Ana I. Miranda, Marin Bugaric, Evgeny Kadantsev, Ioannis Gitas, Avi Bar-Massada, Valerio Pampanoni, Fatima Arroqante, Clara Ochoa, Bruno Moreira and Domingos Viegas
Prijevod, obrada karata i prilagodba za Hrvatsku:	Darko Stipaničev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, Split, Hrvatska
Radni paket:	WP1 - Procjena rizika od požara radi poboljšanja zaštite
Zadatak:	Zadatak 1.3: Procjena rizika i validacija Aktivnost A1.3.1 Integracija procjene rizika
Razina širenja:	☒ PU: Javno ☐ CO: Povjerljivo, samo za članove Konzorcija (uključujući Službe Komisije)



Ovaj je projekt financiran iz programa Europske unije za istraživanje i inovacije Horizont 2020 u okviru ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava br. 101003890.

FIREURISK - DEVELOPING A HOLISTIC, RISK-WISE STRATEGY FOR EUROPEAN WILDFIRE MANAGEMENT

Grant Agreement Number: 101003890	
Call identifier: H2020-LC-CLA-2018-2019-2020	
Topic:	LC-CLA-15-2020 Forest Fires risk reduction: towards an integrated fire management approach in the E.U.
Instrument:	RIA

FirEURisk integral wildfire risk assessment

Deliverable Identifier:	FirEURisk dissemination documents for the territory of the Republic of Croatia
Deliverable Due Date:	31/03/2025
Deliverable Submission Date:	30/03/2025
Deliverable Version:	1.0
Main Document:	D1.7: Report in the FirEURisk-Wiki on Integrated risk assessment frame definition
Author of Main Deliverable and Lead Partner of this work:	Emilio Chuvieco, Simone Martino, Ramona Velea, Florent Mouillot, Juan R. Molina, Ana I. Miranda, Marin Bugaric, Evgeny Kadantsev, Ioannis Gitas, Avi Bar-Massada, Valerio Pampanoni, Fatima Arrogante, Clara Ochoa, Bruno Moreira and Domingos Viegas
Translation, Map preparation and Adaptation for Croatia:	Darko Stipaničev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović Faculty of Electrical Engineering, Machine Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Croatia
Work Package:	WP1 - Fire risk assessment to improve prevention
Task:	Task 1.3 Risk assessment and validation A1.1.3.1 Risk assessment integration
Dissemination Level:	☒ PU: Public ☐ CO: Confidential, only for members of the Consortium (including the Commission Services)

Odricanje od odgovornosti

Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost izdavača i ne predstavlja nužno stavove Europske komisije ili njenih službi. Iako se informacije sadržane u dokumentima smatraju točnima, autori ili bilo koji drugi sudionik FirEURisk konzorcija ne daju nikakva jamstva u vezi s ovim materijalom, uključujući, ali ne ograničavajući se na implicirana jamstva prikladnosti za određenu svrhu. Ni FirEURisk konzorcij, niti bilo koji od njegovih članova, službenika, zaposlenika ili agenata neće biti odgovorni za nemar ili bilo kojeg drugog razloga zbog bilo kakve netočnosti ili propusta u ovom dokumentu. Bez umanjivanja općenitosti prethodno navedenog, ni FirEURisk konzorcij niti bilo koji od njegovih članova, službenika, zaposlenika ili agenata neće biti odgovorni za bilo kakve izravne ili neizravne ili posljedične gubitke ili štete uzrokovane ili proizašle iz bilo koje informacije, savjeta ili netočnosti ili propusta u ovom dokumentu.

Copyright poruka

© FirEURisk konzorcij, 2021.-2025. Ovaj tekst sadrži originalni neobjavljeni rad, osim gdje je to jasno navedeno. Priznanje prethodno objavljenim materijalima i rada drugih napravljeno je putem odgovarajućeg citiranja, navođenja ili oboje.

Reprodukcija i korištenje svih materijala je dopušteno uz navođenje izvora:

Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M. (2025.) ***FirEURisk procjena integralnog indeksa požarnog rizika***, *FirEURisk Dissemination Report*, 2025. <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-integrirani-indeks-pozarnog-rizika>



Sažetak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1 projekta FirEUriSk Zadatku 1.3. posvećenom procjeni integralnog rizika od požara, aktivnosti 1.3.1. **Integracija procjene rizika** koja se bavila integracijom procjene požarnog rizika u jedinstvenu veličinu. Rezultati su objavljeni u FirEUriSk izvještaju:

Emilio Chuvieco, Simone Martino, Ramona Velea, Florent Mouillot, Juan R. Molina, Ana I. Miranda, Marin Bugaric, Evgeny Kadantsev, Ioannis Gitas, Avi Bar-Massada, Valerio Pampanoni, Fatima Arrogante, Clara Ochoa, Bruno Moreira, and Domingos Viegas, **D1.7: Report in the FirEUriSk-Wiki on Integrated risk assessment frame definition**, FirEUriSk Report, 2023

Emilio Chuvieco, Dimitris Stavrakoudis, **D4.4 Conceptual framework for integrating risk assessment, reduction and adaptation**, FirEUriSk Report, 2024

i drugim internim dokumentima kojima se definira način procjene integralnog požarnog rizika na temelju procjene opasnosti (hazarda) od požara, izloženosti i ranjivosti.

U ovom izvještaju prenosimo najvažnije dijelove ovih istraživanja, na temelju kojih je tijekom požarne sezone 2023. i 2024. računata dnevna procjena požarnog rizika za područje cijele Europe u rezoluciji od 1 km. U ovom dokumentu smo kao primjer prikazali procjenu rizika za područje Hrvatske na dan 30.7.2024. g. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa.

Svi materijali se mogu slobodno koristiti uz navođenje izvora u skladu s Copyrightom.

Abstract

This document is based on research conducted in Work Package 1 of the FirEURisk project, Task 1.3, dedicated to the assessment of integrated fire risk, Activity 1.3.1. Integration of risk assessment, which focused on integrating fire risk assessment into a unified metric. The results are published in the FirEURisk reports:

Emilio Chuvieco, Simone Martino, Ramona Velea, Florent Mouillot, Juan R. Molina, Ana I. Miranda, Marin Bugaric, Evgeny Kadantsev, Ioannis Gitas, Avi Bar-Massada, Valerio Pampanoni, Fatima Arrogante, Clara Ochoa, Bruno Moreira, and Domingos Viegas, **D1.7: Report in the FirEURisk-Wiki on Integrated risk assessment frame definition**, FirEURisk Report, 2023

Emilio Chuvieco, Dimitris Stavrakoudis, **D4.4 Conceptual framework for integrating risk assessment, reduction and adaptation**, FirEURisk Report, 2024

and other internal documents that define the method of assessing integrated fire risk based on the assessment of fire hazard, exposure, and vulnerability.

In this report, we present the key findings from these studies, on the basis of which daily fire risk assessments for the entire European area have been calculated during the fire season of 2023 and 2024, with a resolution of 1 km. As an example, this document presents the risk assessment for the area of Croatia on July 30, 2024, when a major fire occurred near Tučepi.

All materials can be freely used with proper attribution in accordance with Copyright regulations.

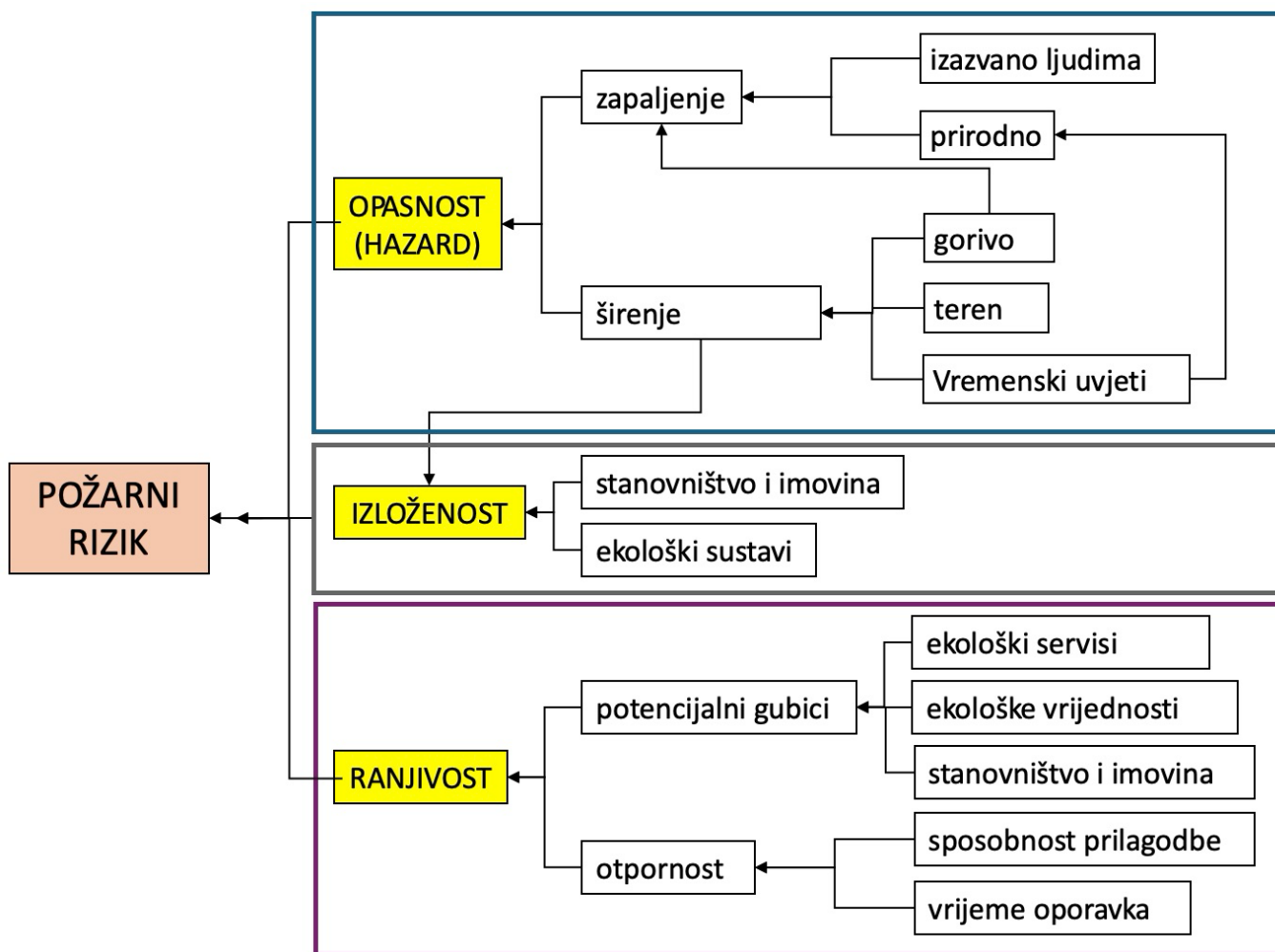
Sadržaj

Sažetak	ii
Abstract.....	iii
Sadržaj.....	iv
1. Uvod.....	1
2. Ulazne i izlazne varijable kod procjene FirEurisk integralnog protupožarnog rizika	2
4. Detaljni proračun FirEurisk integralnog indeksa požarnog rizika (IRI)	4
4.1. Proračun opasnosti (hazarda) na požare (D)	4
4.2. Proračun izloženosti na požare (E)	5
4.3. Proračun ranjivosti na požare (D).....	5
4.4. Proračun integralnog požarnog rizika (IRI)	8
5. Primjer proračuna integralnog požarnog rizika	9
6. Zaključak	25
Literatura	26

1. Uvod

Prema metodologiji projekta **FirEUrisk** **požarni rizik** (engl. *Wildfire Risk*) je kompleksna veličina koja ovisi o tri faktora (Slika 1.):

1. požarnoj opasnosti (hazardu) (engl. *Wildfire Danger (Hazard)*)
2. požarnoj izloženosti (engl. *Wildfire Exposure*)
3. požarnoj ranjivosti (engl. *Wildfire Vulnerability*).



Slika 1. Proračun požarnog rizika u okviru projekta FirEUrisk

Požarna opasnost (hazard) (engl. *Wildfire Danger/Hazard*) se određuje na temelju procjene vjerojatnosti zapaljenja (engl. *Ignition*) i procjene **propagacijskog potencijala** područja na temelju analize mogućeg **širenja** požara (engl. *Propagation*). Propagacijski potencijal je isto tako važan ulazni parametar za procjenu **požarne izloženosti** (engl. *Wildfire Exposure*) uz procjenu izloženosti stanovništva i imovine i ekoloških sustava. Treći dio je **požarna ranjivost** (engl. *Wildfire Vulnerability*) koja procjenjuje potencijalne gubitke, ali i otpornost sustava.

Svaki od ovih elemenata obrađen je u posebnom diseminacijskom dokumentu objavljenom na stranicama CIPOP-a. Zadnji korak je integracija kojoj je posvećen ovaj dokument koja objašnjava kako konačno procijeniti požarni rizik u intervalu [0 , 1]. Na temelju ovih proračuna tijekom požarnih sezona 2023. i 2024. požarni rizik je računat dnevno za područje cijele Europe u rezoluciji 1 km.

2. Ulazne i izlazne varijable kod procjene FirEUriSk integralnog protupožarnog rizika

Požarni rizik se računa na razini piksela rasterskih GIS, slično kako se računao i propagacijski potencijal (Stipaničev et al., 2025a.). Za svaki piksel pročitaju se vrijednosti svih ulaznih rasterskih karata, primjene su odgovarajući matematički modeli i njihovim formulama izračunaju vrijednosti požarnog rizika za taj piksel. Na kraju kada se izračunaju vrijednosti za sve piksele formira se izlazna rasterska karte. Veličina piksela može biti bilo koja, samo je bitno da sve ulazne karte imaju istu projekciju, istu rezoluciju i isti obuhvat (engl. *Extend*) tako da sve ulazne karte imaju isti broj redova i stupaca. Požarni rizik se računa prema shemi na Slici 1., a ulazne rasterske GIS karte su navedene u Tablici 1.

Tablica 1. Ulazne rasterske GIS karte za proračun požarnog rizika prema shemi na Slici 1.

veličina	jedinica	način proračuna
TP – temperatura (engl. <i>Temperature</i>)	°C	Globalne karte nekih od prognostičkih modela. U FirEUriSk projektu korištene su karte DWD-ICON-EU modela u rezoluciji 7 km ¹
RH - relativna vlažnost (engl. <i>Relative Humidity</i>)	%	isto kao gore
P - količina padalina (engl. <i>Precipitation</i>)	mm	isto kao gore
WS - brzina vjetrova (engl. <i>Wind Speed</i>)	m/s	isto kao gore
WD - smjer vjetrova (engl. <i>Wind Direction</i>)	°	isto kao gore
CL_C - oblačnost (engl. <i>Cloud Cover</i>)	%	isto kao gore
S - nagib (engl. <i>Slope</i>)	° ili %	karte nagiba odgovarajuće rezolucije ²
A - ekspozicija (engl. <i>Aspect</i>)	°	karte nagiba odgovarajuće rezolucije ²
FT - tipovi goriva (engl. <i>Fuel Types</i>)	klase goriva po Scott-Burgan klasifikaciji (engl. <i>Fuel Classes</i>)	FirEUriSk mape goriva ³
PNI - vjerojatnost prirodnog zapaljenja (engl. <i>Probability of Natural Ignition</i>)	0/1000	FirEUriSk mape prirodnog zapaljenja i zapaljenja izazvanog ljudima ⁴
PHI - vjerojatnost zapaljenja izazvanog ljudima (engl. <i>Probability of Human Ignition</i>)	0/1000	FirEUriSk mape prirodnog zapaljenja i zapaljenja izazvanog ljudima ⁴
LFMC - sadržaj vlage živog goriva (engl. <i>Live Fuel Moisture Content</i>)	% DW	FirEUriSk proračun na temelju satelitskih podataka ⁵
E - izloženost (engl. <i>Exposure</i>)	0, 0.8, 1	FirEUriSk proračun na temelju WUI i karta goriva ⁶
HV - vrijednosti kuća i infrastrukture (engl. <i>Value of Houses and Infrastructures</i>)	€/ha	FirEUriSk proračun na temelju statističkih podataka ⁷
CL - klimatske regije (engl. <i>Climatic Regions</i>)	da/ne mediteranska regija	koristi se kod procjene materijala za izgradnju kuća ⁷
ESV _i - vrijednosti ekoloških servisa (engl. <i>Ecosystem Service Values</i>)	€/ha/year	na temelju statistike ⁷
EVa - ekološke vrijednosti (engl. <i>Ecological Values</i>)	0/1000	različite baze ⁷
LOSS3 – gubitak ekoloških vrijednosti (engl. <i>Potential Loss of Ecological Values</i>)	0/1000	računa se na temelju kapaciteta prilagodbe i održljivosti - LOSS3 = 1 CC gdje je CC – kapacitet prilagodbe (engl. <i>Coping Capacity</i>) ⁷
RT – vrijeme oporavka (engl. <i>Recovery Time</i>)	years	različito za različite vrste ⁷

¹ https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=prognosticki_modeli¶m=dwd_icon

² <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/propagacijski-potencijal-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

³ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-modeli-i-karte-goriva-za-podrucje-republike-hrvatske-novi-diseminacijski-dokument-projekta-fireurisk>

⁴ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/vjerojatnost-zapaljenja-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

⁵ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/vlaznost-goriva-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

⁶ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/pozarna-izlozenost-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

⁷ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/ranjivost-na-pozare-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

Izlazni podaci na temelju kojih se računa integralni rizik prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Izlazne rasterske GIS na temelju kojih se konačno računa integralni požarni rizik prema shemi na Slici 1

veličina	jedinica	ulazne veličine	izvor
FI - intenzitet požara na vatrenoj liniji (engl. <i>Fireline Intensity</i>)	kW/m	TP, RH, TP, WS, WD, S, A, FT, LFMC	proračun propagacijskog potencijala ¹
FL – duljina plamena (engl. <i>Flame Length</i>)	m	TP, RH, TP, WS, WD, S, A, FT, LFMC	proračun propagacijskog potencijala ¹
PP – vjerojatnost propagacijskog potencijala (engl. <i>Probability of Propagation</i>)	0-1000	FI	FirEURisk proračun propagacijskog potencijala - Poglavlje 6 ¹
PI – vjerojatnost zapaljenja (engl. <i>Probability of Ignition</i>)	0-1000	PNI, NHI	FirEURisk proračun vjerojatnosti zapaljenja ²
D – požarna opasnost (hazard) (engl. <i>Danger (Hazard)</i>)	0/1000	PI, PP	FirEURisk proračun u nastavku
RHV – smanjenje vrijednosti kuća i infrastrukture (engl. <i>Reduction of House Values</i>)	€/ha	H, FL, CL	FirEURisk proračun ranjivosti ³
TESV _i – smanjenje vrijednosti ekoloških servisa (engl. <i>Reduction of Ecosystem Services Values</i>)	€/ha/year	ES _i , FL	FirEURisk proračun ranjivosti ³
SEV _n – normalizirana društvena ranjivost (engl. <i>Human Vulnerability</i>)	0-1000	RH, RES	FirEURisk proračun ranjivosti ³
TEV – gubitak ekoloških vrijednosti (engl. <i>Reduction of Ecological Values</i>)	0-1000	EV _a , LOSS3	FirEURisk proračun ranjivosti ³
EV _n – normalizirana ekološka ranjivost i otpornost na požare (engl. <i>Ecological Vulnerability</i>)	0-1000	REV, RT	FirEURisk proračun ranjivosti ³
V – ranjivost na požare (engl. <i>Vulnerability</i>)	0-1000	HVN, EVN	FirEURisk proračun ranjivosti ³
IRI – integrirani indeks požarnog rizika (engl. <i>Integrated Risk Indeks</i>)	0-1000	D, V, E	FirEURisk proračun ranjivosti ³ i proračun u nastavku

¹ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/propagacijski-potencijal-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

² <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/vjerojatnost-zapaljenja-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

³ <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/ranjivost-na-pozare-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

4. Detaljni proračun FirEUrisk integralnog indeksa požarnog rizika (IRI)

Cijeli postupak proračuna FirEUrisk integralnog indeksa požarnog rizika je detaljno opisan u nastavku. Izvori su nam svi dosadašnji diseminacijski izvori (Stipaničev et al. 2024a. – 2024c., 2025a. – 2025d.):

4.1. Proračun opasnosti (hazarda) na požare (D)

1. Izračunati intenzitet požara na vatrenoj liniji (FI) i duljinu plamena (FL) na temelju meteoroloških, topoloških i vegetacijskih podataka (Stipaničev et al. 2024a.). Modeli širenja požara programirani je u Pythonu kako bi se olakšale simulacije za svaki pojedini piksel ulaznih podataka. Treba imati na umu da krajnji cilj ovog dijela nije simulirati širenje konkretnog požara, već potencijalno širenje bilo gdje u Europi u slučaju da do požara dođe, uzimajući u obzir specifične vremenske uvjete, gorivo i topografske karakteristike tog područja. Izlazni podaci ovog modela uključuju najčešće korištene parametre širenja požara: **brzina širenja** (RoS, m/s), intenzitet reakcije (RI, kW/m²), intenzitet požara na vatrenoj liniji (FI, kW/m) i duljina plamena (FL, m). U ovom dokumentu važni su FI i FL, jer su ta dva parametra najvažnija za procjenu potencijalne štete od požara.
2. Izračunati vjerojatnost propagacijskog potencijala PP u intervalu [0,1000] slijedećim postupkom:

- I. Ograničavanje maksimalne vrijednosti FI na 17000 kW/m:

If FI > 17000 then FI = 17000

else FI = FI

- II. Normaliziranje FI na interval [0,1000] koristeći granice koje je postavio Rothermel prema Tablici 6 (Stipaničev et al. 2024a.): 346 kW/m za granicu_1 za ručno gašenje i 1731 kW/m za granicu_2 pogodnu za korištenje mehanizacije. Od 0 do 346 kW/m PP je linearno interpoliran do vrijednosti 500. Za vrijednosti od 346 do 1731 kW/m PP je linearno interpoliran od 500 do 750 (1385 je razlika između granice_2 i granice_1). Iznad 1731 kW/m, pa do maksimalne vrijednosti 17000 vrijednost PP se linearno interpolira od 750 do 1000 (15269 je razlika između maksimalne vrijednosti 17000 i granice_2:

*If (FI < 346) then PP = FI * 500/346*

*else If (FI > 1731) then PP = 750 + (FI - 1731)/15269 * 250*

*else PP = 500 + (FI - 346)/1385 * 250*

3. Drugi dio komponente opasnosti (D) u integracijskom okviru FirEUrisk uključuje ljudski i prirodni potencijal zapaljenja. Budući da nisu postojali povijesni podaci o prirodnim uzrocima požara, a dostupni podaci o požarima nisu sadržavali informacije o uzročnosti, odlučeno je da se svi požari uključe u jedinstveni model, neovisno o njihovu podrijetlu. Koristeći skup podataka o opožarenim površinama FireCCI (ESA FirCCI, 2025.) (Lizundia-Loiola et al., 2020.), koji je korišten i za izradu vremenskih scenarija propagacijskog potencijala za povijesne požare, ali u ovom slučaju uključujući i manje požare (veće od 100 ha), potencijal iniciranja požara uzrokovan ljudima (PHI) procijenjen je korištenjem širokog skupa čimbenika pojave požara (Ochoa et al., 2024.). Ukupan broj požara većih od 100 ha tijekom promatranog razdoblja bio je veći od 33.000. Procjena je temeljena na Random Forest modelu, koji je pružio i raspon

vjerojatnosti i glavne objašnjavajuće čimbenike. Izlazni rezultati su skalirani u raspon 0–1000 radi integracije s ostalim komponentama rizika. PNI se dinamički računa na dnevnoj bazi na temelju karti grmljavina.

Ukupna vjerojatnost zapaljenja PI u intervalu $[0,1]$ računa se korištenjem Kolmogorov-og vjerojatnosnog pravila (engl. *Kolmogorov Probability Rule*) na temelju vjerojatnosti prirodnog zapaljenja (PNI) i zapaljena izazvanog ljudima (PHI):

$$PI = (PHI/1000 + PNI/1000 - PHI/1000 * PNI/1000)$$

PHI se za svaki piksel izvlači iz karte koja se periodično računa. PNI se za svaki piksel izvlači iz dinamičke karte koja se računa na dnevnoj bazi na temelju karti grmljavina. Za detalje određivanja PHI i PNI vidjeti (Stipaničev et al., 2025b.).

4. Izračunati **požarnu opasnost (hazard) D** na način da se vjerojatnost zapaljenja uzima s težinskim faktorom 0,33, a vjerojatnost propagacijskog potencijala s težinskim faktorom 0,67:

$$D = 0,33 * PI + 0,67 * PP$$

Može se tvrditi (kao što se i razmatralo tijekom FirEURisk projekta) da se čimbenici PP i PI mogu množiti, budući da bez iniciranja požara (zapaljenja) ili mogućnosti širenja nema ni opasnosti. Ipak, FirEURisk projekt se odlučio za konzervativniji kompenzacijski pristup, jer se PI temeljio isključivo na velikim požarima, a širenje se može dogoditi i u područjima s vrlo niskim ili nikakvim potencijalom za iniciranje velikih požara. Treba i naglasiti da se ne procjenjuje s vjerojatnost u strogom smislu, već radije **potencijal za iniciranje i širenje požara na temelju povijesnih uvjeta i određene veličine požara**. Unatoč tome, u okviru FirEURisk projekta, testirale su se različite mogućnosti integracije PI i PP putem multiplikativnog pristupa, no rezultati nisu bili realistični — s vrijednostima opasnosti jednakima nuli u mnogim dijelovima srednje i sjeverne Europe, što nije pružalo odgovarajući prostorni prikaz varijabilnosti opasnosti. Ovaj efekt izgladivanja posebno je neprikladan pri pokušaju simulacije ekstremnih uvjeta rizika, budući da su se veliki požari događali i izvan mediteranske Europe.

4.2. Proračun izloženosti na požare (E)

1. Izloženost na požare (E) (engl. *Exposure*) se računa u tri kategorije: negorivo područje, gorivo područje i sučelje urbanog i divljeg područja (engl. *WUI – Wildland Urban Interface*) koje imaju vrijednosti 0; 0,8 i 1. Više detalja u (Stipaničev et al. 2025c.).

4.3. Proračun ranjivosti na požare (D)

1. Proračun ranjivosti na požare (V) (engl. *Vulnerability*) se sastoji od dva koraka:
 - I. Proračuna **društvene ranjivosti i otpornosti na požare** (engl. *Social Vulnerability and Resilience*) (SEV).
 - II. Proračun **ekološke ranjivosti na požare** (engl. *Ecological Vulnerability*) (EV).
2. **Normalizirana društvenu ranjivost** (SEV_n) u intervalu $[0,1]$ računa se na temelju postupka opisanog u (Stipaničev et al., 2025d.):
 - I. **Smanjenje vrijednosti kuća i infrastrukture** zbog mogućih požara:

$$RHV = HV * LOSS1$$

gdje je HV inicijalna vrijednost kuća i infrastrukture (ulazna karta za ovaj proračun), a LOSS1 procijenjeni gubitak vrijednosti zbog požara. LOSS1 se određuje na temelju moguće žestine

požara iskazane preko kategorije mogućih posljedice požara (FIP)(engl. *Foreseen Fire Impact*) na temelju visine plamena (FL)(engl. *Flame Length*) i klimatske zone (CL)(engl. *Climatic Regions*) prema Tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Određivanje kategorije moguće posljedice požara (FIP) na temelju visine plamena (FL).

FL - visina plamena (m)	FIP – kategorija moguće posljedice požara
< 2	I
2 – 3	II
3 – 6	III
6 – 9	IV
9 – 12	V
> 12	VI

Tablica 2. Faktor redukcije vrijednosti kuća i infrastrukture (LOSS1) u ovisnosti o kategoriji moguće posljedice požara (FIP) i klimatskoj zoni (CL).

FIP	I	II	III	IV	V	VI
ne-mediteranska regija (kuće od drva)	0.05	0.20	0.52	0.77	0.90	0.95
mediteranska regija (kuće od krutih materijala)	0.01	0.05	0.12	0.20	0.40	0.60

- II. **Smanjenje vrijednosti ekoloških servisa zbog mogućih požara ($RESV_i$)** (engl. *Reduction of ES*) računa se prema sličnom izrazu:

$$RESV_i = ESV_i * LOSS2$$

gdje su ESV_i vrijednosti pojedinih ekoloških servisa podijeljenih u 9 grupa prema Tablici 3.

Tablica 3. Faktor redukcije vrijednosti ekoloških servisa (LOSS2) u ovisnosti o kategoriji moguće posljedice požara (FIP) i vrsti ekološkog servisa

br.	ES_i	FIP					
		I	II	III	IV	V	VI
1	drvena građa	0.08	0.17	0.39	0.58	0.83	0.90
2	maslinici	0.08	0.17	0.39	0.58	0.83	0.90
3	voćnjaci	0.08	0.17	0.39	0.58	0.83	0.90
4	vinograd	0.08	0.17	0.39	0.58	0.83	0.90
5	oplodnja usjeva	0.08	0.17	0.39	0.58	0.83	0.90
6	goveda	0.45	0.65	0.85	1.00	1.00	1.00
7	ovce	0.45	0.65	0.85	1.00	1.00	1.00
8	sekvencijacija ugljika	0.16	0.40	0.60	0.85	0.98	1.00
9	zadržavanje tla	0.15	0.25	0.45	0.65	0.95	1.00

Ti se gubici integriraju kroz razdoblje tijekom kojeg usluga neće biti dostupna, primjenom uobičajene diskontne stope (r) od 2%.

$$TESV_i = RESV_i \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-\log RT_i}}{r}$$

gdje je $RESV_i$ smanjenje vrijednosti ekološkog servisa i iz jednadžbe (2), r je diskontna stopa od 2%, a RT_i broj godina potreban za oporavak ekološkog servisa i . Ovo je razdoblje procijenjeno na temelju prethodnih istraživanja i prikazuje ga Tablica 4. U slučaju oštećenja

kuća, parametar nije uključen jer se pretpostavlja da se kuće obnavljaju u najkraćem mogućem roku.

Tablica 4. Procijenjeno vrijeme oporavka za različite ekološke servise

br.	ES _i	RT _i
1	drvena građa	računa se na temelju vremena oporavka šumskih vrsta
2	maslinici	7 godina
3	voćnjaci	6 godina
4	vinograd	6 godina
5	oplodnja usjeva	ista kao vrijeme oporavka za zeljaste usjeve
6	goveda	1 godina
7	ovce	1 godina
8	sekvestracija ugljika	računa se iz vremena oporavka šumskih vrsta
9	zadržavanje tla	računa se iz vremena oporavka šumskih vrsta

Za drvenu masu, sekvestraciju ugljika i zadržavanje tla, vremena oporavka izračunata su za svaku šumsku vrstu na temelju europskih karata šumskih vrsta. U okviru projekta FirEUrisk izrađene su karte RT_i iz kojih smo izvukli kartu Hrvatske za godinu 2023. Ove bi karte trebalo povremeno ažurirati, zato što ovise o stanju vegetacije u toj godini.

- III. **Društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV)** konačno je računa zbrajanjem vrijednosti kuća i infrastrukture koje bi potencijalnomogle biti oštećene požarom i vrijednosti usluga ekosustava koje bi mogle biti pogođene. Budući da su obje vrijednosti u različitim redovima veličine (zbog visoke vrijednosti kuća), najprije je primijenjena logaritamska transformacija ukupne vrijednosti, zato što bi u suprotnom većina vrijednosti bude uključena u jednu kategoriju ranjivosti:

$$SEV = \log(RHV + \sum_i TESV_i)$$

Na kraju, izlazne vrijednosti izražene u novčanim jedinicama normalizirane su na ljestvicu 0 – 1 primjenom linearne metode:

$$SEV_n = ((SEV - SEV_{min}) / (SEV_{max} - SEV_{min}))$$

3. **Smanjenje vrijednosti ekoloških servisa (EV_n)** procjenjuje se iz ekološke vrijednost područja prije požara (EV_a) (engl. *Ecological Values*) iskazane kao bezdimenzionalna veličina u intervalu [0,1]. Njena se vrijednost reducira (REV) (engl. *Reduction of Ecological Values*) na temelju mogućih gubitaka ekoloških vrijednosti zbog požara (LOSS3) (engl. *Potential Loss of Ecological Values*) koji su također bezdimenzionalna veličina u intervalu [0,1], temeljena na procjeni otpornosti ili sposobnosti suočavanja (engl. CC - *Coping Capacity*) vrsta koje bi potencijalno mogle biti pogođene požarom.

$$REV = EV_a * LOSS3 = EV_a * (1 - CC)$$

Ekološki gubici integrirani su kroz vrijeme (TEV) (engl. *Integration of Ecological Losses*) korištenjem procijenjenog vremena oporavka (RT) (engl. *Recovery Time*), koje je u ovom slučaju izvedeno na temelju raspodjele vrsta na području Europe, uzimajući u obzir njihove reproduktivne strategije i okolišne uvjete svake čelije.

$$TEV = REV * \frac{1 - (1+r)^{-\log RT}}{r}$$

gdje je r diskontna stopa od 2%, a RT broj godina potrebnih za oporavak. U okviru FirEUrik projekta izrađena je karta vremena oporavka za Europu za godine 2023. i 2024. Iz ove smo karte izvukli vrijednosti za Hrvatsku

Zadnji korak je normalizacija kako bi **normalizirana ekološka ranjivost i otpornost na požare** (EV_n) bila u intervalu [0,1]:

$$EV_n = ((TEV - TEV_{min}) / (TEV_{max} - TEV_{min}))$$

4. Zadnji korak kod procjene FirEUrik **ranjivosti i otpornosti na požare** (V) je integracija društvene ranjivosti i ekološke ranjivosti. Korištena je jednostavna aditivna formula po kojoj se socijalna ranjivost uzima s 60% konačnog utjecaja, a ekološka ranjivost s 40%, pa se **ukupna ranjivost i otpornost na požare** (V) računa po formuli:

$$V = 0,6 * SEV_n + 0,4 * EV_n$$

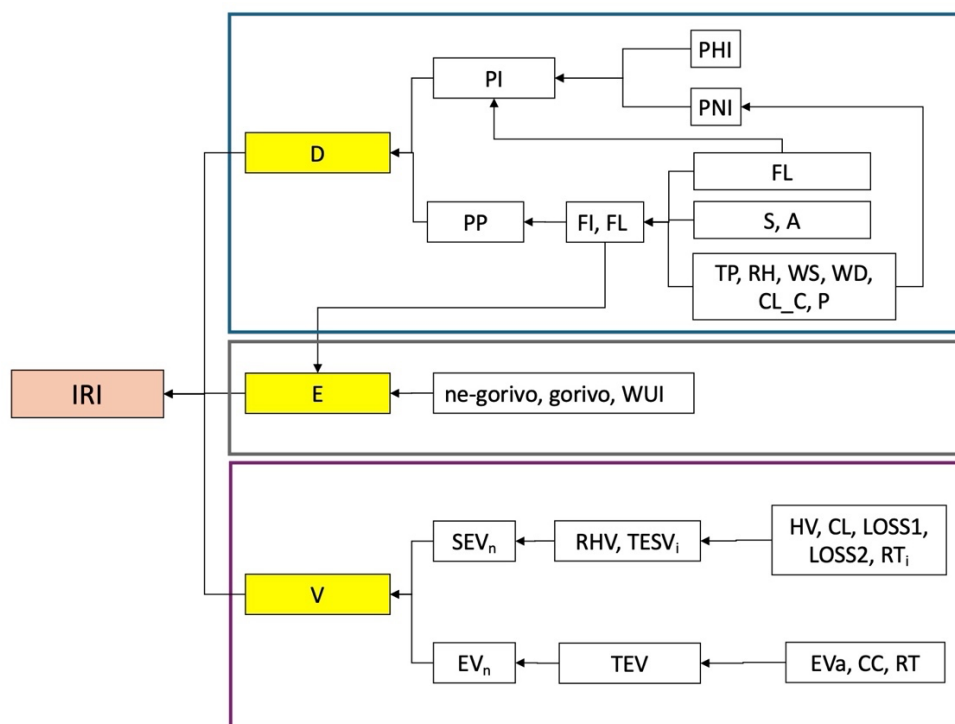
4.4. Proračun integralnog požarnog rizika (IRI)

1. **Integrirani indeks požarnog rizika** (engl. *IRI – Integrated Risk Index*) računa se na temelju opasnosti od požara (engl. *D – Wildfire Danger*), izloženosti (engl. *E – Wildfire Exposure*) i ranjivosti (engl. *V – Wildfire Vulnerability*) FirEUrik jednadžbom:

$$IRI = (0,6 * D + 0,4 * V) * E$$

Kao i u slučaju integracije opasnosti (D), i ovdje je isproban **multiplikativni pristup** triju komponenti, ali je konačna integracija bila prilično nejasna, pa je na kraju odabran **kompensacijski pristup**, koji je bolje očuvao regionalnu raznolikost uvjeta rizika. Naravno, odabrani koeficijenti predstavljaju tek **približnu metodu za spajanje različitih varijabli**, no moguće je razmotriti i složenije sustave, kao i izmjene tih vrijednosti korištenjem **alata za analizu osjetljivosti** (Saltelli et al., 2008).

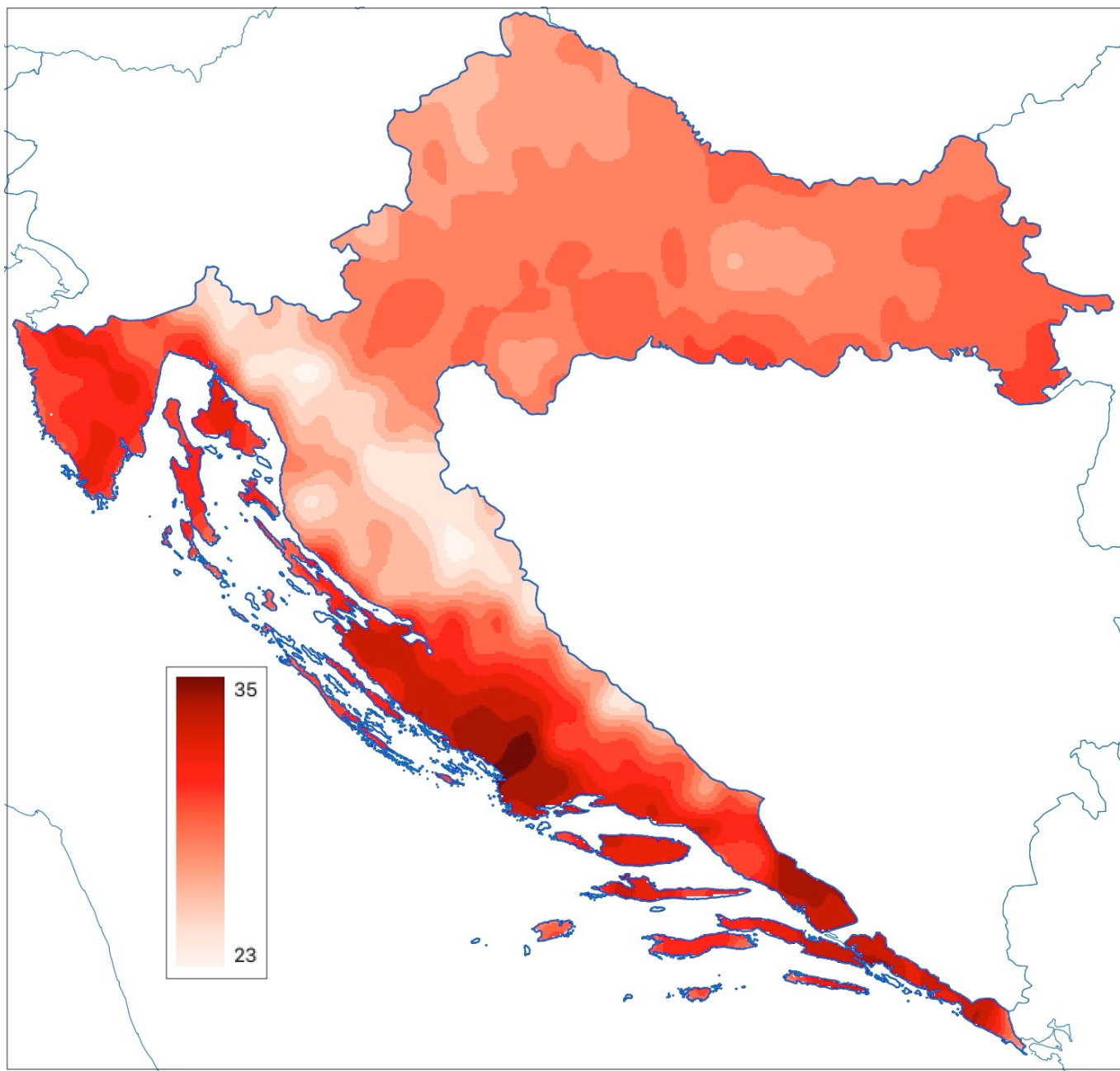
Slika 2. prikazuje postupak proračuna FirEUrik Integralnog indeksa požarnog rizika (IRI).



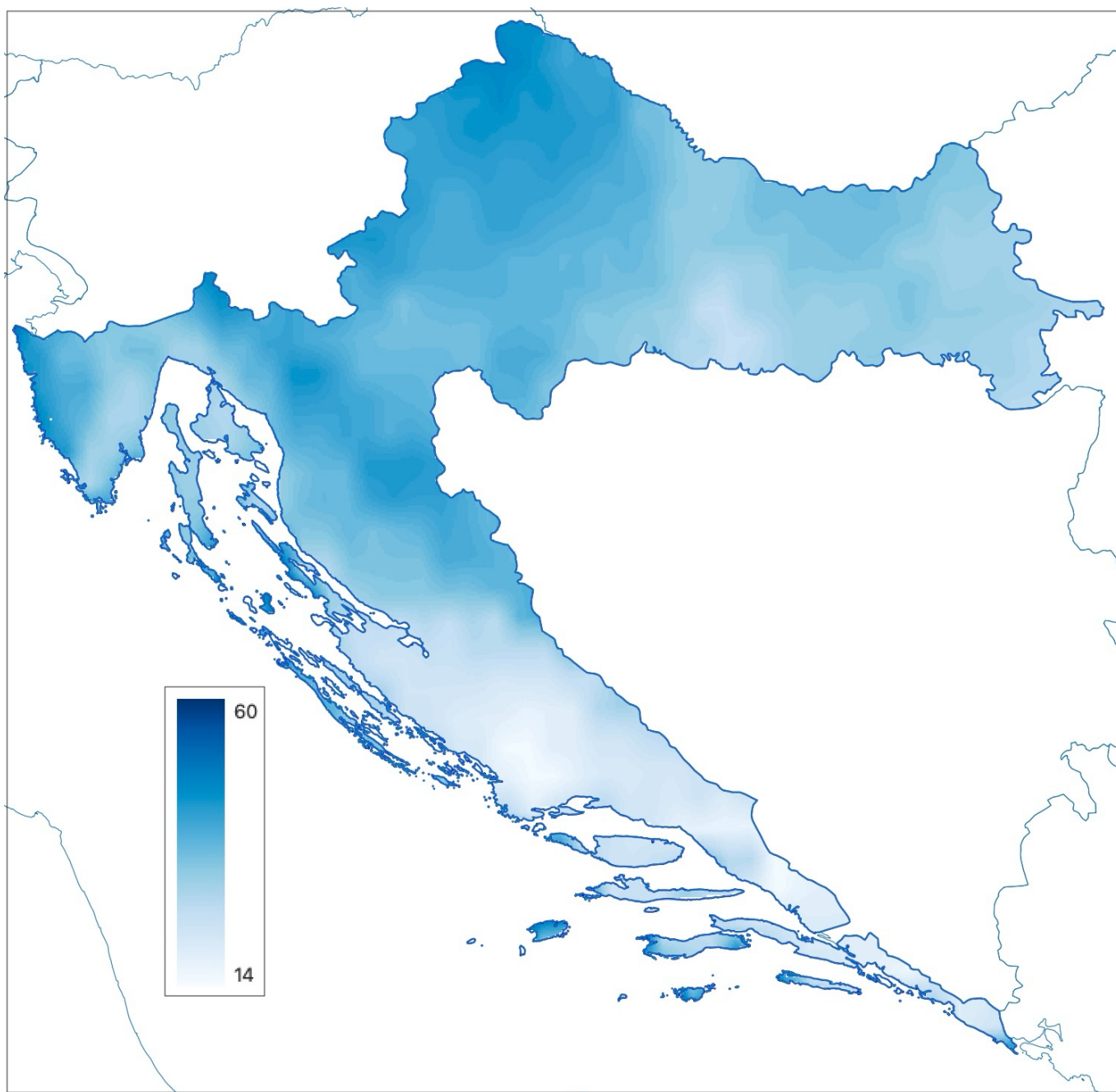
Slika 2. Proračun Integralnog indeksa požarnog rizika (IRI) u okviru projekta FirEUrik

5. Primjer proračuna integralnog požarnog rizika

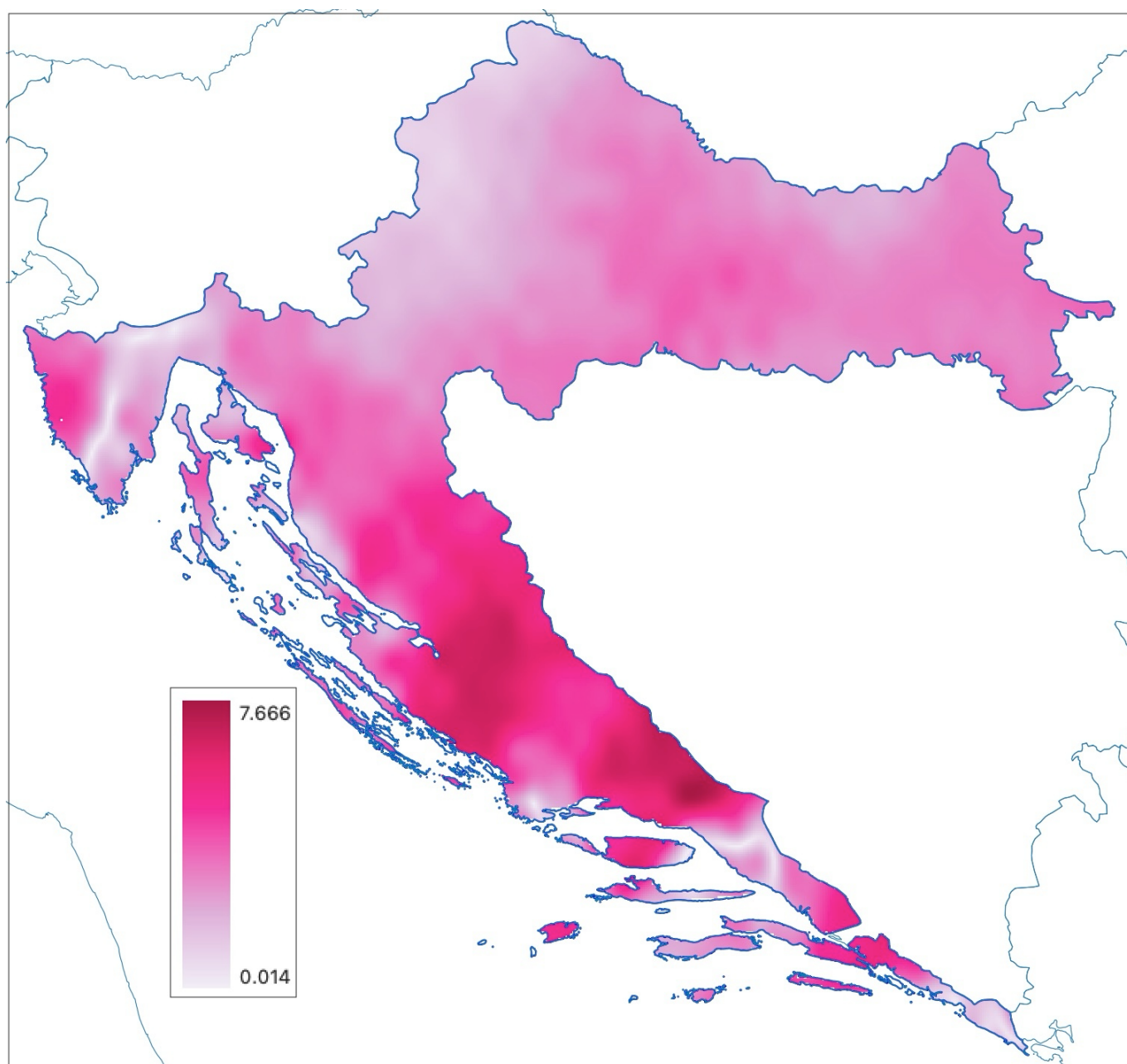
U okviru FirEURisk projekta tijekom požarnih sezona 2023. i 2024. dnevno je računat integralni požarni rizik za područje cijele Europe u rezoluciji od 1000 m. Od ovih karata odabrali smo datum 30.07.2024. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa, te smo izvukli karte za područje Hrvatske koje prikazujemo u nastavku. Neke od karata su statičke i korištene za sve simulacije, a neke dinamičke računate baš za specifični datum, u našem slučaju 30.07.2024.g. Kumulativne oborine na taj dan su bile 0 mm, a vjerojatnost prirodnog zapaljenja za područje cijele Hrvatske je bila 0.



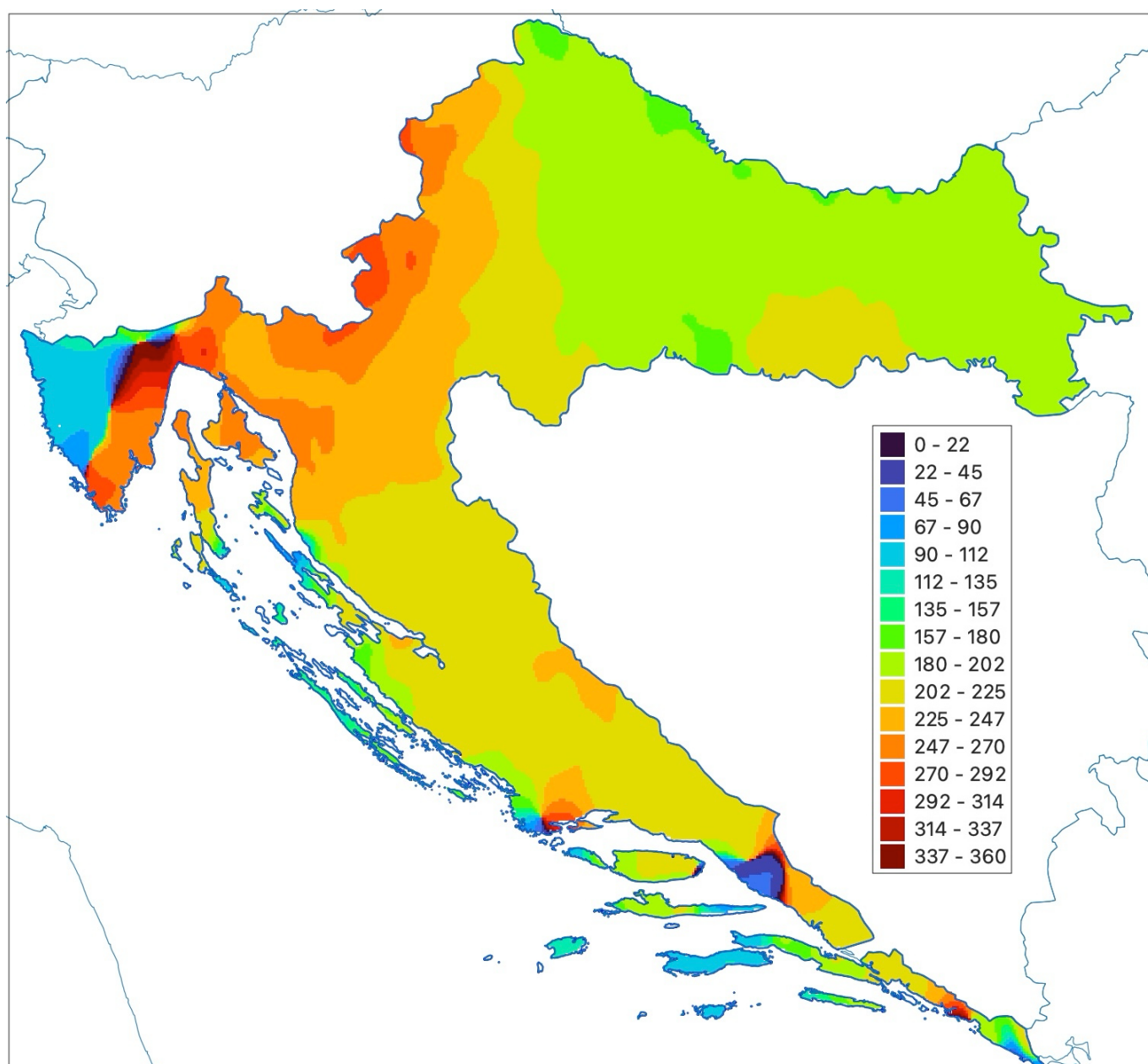
Slika 3. Temperatura (TP) u [°C] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



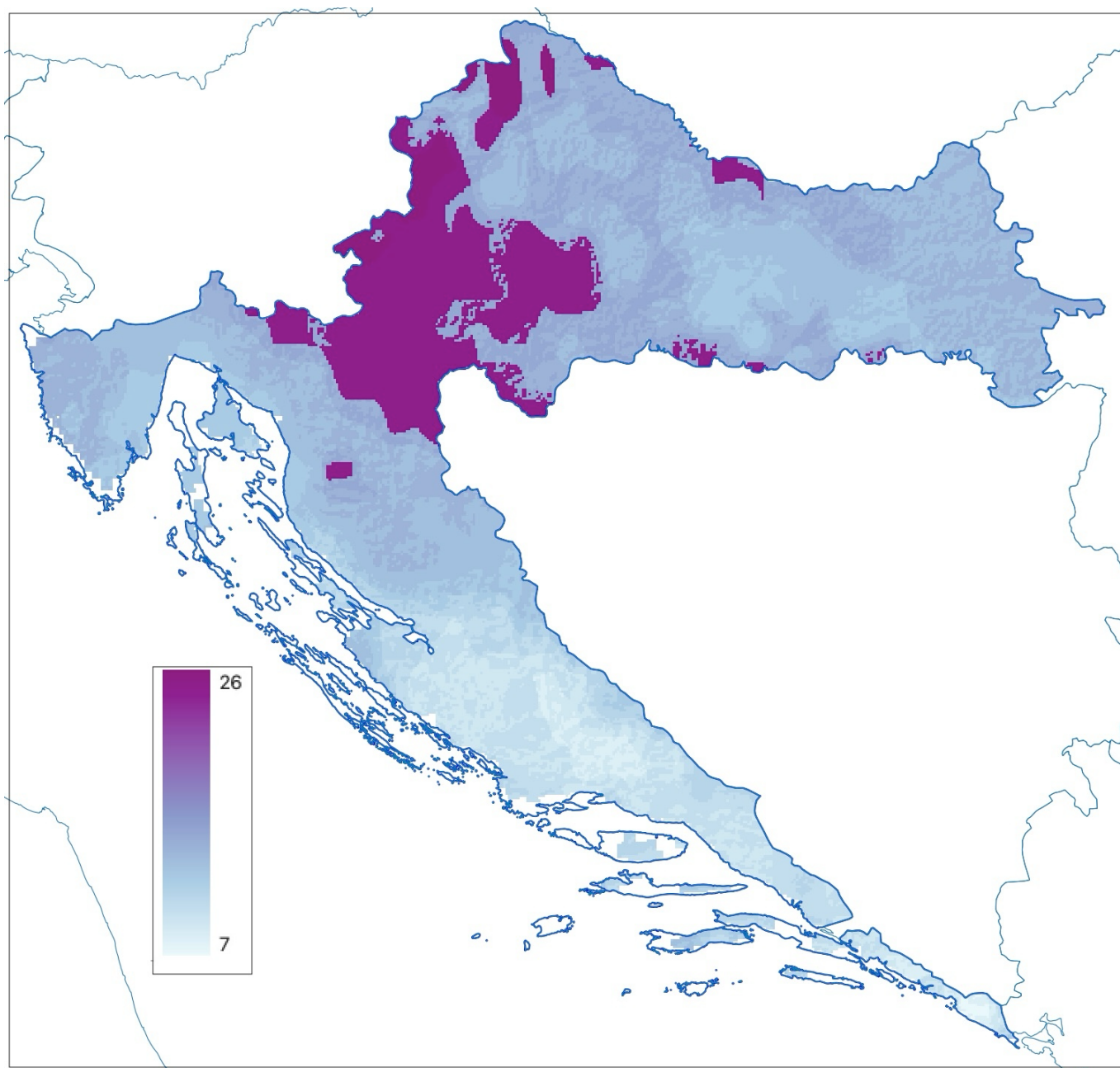
Slika 4. Relativna vlažnost (RH) u [%] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



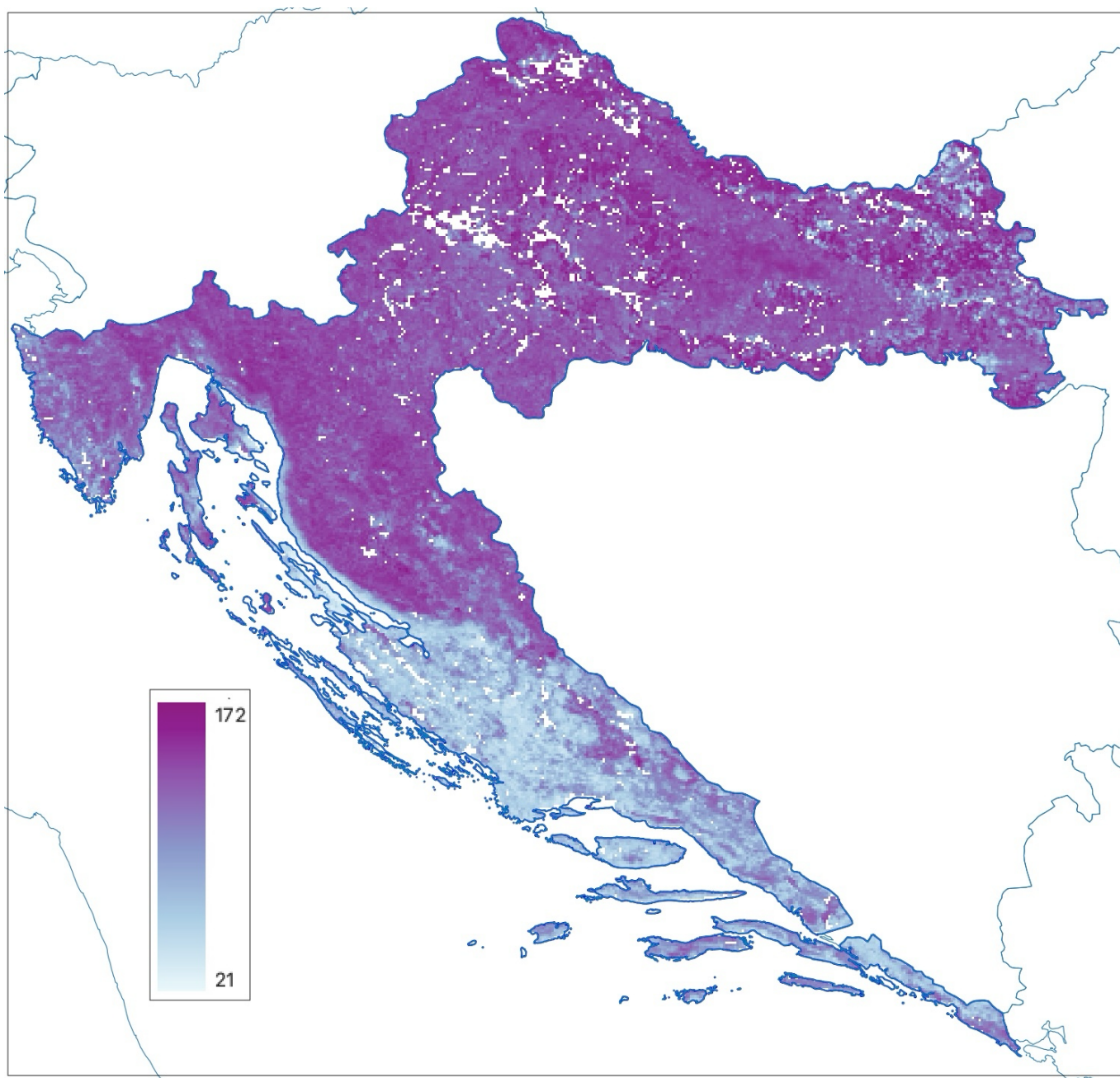
Slika 5. Brzina vjetra (WS) u [m/s] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



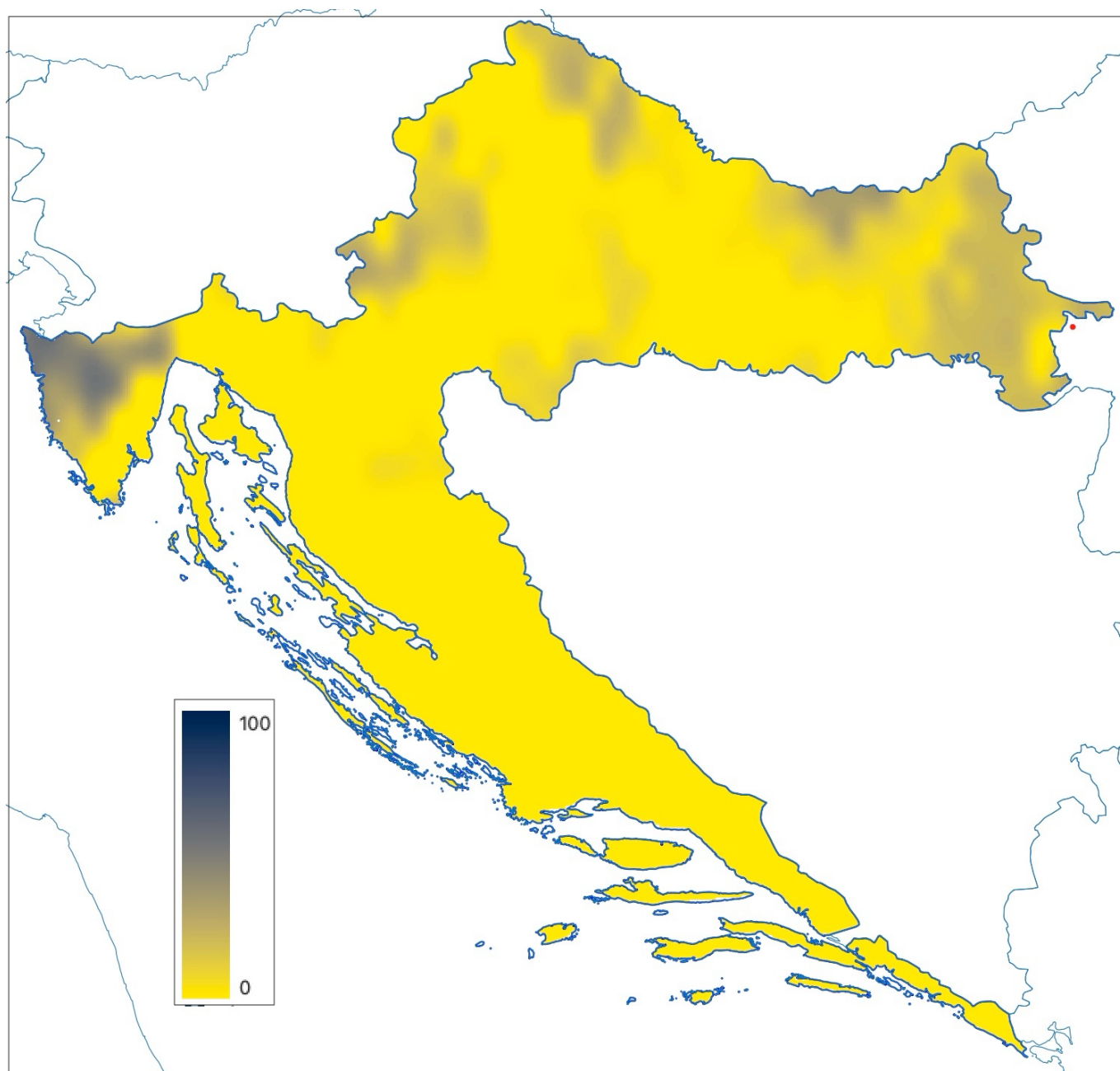
Slika 6. Smjer vjetra (WD) u [°] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



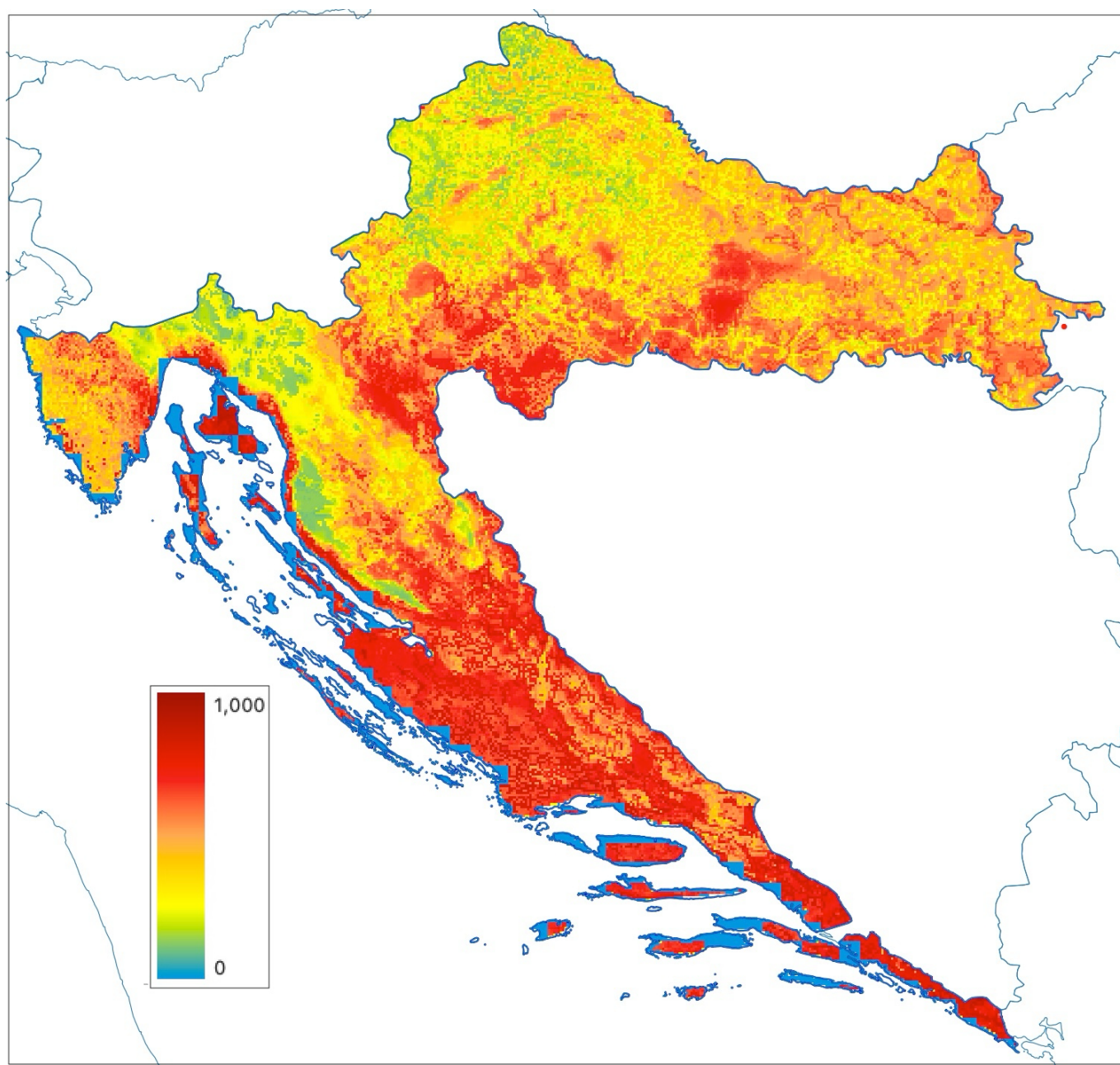
Slika 7. Vlažnost mrtvog goriva srednjeg (DFMC 10h) u [%] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



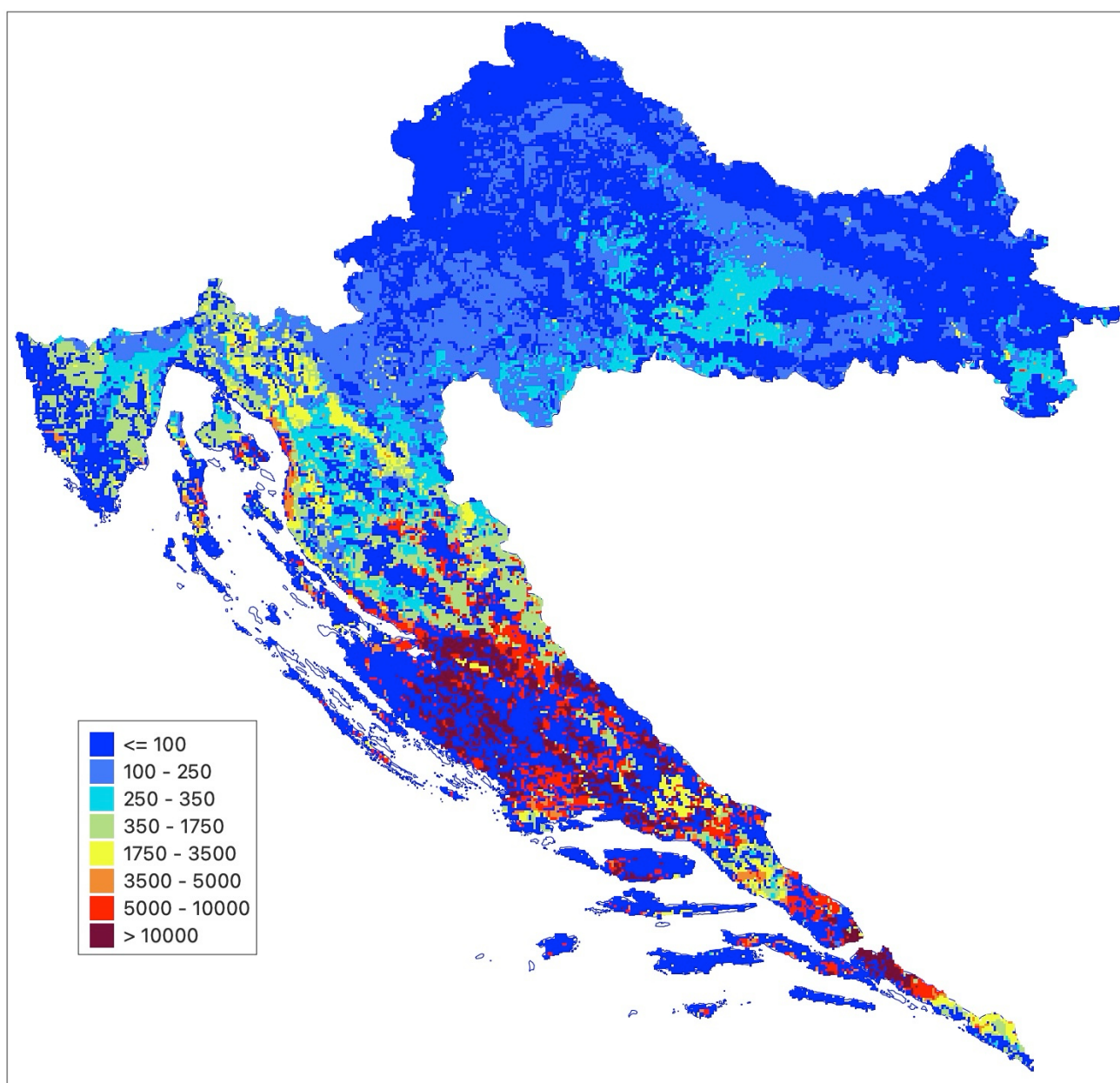
Slika 8. Vlažnost živog goriva (LFMC) u [%] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



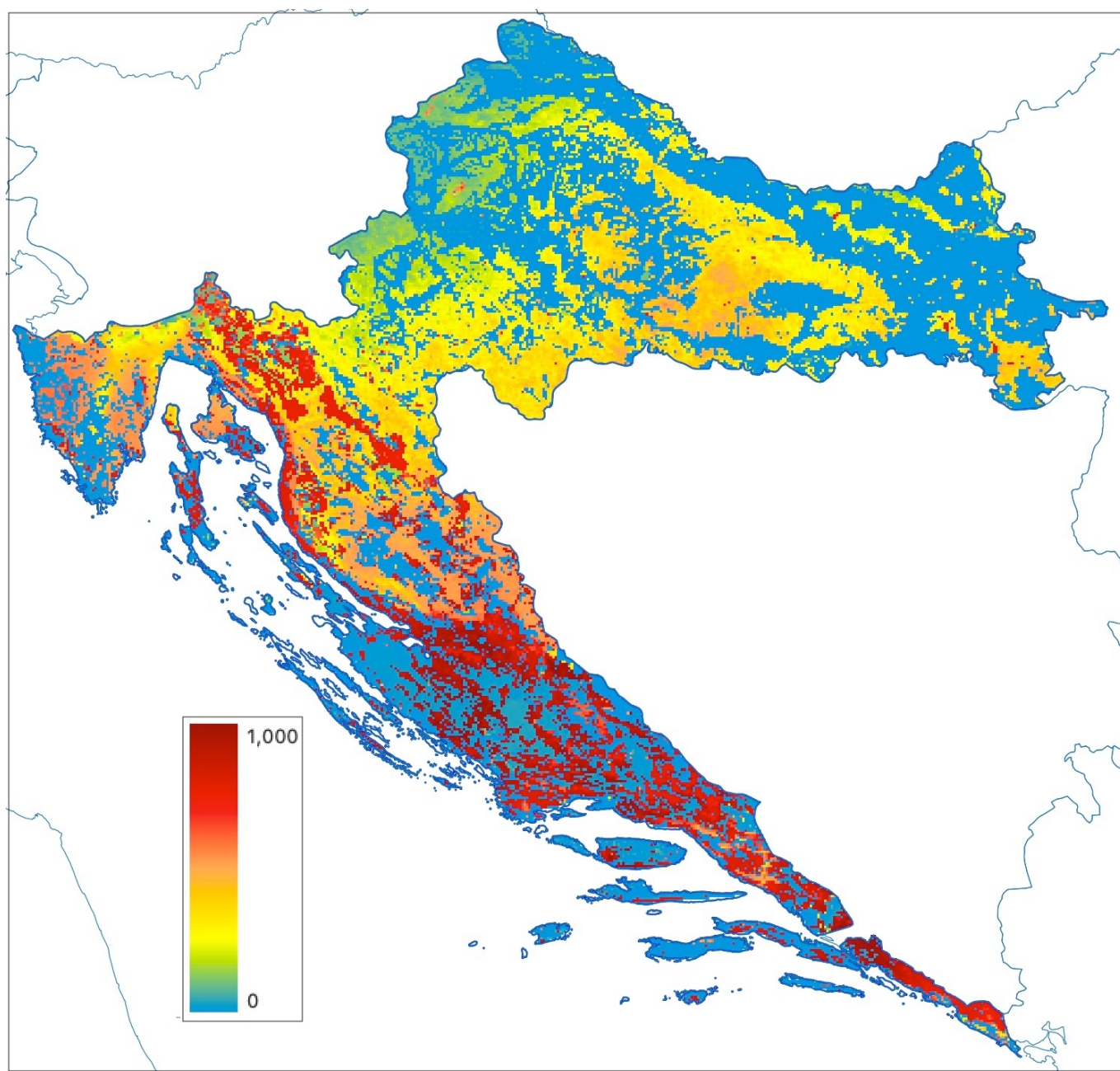
Slika 9. Oblačnost (CL_C) u [%] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



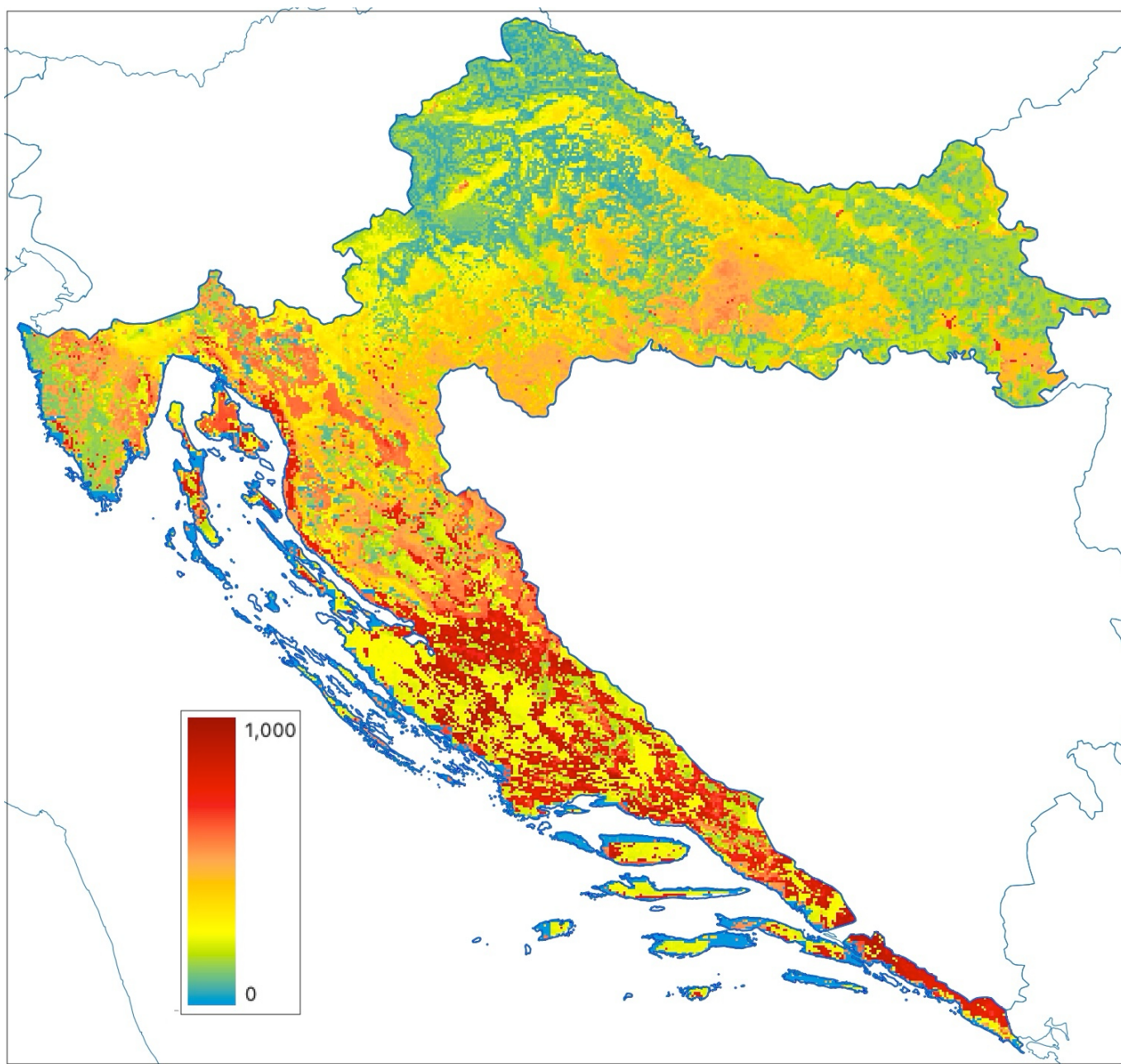
Slika 10. Vjerojatnost zapaljenja (PI) u intervalu $[0,1]$ za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g. ista je kao i vjerojatnost zapaljenja izazvanog ljudima (PHI) zato što je na dan 30.07.2024. na području cijele Hrvatske vjerojatnost prirodnog zapaljenja bila 0.



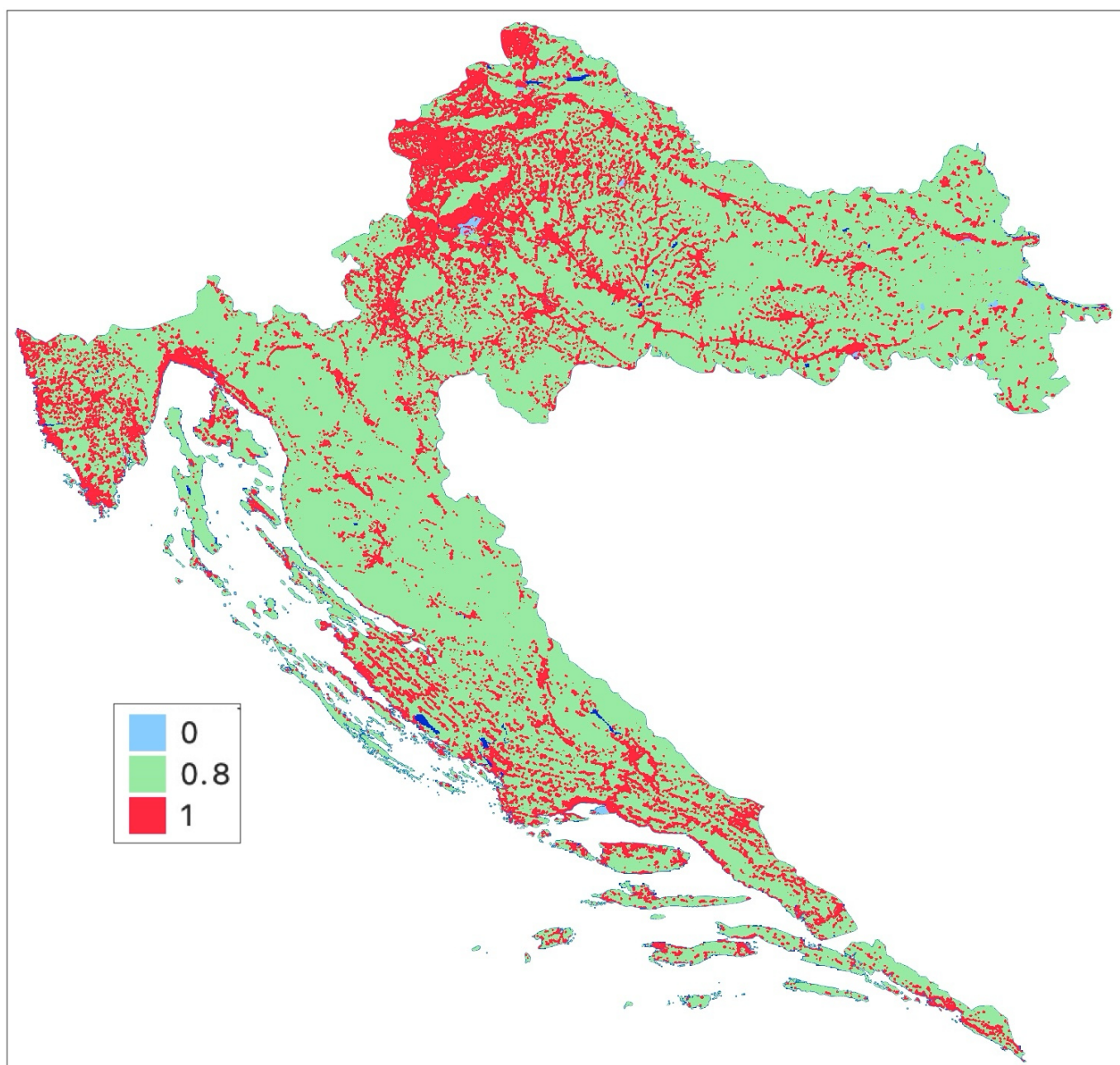
Slika 11. Intenzitet vatrene linije (FI) [kW/m] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



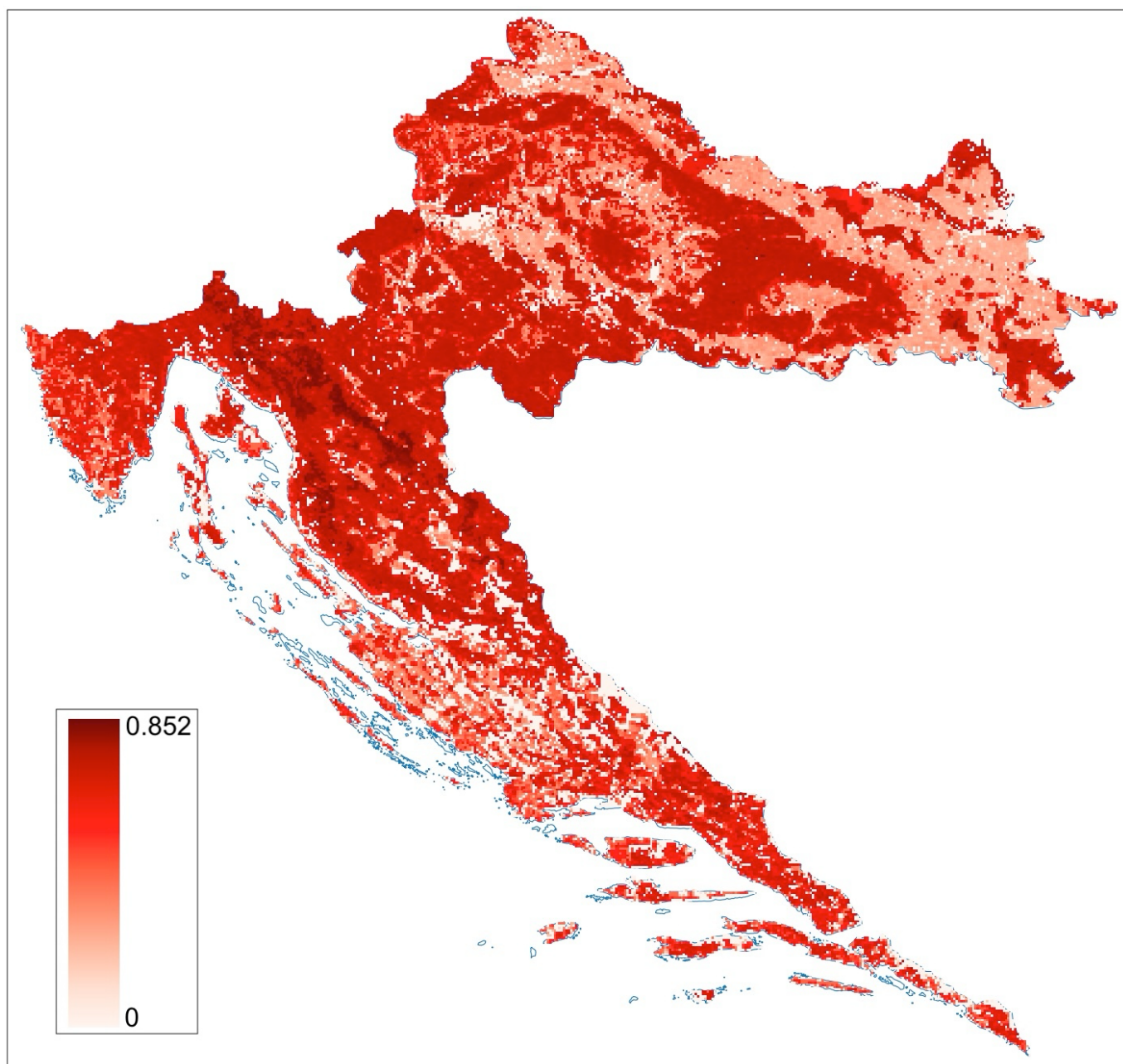
Slika 12. Vjerojatnost propagacijskog potencijala (PP) u intervalu $[0,1]$ za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



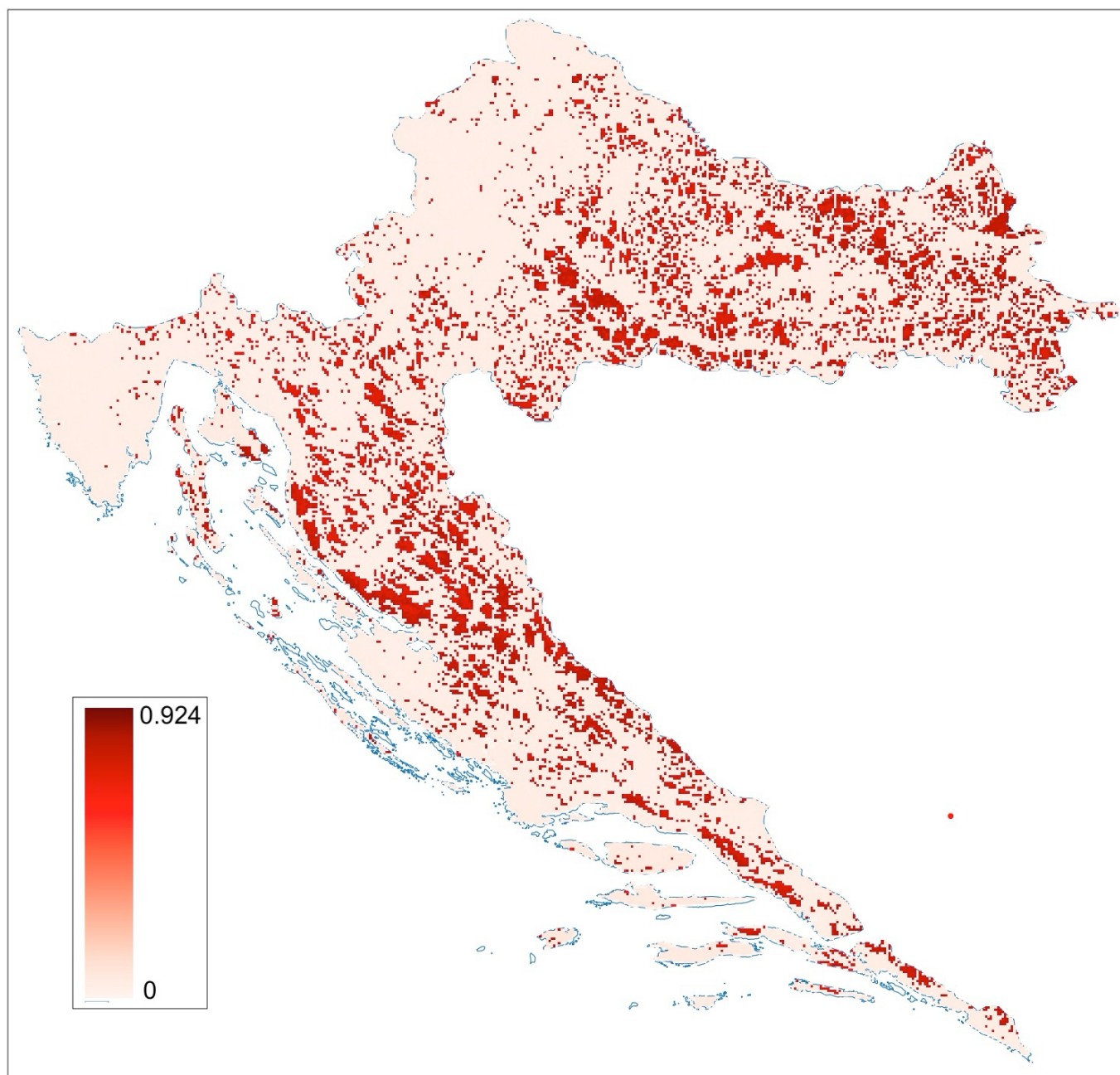
Slika 13. Požarna opasnost (hazard) (D) u intervalu $[0,1]$ za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



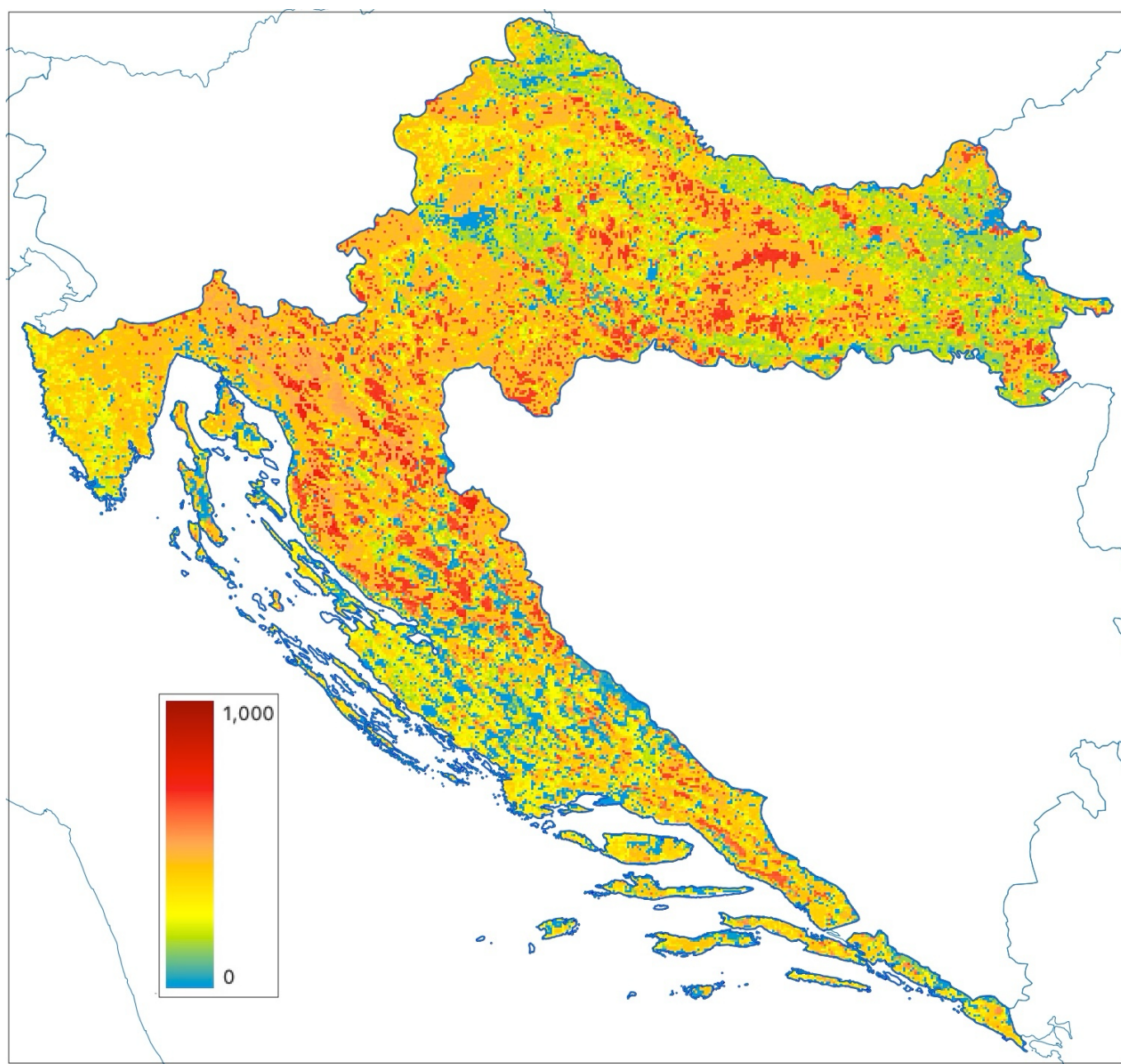
Slika 14. Izloženost (E) s vrijednostima 0 – ne-gorivo područje, 0,8 – gorivo područje, 1 - WUI za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



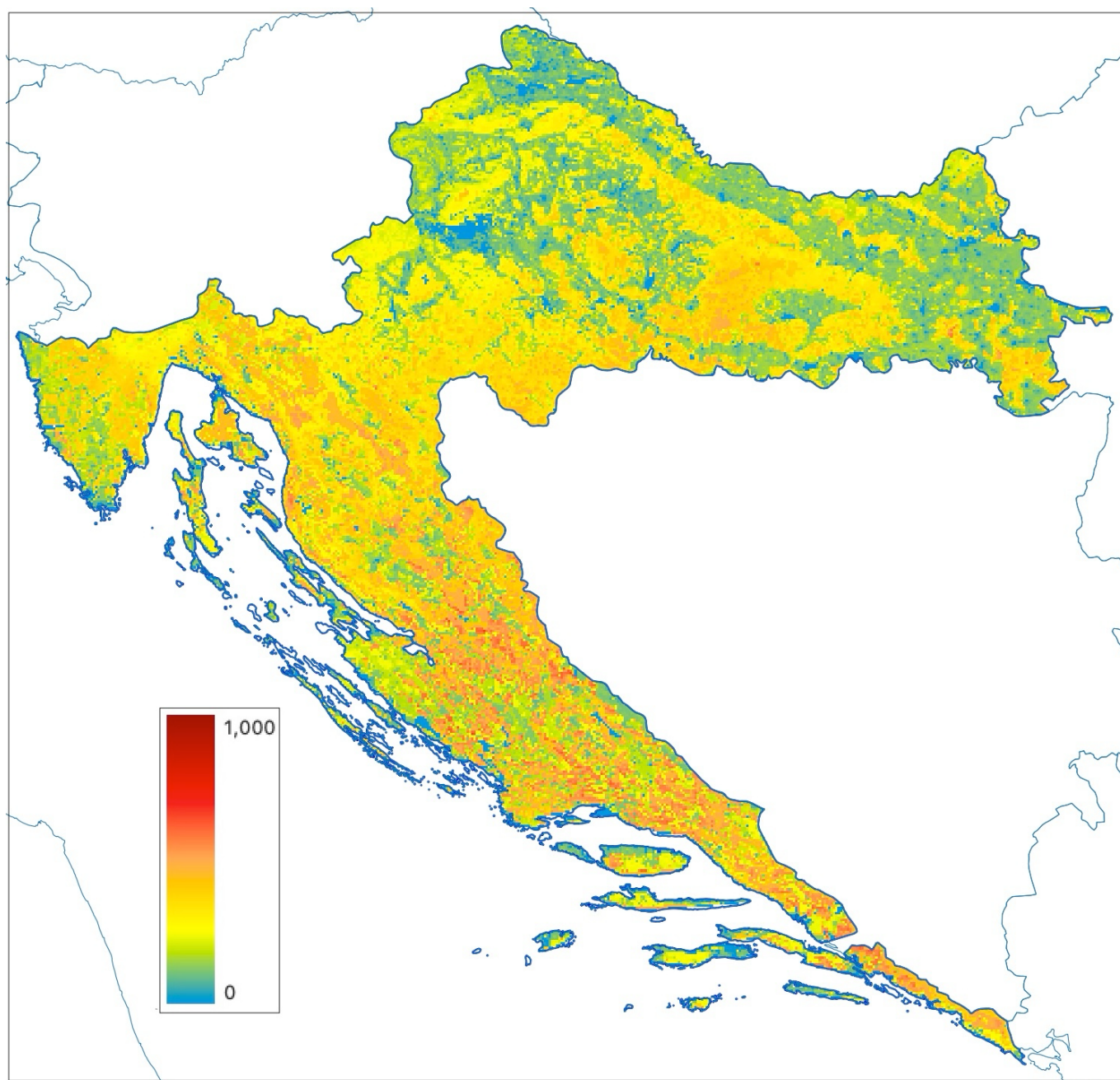
Slika 15. Normalizirana društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV_n) u intervalu $[0,1]$ za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



Slika 16. Normalizirana ekološka ranjivost i otpornost na požare (EV_n) u intervalu $[0,1]$ za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



Slika 17. Ranjivosti i otpornosti na požare (V) u intervalu [0,1] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.



Slika 18. Integrirani indeks požarnog rizika (IRI) u intervalu [0,1] za područje Hrvatske na dan 30.07.2025.g.

6. Zaključak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1 projekta FirEUrisk Zadatku 1.3. posvećenom procjeni integralnog rizika od požara, aktivnosti 1.3.1. **Integracija procjene rizika** koja se bavila integracijom procjene požarnog rizika u jedinstvenu veličinu. Rezultati su objavljeni u FirEUrisk izvještaju kojima se definira način procjene integralnog požarnog rizika na temelju procjene opasnosti (hazarda) od požara, izloženosti i ranjivosti.

U ovom izvještaju prenosimo najvažnije dijelove ovih istraživanja, na temelju kojih je tijelom požarne sezone 2023. i 2024. računata dnevna procjena požarnog rizika za područje cijele Europe u rezoluciji od 1 km. U ovom dokumentu smo kao primjer prikazali procjenu rizika za područje Hrvatske na dan 30.7.2024. g. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa.

Svi materijali dostupni uz ovaj izvještaj mogu se slobodno koristiti uz navođenje izvora u skladu s Copyrightom.

Literatura

- (Alcasena et al., 2023.) Fermín Alcasena, Elena Aragoneses, Vadim Bogomolov, Marin Bugarić, David Caballero, Emilio Chuvieco, Àngel Cunill Camprubí, Mariano García, Pere Joan Gelabert, Adrián Jimenez-Ruano, Ana Miranda, Diogo Lopes, Viktor Myroniuk, Clara Ochoa Velez, Nadia Politi, Carlos Prado, Michele Salis, Victor Resco de Dios, Luis Mario Ribeiro, Marcos Rodrigues, Ángela Rivera, Thanasis Sfetsos, Darko Stipaničev, Luis Torres, Mandy Vlachogianni, Sergiy Zibtsev, Cristina Vega-Garcia, (2023.) D1.1 – Report on methodological frameworks for each danger modelling process, FirEurisk Report, 2023.
- (Chuveico et al., 2023.) Emilio Chuvieco, Simone Martino, Ramona Velea, Florent Mouillot, Juan R. Molina, Ana I. Miranda, Marin Bugaric, Evgeny Kadantsev, Ioannis Gitas, Avi Bar-Massada, Valerio Pampanoni, Fatima Arrogante, Clara Ochoa, Bruno Moreira, and Domingos Viegas, D1.7: Report in the FirEurisk-Wiki on Integrated risk assessment frame definition, FirEurisk Report, 2023
- (Chuvieco & Stavrakoudis, 2024.) Emilio Chuvieco, Dimitris Stavrakoudis, D4.4 Conceptual framework for integrating risk assessment, reduction and adaptation, FirEurisk Report, 2024.
- (ESA FirCCI), (2025.) ESA Climat Office – FireCCI Project, <https://climate.esa.int/en/projects/fire/about/>
- (Lizundia-Loiola et al., 2020.) Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R., & Chuvieco, E. (2020). A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111493.
- (Ochoa et al., 2024.) Ochoa, C., Bar-Massada, A., & Chuvieco, E. (2024). A European-scale analysis reveals the complex roles of anthropogenic and climatic factors in driving the initiation of large wildfires. *Science of the Total Environment*, 917, 170443.
- (Saltelli et al., 2008.) Saltelli, A., Chan, K., & Scott, E.M. (2008). *Sensitivity analysis*. Chichester (England): John Wiley & Sons.
- (Stipaničev et al., 2024a.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, (2024.) M.: Vlažnost goriva kod proračuna FirEurisk požarnog rizika, FirEurisk Dissemination Report, 2024. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/vlaznost-goriva-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>
- (Stipaničev et al., 2024b.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M., (2024.) FirEurisk modeli i karte goriva za područje Republike Hrvatske, FirEurisk Dissemination Report, 2024. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-modeli-i-karte-goriva-za-podrucje-republike-hrvatske-novi-diseminacijski-dokument-projekta-fireurisk>
- (Stipaničev et al., 2024c.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M., (2024.) FirEurisk karte goriva u krošnjama za područje Republike Hrvatske, FirEurisk Dissemination Report, 2024. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-karte-goriva-u-krošnjama-za-podrucje-republike-hrvatske>
- (Stipaničev et al., 2025a.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M. (2025.) Propagacijski potencijal kod proračuna FirEurisk požarnog rizika, FirEurisk Dissemination Report, 2025. <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/propagacijski-potencijal-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>
- (Stipaničev et al., 2025b.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M. (2025.) Vjerojatnost zapaljenja kod proračuna FirEurisk požarnog rizika, FirEurisk Dissemination Report, 2025.

<https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/vjerojatnost-zapaljenja-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

(Stipaničev et al., 2025c.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M., (2025.) Požarna izloženost kod proračuna FirEUrisk požarnog rizika, FirEUrisk Dissemination Report, 2025. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/pozarna-izlozenost-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>

(Stipaničev et al., 2025d.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M. (2025.) Požarna ranjivost kod proračuna FirEUrisk požarnog rizika, FirEUrisk Dissemination Report, 2025. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/ranjivost-na-pozare-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>