

Vjerojatnost zapaljenja kod proračuna FirEUrisk 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

Vjerojatnost zapaljenja kod proračuna FirEURisk požarnog rizika

Identifikator dokumenta:	Diseminacija rezultata projekta FirEURisk za području Republike Hrvatske.
Rok za izradu dokumenta:	31/03/2025
Datum izrade dokumenta:	25/03/2025
Verzija:	1.0
Glavni dokument:	D1.1 – Report on methodological frameworks for each danger modelling process
Autor glavnog dokumenta i glavni partner ovih istraživanja:	Fermín Alcasena, Elena Aragonese, 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
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 1.1: Procjena rizika od požara Aktivnost A1.1.2. Prirodna zapaljenja ; 1.1.3. Zapaljenje izazvano ljudima
Razina širenja:	☒ PU: Javno ☐ CO: Povjerljivo, samo za članove Konzorcija (uključujući Službe Komisije)



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

Wildfire exposure in calculation of FirEUrisk wildfire risk

Deliverable Identifier:	FirEUrisk dissemination documents for the territory of the Republic of Croatia
Deliverable Due Date:	31/03/2025
Deliverable Submission Date:	25/03/2025
Deliverable Version:	1.0
Main Document:	D1.1 – Report on methodological frameworks for each danger modelling process
Author of Main Deliverable and Lead Partner of this work:	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-García
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 1.1 Fire Danger Assessment A1.1.2 Natural Ignition; 1.1.3 Human Ignition
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.) **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>



Sažetak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1 projekta FirEUriSk Zadatku 1.1., aktivnosti 1.1.2. **Prirodno zapaljenje** i aktivnosti 1.1.3. **Zapaljenje izazvano ljudima** koja se bavila analizom veličina koje utječu na vjerojatnost prirodnog zapaljenja, prije svega uzrokovanog munjama i zapaljenja izazvanog ljudima u konačnom službenom FirEUriSk izvještajima:

Fermín Alcasena, Elena Aragonese, 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.

Clara Ochoa Velez, Emilio Chuvieco, **Documentation about the model of human components of risk**, FirEUriSk Report, 2022.

Riccardo Laterza, Ramona Velea, Olivia Ferrari, **A1.1.3 Human Ignition Drivers and Citizens' Perception of Fire Risk: A Review**, FirEUriSk Internal Report, 2021.

i radu:

(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*, *Science of The Total Environment*, Volume 917, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170443>

Karte vjerojatnosti prirodnog zapaljenja su dinamičke i računaju se dnevno, oprije svega na temelju karta munja. Karte vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima računaju se periodično, najbolje na početku požarne sezone U okviru FirEUriSk projekta na razini cijele Europe i svih pilot područja izrađene su karte zapaljenja izazvanog ljudima za 2023. i 2024.g., te su dnevno računate karte vjerojatnosti prirodnog zapaljenja.

U ovom izvještaju prenijeli smo neke od ovih karata, ali samo za područje Hrvatske.

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

Abstract

This document was created based on research conducted within Work Package 1 of the FirEURisk project, Task 1.1, Activities 1.1.2 Natural Ignition and 1.1.3 Human-Caused Ignition, which focused on analyzing the factors influencing the probability of natural ignition—primarily lightning-caused—and human-caused ignitions. The findings are included in the official FirEURisk reports:

Fermín Alcasena, Elena Aragonese, 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.

Clara Ochoa Velez, Emilio Chuvieco, **Documentation about the model of human components of risk**, FirEURisk Report, 2022.

Riccardo Laterza, Ramona Velea, Olivia Ferrari, **A1.1.3 Human Ignition Drivers and Citizens' Perception of Fire Risk: A Review**, FirEURisk Internal Report, 2021.

and paper:

(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*, *Science of The Total Environment*, Volume 917, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170443>

The natural ignition probability maps are dynamic and calculated daily, primarily based on lightning maps. The human-caused ignition probability maps are calculated periodically, ideally at the beginning of the fire season. Within the FirEURisk project, human-caused ignition maps were produced for all of Europe and for all pilot areas for the years 2023 and 2024, and daily natural ignition probability maps were generated.

In this report, we include selected maps, but only for the territory of Croatia.

All materials may be freely used with proper source citation, in accordance with copyright guidelines.

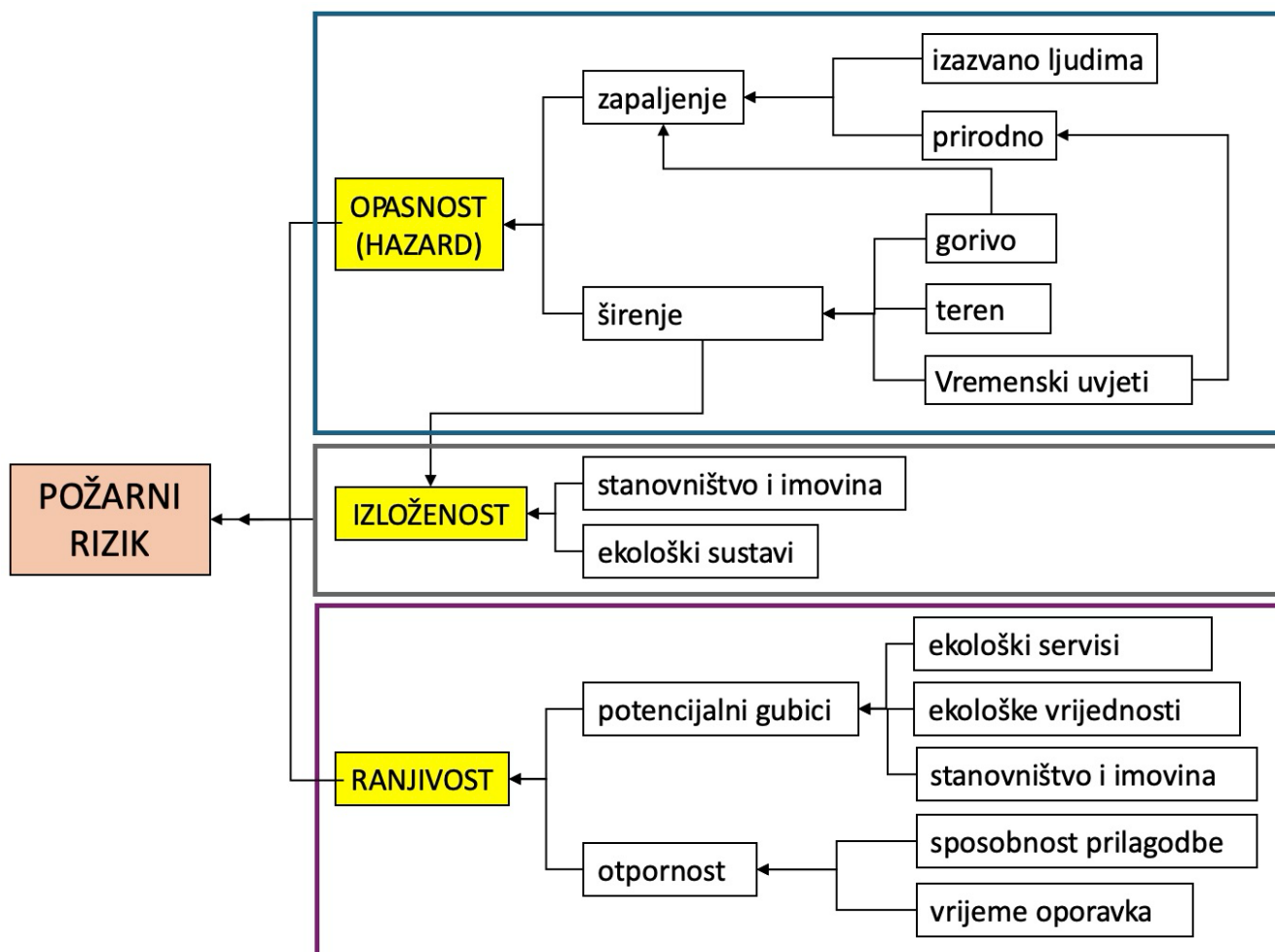
Sadržaj

Sažetak	ii
Abstract.....	iii
Sadržaj.....	iv
1. Uvod	1
2. Procjena vjerojatnosti prirodnog zapaljenja (PNI)	2
3. Procjena vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima (PHI).....	5
4. FirEUrisk model vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima (PHI)	12
5. Procjena ukupne vjerojatnosti zapaljenja	17
6. Zaključak	19
Literatura	20

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*). U ovom se izvještaju bavimo procjenom vjerojatnosti prirodnog zapaljenja na koje utječu vremenski uvjeti (prirodno zapaljenje), posebno munje i zapaljenja izazvanog ljudima. Karte prirodnih zapaljenja su dinamičke i trebaju se računati bar na dnevnoj razini, dok su karte zapaljenja izazvanih ljudima sezonskog karaktera i trebale bi se određivati prije svake požarne sezone. Kako se pretpostavlja da je 10% požara izazvanih prirodnim zapaljenjem, a 90% zapaljenja su izazvali ljudi (FAO, 2019.), istraživanja u okviru FirEURisk projekta više bila usmjerena prema zapaljenjima izazvanih ljudima, pa ćemo i mi u ovom diseminacijskom izvještaju veći značaj dati njima. Kod proračuna požarnog rizika (Stipaničev et al., 2025a) izostavljanje vjerojatnosti prirodnog zapaljenja ne unosi veliku pogrešku.

2. Procjena vjerojatnosti prirodnog zapaljenja (PNI)

U okviru FirEURisk projekta unutar aktivnosti A1.1.2 Prirodna zapaljenja, Finski meteorološki institut (FMI) proveo je niz eksperimenata s podacima o munjama prikupljenima iz nekoliko izvora: nacionalnih podataka iz Španjolske i Švedske, registara munja i modela munja. Posebno je evaluirana nova varijabla munja u operativnoj vremenskoj prognozi Europskog centra za srednjoročne vremenske prognoze (ECMWF). Pokazalo se da, iako općenito prostorno korelirani, pojedinačni požari zabilježeni MODIS senzorom gotovo nikada ne koincidiraju s prijavljenim munjama. Stoga je umjesto determinističkog pristupa razvijen statistički model zapaljenja uzrokovanog munjama. Razvijeni postupak se naslanjao i na rezultate projekta IS4FIRES (<https://is4fires.fmi.fi>) u okviru kojega je razvijen **model predviđanja požara** (engl. *FFM – Fire Forecasting Model*). Dodavanjem varijabli munja u model predviđanja požara FFM u sklopu globalnog sustava za informiranje o požarima IS4FIRES, u nekoliko regija s čestom pojavom munja došlo je do značajnih promjena u predviđanjima požara, što je rezultiralo boljim podudaranjem s opaženim obrascima požara. Ta značajnost i apsolutne vrijednosti potvrđene su i konsenzusom da je otprilike 10% globalnih požara uzrokovano munjama.

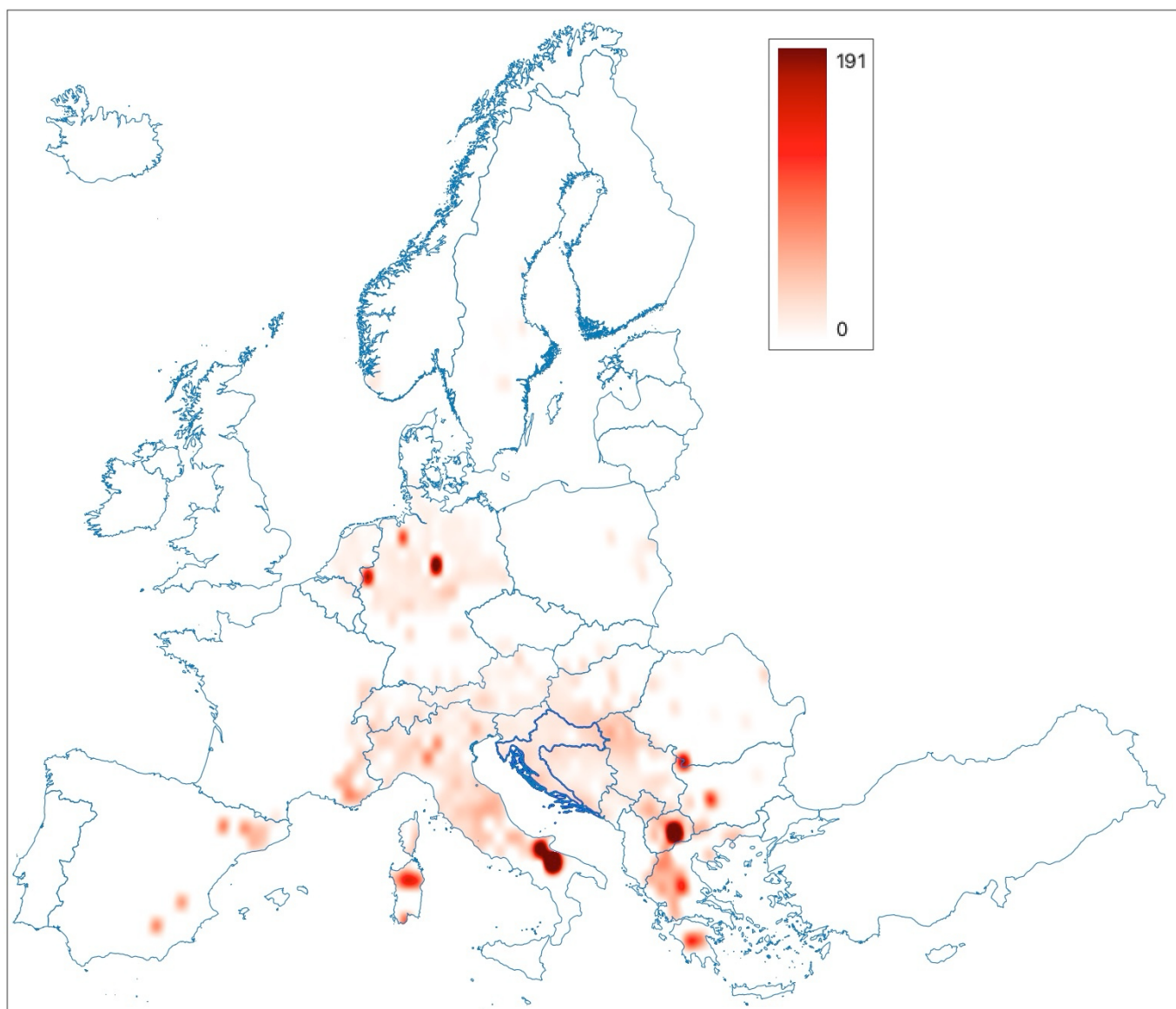
Model predviđanja požara (engl. *FFM – Fire Forecasting Model*) temeljen na vjerojatnosti prirodnog zapaljenja (engl. *PNI – Probability of Natural Ignition*) predviđa vjerojatnost zapaljenja šumskih požara prirodnim uzrocima korištenjem osnovnih meteoroloških parametara koje pružaju numerički modeli vremenske prognoze.

FFM model predviđanja požara koristi višestupanjski postupak strojnog učenja za izgradnju statističkog modela koji predviđa radijacijsku snagu požara (engl. *FRP – Fire Radiative Power*) na temelju:

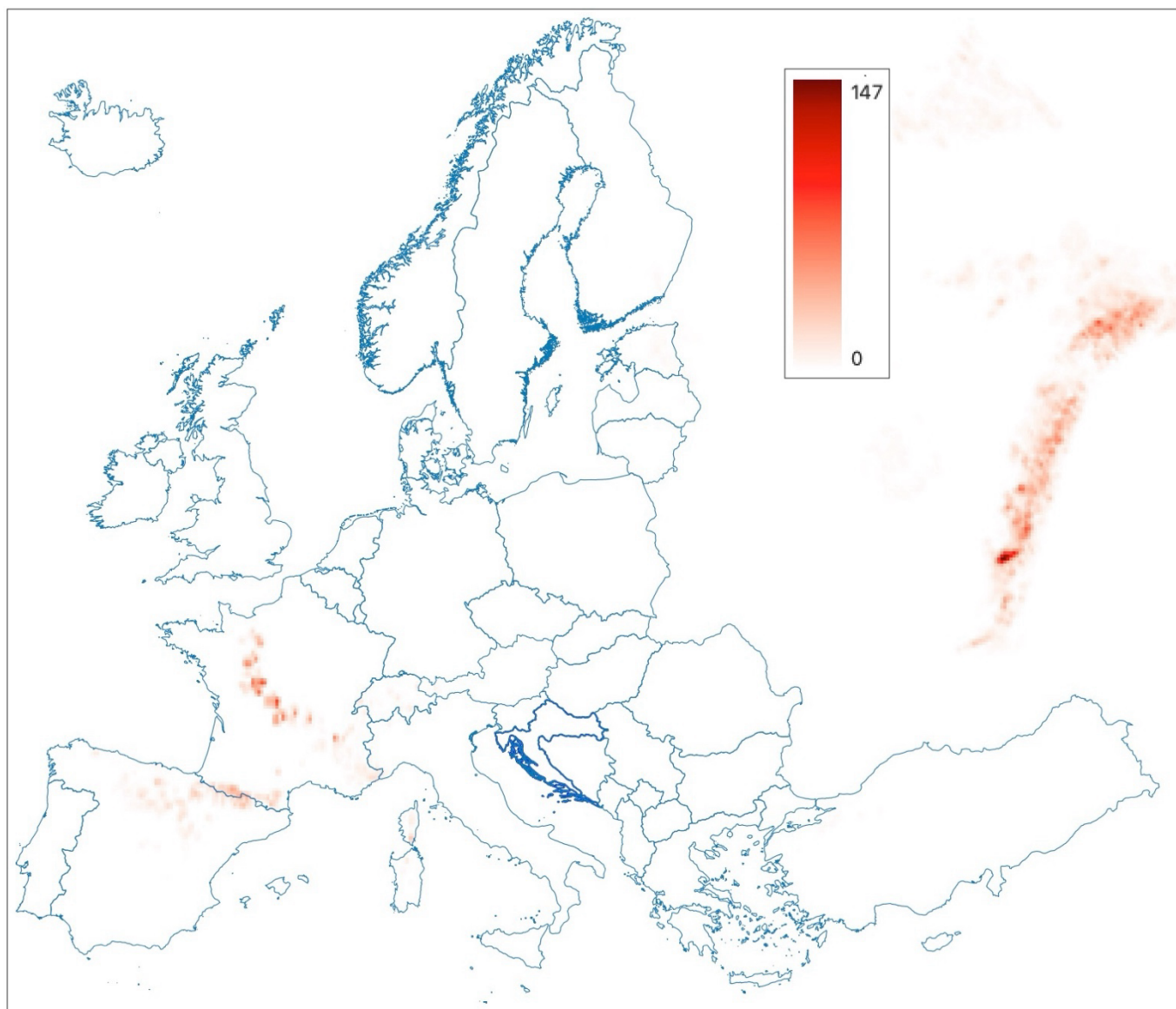
- globalne ERA5 reanalize (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>)
- ERA5-Land reanalize (<https://www.ecmwf.int/en/era5-land>)
- operativne prognoze IFS (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model>) i
- MODIS senzora sa satelita Terra (MOD14/MYD14, kolekcija 6, <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms>).

Model koristi različite meteorološke parametre, uključujući gustoću udara munja iz oblaka u tlo i indekse požarne opasnosti, kao prediktore za treniranje modela i predviđanje, izračunavajući njihov doprinos ukupnom FRP-u. Doprinos gustoće udara munja iz oblaka u tlo radijacijskoj snazi požara (FRP-u) zatim se koristi kao zamjena za vjerojatnost prirodnog zapaljenja.

Konačni rezultat je bio model prirodnog zapaljenja za područje cijele Europe koji je računao vjerojatnost prirodnog zapaljenja uzrokovanog munjama jedan put dnevno tijekom požarnih sezona 2023. i 2024. Slike 2 i 3 prikazuje primjere vjerojatnosti prirodnog zapaljenja za dane 2.08.2023.g. kada je atmosfera na Europom bila nestabilna, pa je vjerojatnost pojave munja bila značajnija i 30.07.2024.g. kada u većem dijelu Europe, pa tako i u Hrvatskoj nije postojala vjerojatnost pojave munja, pa je vjerojatnost prirodnog zapaljenja na području cijele Hrvatske bila 0. Vrijednosti vjerojatnosti na ovim slikama su množene sa 1000. Vjerojatnosti su u oba slučaja bile male pa legende pokazuju samo raspon između minimalnih i maksimalnih vrijednosti. U prvom slučaju za 2.08.2023. maksimalna vjerojatnost prirodnog zapaljenja je bila 0,191 (19,1%), a u drugom slučaju za 30.07.2024.g. maksimalna vjerojatnost je bila 0,124 (12,4%).



Slika 2. Vjerojatnost prirodnog zapaljenja (PNI) za područje Europe na dan 2.08.2023.g. Legenda prikazuje raspon između minimalnih i maksimalnih vrijednosti i to pomnoženu sa 1000. Na području cijele Hrvatske postojala je vjerojatnost prirodnog zapaljenja, ali je bila vrlo mala. Najveća vjerojatnost je bila na području Dalmacije i iznosila 4%.



Slika 2. Vjerojatnost prirodnog zapaljenja (PNI) za područje Europe na dan 30.07.2024.g. Legenda prikazuje raspon između minimalnih i maksimalnih vrijednosti i to pomnoženu sa 1000. Na području cijele hrvatske vjerojatnost prirodnog zapaljenja je bila 0.

3. Procjena vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima (PHI)

Prema Strategiji FAO-a o upravljanju borbom protiv požara raslinja (FAO, 2019.), 90% požara raslinja uzrokovano je ljudskim aktivnostima i ponašanjem što su potvrdili i (Chuivco et al., 2021.). Ljudske aktivnosti i ponašanje vezano uz zapaljenja požara, naravno, povezani su naravno i s meteorološkim uvjetima, topografijom terena te dostupnošću goriva. Kako procijeniti vjerojatnost zapaljenja uzrokovano ljudima kompleksan je zadatak kojem je prvi korak detekcija antropogenih čimbenika povezanih s požarima raslinja, posebno s rizikom zapaljenja. Martínez, Vega-Garcia, i Chuvieco (Martínez et al., 2009.) detektirali su neke od njih:

1. **Socioekonomske transformacije u ruralnim područjima:** seobe iz ruralnih područja, napuštanje tradicionalnih aktivnosti na poljoprivrednim i šumskim površinama, starenje ili smanjenje ruralnog stanovništva, nakupljanje gorivog materijala na zapuštenim poljoprivrednim zemljištima, nedostatak interesa za očuvanje i upravljanje šumama kod preostalog ruralnog stanovništva.
2. **Ljudska prisutnost i socioekonomske promjene u urbanim područjima:** porast rekreativnog korištenja šuma, turistički pritisak na šumska područja i potražnja za šumskim zemljištima radi urbanizacije.
3. **Očuvanje ili promjena tradicionalnih aktivnosti povezanih s vatrom u ruralnim područjima:** paljenje radi poboljšanja, ponovnog rasta ili održavanja pašnjaka; poljoprivredno spaljivanje strništa, korova, rubova polja, ostataka orezivanja itd.; paljenje radi gnojidbe tla, krčenja šikara i slično.
4. **Slučajni ili nepažljivi događaji povezani s infrastrukturom** (električnim vodovima, lovištima, cestovnim prometom, željeznicama) **i vojnim vježbama.**
5. **Struktura krajobraza i obrasci stanovanja:** fragmentacija, povezanost zakrpa vegetacije, raštrkanost stambenih objekata.
6. **Neizravni čimbenici namjernog paljenja:** proglašenje zaštićenih područja, regulacija korištenja zemljišta, imovinsko-pravni sporovi, „industrija požara” kao sredstvo zapošljavanja ili dobivanja potpora za gašenje i sanaciju.
7. **(Nedostatak) šumske politike:** nedovoljna zaštita i upravljanje šumskim zemljištima; čimbenici odvrćanja povezani s dostupnim resursima za gašenje (promatračnice, prisutnost vatrogasnih ekipa).

Autori su identificirali 12 relevantnih varijabli koje su pozitivno povezane s većom učestalošću požara u 6066 španjolskih općina:

1. gustoća poljoprivrednih strojeva
2. gustoća poljoprivrednih parcela
3. očuvanost stočarstva pod tradicionalnim upravljanjem
4. stopa nezaposlenosti
5. smanjenje ruralnog stanovništva između 1950. i 1991.
6. gustoća sučelja urbano–šumsko područje,
7. gustoća cesta
8. gustoća željezničkih pruga
9. porast urbanog stanovništva između 1950. i 1991.

10. gustoća sučelja između rizične infrastrukture (deponiji otpada, rudnici, kamenolomi, gradilišta, prometnice šire od 100 m) i šumskih područja
11. postotak općinskog zemljišta u zaštićenim prirodnim područjima
12. površina poljoprivrednog zemljišta koja je između 1970. i 1990. prešla u šumsko zemljište.

Još jedna varijabla – porast broja vlasnika poljoprivrednih gospodarstava između 1989. i 1999. – bila je **obrnuto** proporcionalno povezana s rizikom od požara, što znači da su intenzivniji i centraliziraniji obrasci poljoprivrede smanjivali rizik od požara.

Zanimljiv je i pregledni članak (Costafreda-Aumedes et al., 2017.) u kojem su autori detektirali najutjecajnije varijable koje povećavaju ili smanjuju požarni rizik, i to kako u kratkoročnom, tako i u dugoročnom razdoblju. Varijable su klasificirane u pet kategorija: vremenski uvjeti i opasnost, fiziografske značajke, vegetacija/gorivo, čimbenici povezani s ljudima i ostalo. U ovom dijelu zanimljive su nam samo varijable povezane s ljudima, posebno one vezane s dugoročnim razdobljem:

Varijable povezane s ljudima u dugoročnom razdoblju:

- udaljenost od cesta (obrnuto povezana s rizikom od požara)
- gustoća cesta (izravno povezana s rizikom)
- udaljenost od naselja (obrnuto povezana)
- gustoća naseljenosti (izravno povezana)
- gustoća izgrađenosti (izravno povezana)
- udaljenost od željezničkih pruga (obrnuto povezana)
- gustoća željezničkih pruga (izravno povezana)
- udaljenost od rekreacijskih područja (obrnuto povezana)
- zaštićena područja (izravno povezana)
- BDP po glavi stanovnika (izravno povezan).

I na kraju preglednog dijela spomenimo još jednu utjecajnu studiju (Leone et al., 2003.) u kojoj autori predlažu sustavnu klasifikaciju glavnih varijabli povezanih s ljudskim djelovanjem koje objašnjavaju pojavu požara. prikazuje ih Tablica 1.

Tablica 1. Varijable povezane s ljudskim djelovanjem koje objašnjavaju pojavu požara (Leone et al., 2003.).

čimbenici povezani sa socio-ekonomskim promjenama		
čimbenik	učinak	varijable
Napuštanje tradicionalnih aktivnosti u šumskim/ruralnim područjima (stočarstvo, sakupljanje drva, proizvodnja smole i pluta).	Povećano nakupljanje šumskog goriva.	Vremenski razvoj aktivne poljoprivredne populacije, vremenske promjene u poljoprivrednim površinama
Napuštanje tradicionalnih aktivnosti u šumskim/ruralnim područjima, osobito u privatnim šumama bez ekonomske isplativosti	Nedostatak tradicionalne šumske njege i gospodarenja: → Nedostatak interesa za očuvanje. → Slaba cijenjenost od strane	Površina šuma i privatne šume s niskim potencijalom produktivnosti; privatne šume (u vlasništvu fizičkih ili pravnih osoba); javne šume (u

čimbenici povezani sa socio-ekonomskim promjenama		
čimbenik	učinak	varijable
	lokalnog stanovništva. → Nedovoljna protupožarna zaštita i upravljanje.	vlasništvu države, županija ili općina); šumska područja kojima upravlja Šumarska uprava i ona kojima se ne upravlja; tržišna vrijednost šuma.
Depopulacija ruralnih područja.	Smanjenje aktivnog stanovništva u ruralnim područjima: → Napuštanje poljoprivrednog zemljišta na rubnim područjima (spontano ili namjerno). → Spontano zarastanje prirodnom vegetacijom. → Povećanje količine šumskog goriva.	Vremenske promjene šumske površine na temelju podataka o korištenju zemljišta i/ili šumskih karata, npr. indeksi promjena iz poljoprivredne u šumsku uporabu.
Sve češće korištenje šuma u rekreativne svrhe.	Češći posjeti šumi: → Mogući izvori zapaljenja nesrećom ili nepažnjom (logorska vatra, pušenje, nemar izletnika)	Zaštitne zone oko rekreacijskih područja u šumi (ako je moguće ponderirane prema učestalosti posjeta); udaljenosti i pristupačnost prirodnim turističkim atrakcijama poput rijeka, plaža, jezera, kampova; gustoća i prosječna udaljenost do cesta i puteva (ponderirano prema vrsti ceste); zaštitne zone oko prometnica uzimajući u obzir šumski okoliš; udaljenost do urbanih područja, naselja i raštrkanih rezidencija, ponderirano brojem stanovnika; broj turističkih dolazaka, broj hotelskih soba i kampova itd.
Ljudska prisutnost, porast stanovništva i urbani rast.	Veći pritisak na šumska područja: → Mogući izvori zapaljenja.	Porast urbanih/šumskih kontaktnih zona (vremenska evolucija); duljina dodirne zone između urbanog i šumskog zemljišta; broj i gustoća stanovništva; vremenske promjene populacije; urbana površina; gustoća gradskih svjetala (satelitske snimke)

čimbenici povezani sa socio-ekonomskim promjenama		
čimbenik	učinak	varijable
Porast stanovništva u ruralnim mjestima tijekom ljetnih praznika.	Veća količina otpada: → Nekontrolirani deponiji otpada. → Mogući izvori zapaljenja.	Lokacije nekontroliranih deponija otpada. Opcionalno: bilo koja varijabla povezana sa sezonskim porastom populacije (npr. potrošnja vode).

čimbenici povezani s tradicionalnim gospodarskim aktivnostima u ruralnim područjima		
čimbenik	učinak	varijable
Staračka populacija u ruralnim područjima.	Tradicionalne metode upravljanja (paljenje pašnjaka i grmlja za obnavljanje ispaše itd.): → Vjerojatnost širenja požara na druga područja i poteškoće u gašenju zbog starije populacije.	Udio starije populacije (osobe starije od 55 godina), osobito u odnosu na vlasnike posjeda.
Poljoprivreda	Korištenje vatre za uklanjanje ostataka žetve (strništa); čišćenje grmlja na rubovima oranica ili napuštenih poljoprivrednih parcela: → Vjerojatnost širenja požara na šumska područja.	Sučelje između poljoprivrednih i šumskih površina; površina poljoprivrednog zemljišta; aktivna poljoprivredna populacija; broj električnih priključaka u poljoprivredi; potrošnja energije u poljoprivredi
Stočarstvo	Moguće korištenje vatre za održavanje zeljaste vegetacije: → Paljenje pašnjaka i grmlja od strane pastira u šumskim područjima. → Moguće širenje požara ili Čišćenje šumskih područja ispašom stoke (osobito koza): → Manje količine gorivog materijala. → Manji rizik od požara.	Gustoća stoke (osobito koza i ovaca), ako je moguće ponderirano prema vrsti stoke i režimu uzgoja (intenzivni ili ekstenzivni); sučelje travnjaka i šuma; udaljenost do lokacija stoke.

čimbenici koji mogu uzrokovati požare, uglavnom nesrećom ili nepažnjom		
čimbenik	učinak	varijable
Električni vodovi.	Moguć uzrok zapaljenja nesrećom (voltažni luk).	Prosječna udaljenost do električnih vodova; zaštitni pojasevi oko električnih vodova, uzimajući u obzir šumsko okruženje i stanje održavanja sigurnosnih zona.
Motori i strojevi koji rade u šumskim područjima ili u njihovoj blizini.	Moguć uzrok zapaljenja nesrećom ili nepažnjom.	Gustoća poljoprivredne mehanizacije (i drugih vrsta ako je moguće).
Lovne aktivnosti.	Moguć uzrok zapaljenja nesrećom ili nepažnjom lovaca; iskre od streljiva ili loše ugašeni opušci; korištenje vatre za kontrolu ili olakšavanje lova; paljenje za čišćenje vegetacije i obnovu pašnjaka za divljač, napušteni logorski požari.	Broj lovni dozvola; područja lovišta.
Struktura krajobraza.	Vjerojatnost širenja požara s napuštenih parcela na okolne; utjecaj na širenje požara.	Indeksi fragmentacije i krajobrazne raznolikosti (pokazatelji krajobrazne ekologije); udio malih poljoprivrednih parcela.
Prisutnost cesta, željezničkih pruga, putova i pristupa.	Veći ljudski pritisak na divlja područja: → Moguć uzrok zapaljenja nesrećom ili nepažnjom.	Duljina i gustoća cesta i željezničkih pruga; prosječna udaljenost do cesta i željeznica, ponderirano prema vrstama (samo za ceste); zaštitni pojasevi uz ceste, putove i željeznice, uzimajući u obzir šumsko okruženje, a kod željeznica i područja kočenja, zbog posebnog rizika.
Vojne vježbe i miniranja u kamenolomima.	Moguć uzrok zapaljenja nesrećom ili nepažnjom.	Površina vojnih područja i kamenoloma / ukupna površina.

čimbenici koji mogu potaknuti požare		
čimbenik	učinak	varijable
Promjene iz šumske u urbanu namjenu.	Špekulacije s cijenama zemljišta, odmazda i moguće	Promjene u korištenju zemljišta u građevinska područja; broj odbijenih

čimbenici koji mogu potaknuti požare

čimbenik	učinak	varijable
	namjerno paljenje (građevinske špekulacije).	zahtjeva za prenamjenu u urbanističke svrhe.
Stvaranje/deklaracija zaštićenih područja.	Ograničenja tradicionalnog korištenja i mogući uzrok namjernog požara kao znak nezadovoljstva, ogorčenosti ili prosvjeda lokalnog stanovništva.	Udio zaštićenog područja u ukupnoj površini (ponderirano vremenom od proglašenja); perimetri zaštićenih područja.
„Industrija požara“	Paljenje radi dobivanja prihoda, posla, plaća ili subvencija za gašenje i obnovu opožarenih površina; odmazda zbog smanjenja javnih ulaganja ili potpora u divljim područjima.	Stopa nezaposlenosti; broj radnih dana sezonskih vatrogasaca.
Sukobi oko vlasništva nad šumama.	Sporovi oko vlasništva, ograničenja i sukobi u korištenju.	Površina pod bilo kojim oblikom šumskog vlasništva koje uključuje ograničenja ili može izazvati sporove oko vlasništva.
Lovne aktivnosti.	Kontrola lova: → Mogući sukobi s krivolovcima.	Broj lovničkih dozvola; područja lovišta.
Lovne zone ili ograđena lovišta.	Ograničenje korištenja lovišta i kontrola pristupa: → Nezadovoljstvo lokalnih lovaca i krivolovaca; sukobi s čuvarima i nadzornicima. → Mogući uzrok namjernog paljenja.	Površina lovničkih rezervata; površina privatnih i ograđenih lovišta.
Upravljanje javnim šumama.	Mogući uzrok namjernog paljenja kao znak nezadovoljstva, ogorčenosti ili prosvjeda lokalnog stanovništva.	Broj javnih zakupa, broj dozvola za ispašu.
Špekulacije s cijenom drva.	Namjerno paljenje s ciljem snižavanja cijene drva na dražbi ili ubrzanja prodaje, zaobilaženje protivljenja vlasnika, poduzetnika ili javne uprave.	Prosječna tržišna cijena drva; godišnje promjene cijene drva.

čimbenici koji mogu potaknuti požare

čimbenik	učinak	varijable
Pošumljavanje.	Korištenje stranih vrsta, niska isplativost. Šumarski radovi koji oštećuju tlo: → Nedostatak brige i nekorištenje. → Sukobi s alternativnim korištenjem javnih površina (npr. ispaša), sukobi mišljenja i nezadovoljstvo lokalnog stanovništva.	Površina pošumljenja.
Osveta zbog smanjenja javnih ulaganja ili potpora u divljim područjima.	Mogući uzrok namjernog paljenja kao znak nezadovoljstva, ogorčenosti ili prosvjeda.	Podaci o investicijama ili javnim proračunima; vremenski trendovi (godišnje promjene).
Pretvaranje šuma u poljoprivredne površine.	Korištenje vatre za poticanje ilegalnih ili nedopuštenih promjena namjene zemljišta.	Promjene u korištenju zemljišta u intenzivne usjeve.
Osveta protiv javne uprave zbog eksproprijacije (zahtjevi za zemljištem).	Mogući uzrok namjernog paljenja kao znak ogorčenosti ili prosvjeda lokalnog stanovništva.	Broj eksproprijacijskih postupaka.
Osveta protiv pojedinaca (zahtjevi za zemljištem).	Mogući uzrok namjernog paljenja kao znak ogorčenosti ili prosvjeda lokalnog stanovništva.	Broj eksproprijacijskih postupaka.

4. FirEURisk model vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima (PHI)

Model je razvijen za područje Europe u rezoluciji 1 km i temelji se na socio-ekonomskim, demografskim i bio-fizikalnim varijablama. Prikazuje ih Tablica 2.

Tablica 2. Bio-fizikalni i ljudski faktori na kojima se temelji FirEURisk model vjerojatnosti izbijanja požara izazvanog ljudima (PHI)

br	varijabla	izvor	vrijeme
1.	udaljenost od cesta (m) (<i>engl. Distance to Roads</i>)	(Maijer et al., 2018.)	2018.
2.	sučelje šumskog i poljoprivrednog područja (<i>engl. FAI – Forest-Agricultural Interface</i>)	Izvučeno iz mapa goriva FirEURisk projekta (Aragoneses et al., 2023.)	2019.
3.	sučelje divljeg i urbanog područja (<i>engl. WUI – Wildland-Urban Interface</i>)	Izvučeno iz mapa goriva FirEURisk projekta (Aragoneses et al., 2023.)	2022.
4.	sučelje divljeg i poljoprivrednog područja (<i>engl. WAI – Wildland-Agricultural Interface</i>)	Izvučeno iz mapa goriva FirEURisk projekta (Aragoneses et al., 2023.)	2019.
5.	sučelje divljeg i šumskog područja (<i>engl. WFI – Wildland-Forest- Interface</i>)	Izvučeno iz mapa goriva FirEURisk projekta (Aragoneses et al., 2023.)	2019.
6.	sučelje šumskog i urbanog područja (<i>engl. FUI – Forest-Urban Interface</i>)	Izvučeno iz mapa goriva FirEURisk projekta (Aragoneses et al., 2023.)	2019.
7.	promjene pokrova (<i>engl. Land Change</i>)	Corine Land Cover	2000. – 2018.
8.	goveda/km ² (<i>engl. Cattle</i>)	(FAO 2014.)	2010.
9.	koze/km ² (<i>engl. Goats</i>)	(FAO 2014.)	2010.
10.	ovce/km ² (<i>engl. Sheep</i>)	(FAO 2014.)	2010.
11.	BDF (<i>engl. GDP – Gross Domestic Product</i>) u milionima US \$	(Kummu et al., 2018.)	2015.
12.	stanovništvo starije od 65 godina u ruralnim područjima po km ²	(NASA GPW, 2010.)	2010. (postoje i novija verzije iz 2020.
13.	gustoća stanovništva po km ²	(Eurostat JRC GRID, 2018.)	2018.
14.	evapotranspiracija (<i>engl. Evapotranspiration</i>) u mm koja predstavlja zbroj isparavanja (evaporacije) vode s tla i transpiracije biljaka	(Trabucco i Zomer, 2019.) (Penman – Monteih jednadžba)	2018.
15.	Indeks suše (<i>engl. Aridity Index</i>)	(Trabucco i Zomer, 2019.)	2018.
16.	Bio-klimatske zone (<i>engl. Bioclimates</i>)	(Metzger, 2018.)	2000.
17.	Ekološke zone (<i>engl. Ecozones</i>)	(FAO, 2013.)	2000. – 2010.

Razlozi odabira baš ovih varijabli su bili slijedeći:

- a) **Udaljenost do cesta:** Pretpostavilo se da se veliki požari uglavnom nalaze u područjima udaljenima od glavnih cesta i teško dostupnima za brzo gašenje (što je u suprotnosti s općom tendencijom da se požari iniciraju blizu cesta kada se ne uzima u obzir veličina požara, jer je većina požara malih). Iz globalne baze cesta odabrane su samo sekundarne ceste kako bi se testiralo postoji li veza između pristupačnosti, odnosno samog postojanja sekundarnih cesta, i inicijacija požara. Nakon odabira tipa cesta od interesa, za svaki piksel je izračunata Euklidska udaljenost do najbliže ceste. U ovom istraživanju koristila se udaljenost do sekundarnih cesta jer je izračun gustoće sekundarnih cesta (kao u nekim ranijim studijama) rezultirao pojavom nulte inflacije.
- b) **Sučelja između različitih tipova pokrova zemljišta (šumsko–poljoprivredno sučelje, divljina–poljoprivredno sučelje, divljina–šumsko sučelje, šumsko–urbano sučelje):** pokazalo se da su ta sučelja dobri prediktori vjerojatnosti inicijacije požara (Costafreda-Aumedes et al., 2017.). Reklasificirali su se karte goriva iz (Aragoneses et al., 2023) kako bi se dobile poljoprivredne, divlje (travnjačke, grmolike) i šumske (drvenaste) klase. Na vektorskom sloju za svaku klasu izračunate su zone utjecaja od 1000 m za šumske, grmolike + travnjačke i poljoprivredne slojeve. Na kraju su se izdvojili piksele unutar zona utjecaja kako bi se stvorili odgovarajuća sučelja. Rezultat su četiri binarna rastera gdje “1” označava prisutnost sučelja, a “0” njegovu odsutnost.
- c) **Gustoća stanovništva starijeg od 65 godina u ruralnim područjima:** ova varijabla imala je za cilj prikazati utjecaj starenja stanovništva u ruralnim područjima, neizravno ukazujući na smanjenje radne snage u tim područjima. Izvorni skup podataka preuzet je s web-stranice SEDAC-CIENSIN, a urbana područja su isključena prema ET karti goriva (Aragoneses i sur., 2023).
- d) **Gustoća stanovništva:** pretpostavili smo da će veća gustoća ruralnog stanovništva biti povezana s većim brojem požara, bilo slučajnih ili namjernih. Koristio se izvorni sloj iz Eurostat JCR GRID, 2018, ali su isključena sva urbana područja koristeći istu kartu goriva koja je korištena za sučelja (Aragoneses i sur., 2023).
- e) **Promjene u korištenju zemljišta:** prijelazi poljoprivrednih površina u grmlje ili poljoprivrednih površina u travnjake. U tu svrhu koristile su se karte Corine Land Cover za 2000. i 2018. godinu. Provela se reklasifikacija kako bi se dobile klase od interesa. Zatim su dodane vrijednosti iz 2018. sloju iz 2000., što je otkrilo samo ona područja koja su doživjela promjene pokrova zemljišta. Te su promjene prikazane u binarnom sloju gdje “1” predstavlja promjenu pokrova zemljišta.
- f) **Bioklima:** budući da je ova varijabla bila kategoriziran stvorene su tri nove binarne ili “dummy” varijable.
- Hladna (*engl. Cold*) predstavlja područja s:
 - izrazito hladnim i vlažnim
 - hladnim i vlažnim
 - izrazito hladnim i umjereno vlažnim (mezofilnim) te
 - hladnim i umjereno vlažnim (mezofilnim) vremenom.
 - Svježe (*engl. Cool*) predstavlja područja s:
 - hladnim umjerenim i suhim (kseričnim)
 - hladnim umjerenim i suhim te
 - hladnim umjerenim i vlažnim klimama.
 - Toplo (*engl. Warm*) predstavlja ona područja s:

- toplim umjerenim i vlažnim
- toplim umjerenim i suhim te
- vrućim i vlažnim klimama.

g) **Ispaša:** povezana s količinom dostupnog goriva, budući da je ispaša povijesno bila čimbenik upravljanja gorivom. Varijable korištene kao osnova za ovaj sloj dio su baza podataka FAO-a. Radi se o ukupnom zbroju ovaca, koza i goveda po četvornom kilometru.

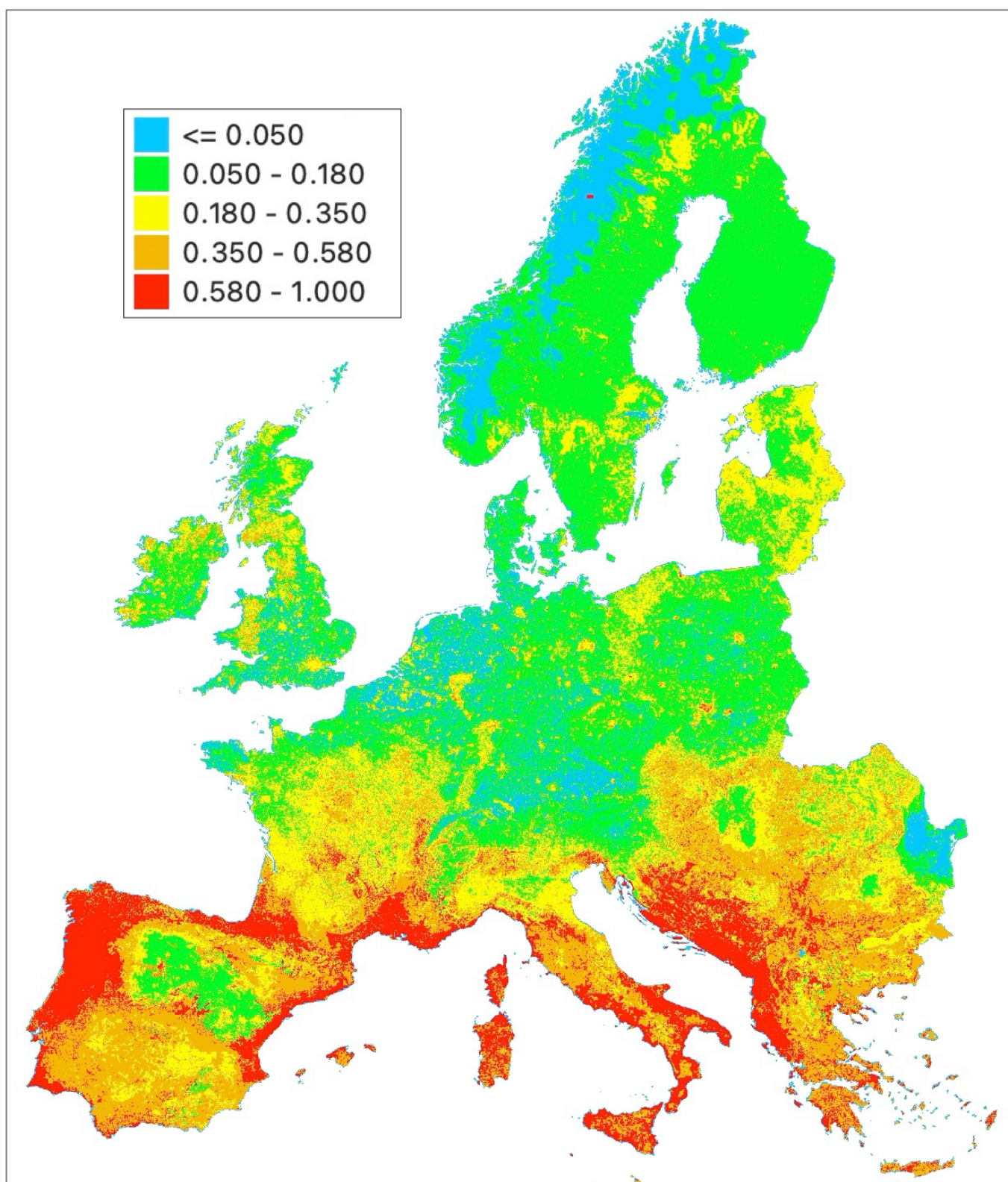
Model koji povezuje različite čimbenike zapaljenja i mogućnosti pojave velikih požara razvijen je korištenjem algoritma Random Forest. Model je postigao točnost od 80%, procijenjenu prema površini ispod krivulje (AUC). U model su uključena sva zapaljenja koja su dovela do opožarenih površina većih od 100 ha, ukupno 33388 zapaljenja, od kojih 930 (2.8%) pripadaju požarima kod koji je izgorjeno područje bilo veće od 1000 ha.

Tijekom treniranja testirane su različite metode uravnoteženja podataka, pri čemu se stratificirana metoda pokazala najprikladnijom za ovaj model. Ova metoda uključuje korištenje deskriptivne sloja europskih ekoloških regija kako bi se dobio reprezentativniji uzorak točaka bez požara. Rezultati klimatskog modela pokazali su da je vjerojatnost zapaljenja u sjevernoj Europi prikrivena – modeli temeljeni samo na ljudskim varijablama imali su problema s točnošću klasifikacije, što upućuje da je algoritam Random Forest teško mogao napraviti precizne predikcije isključivo na temelju ljudskih varijabli.

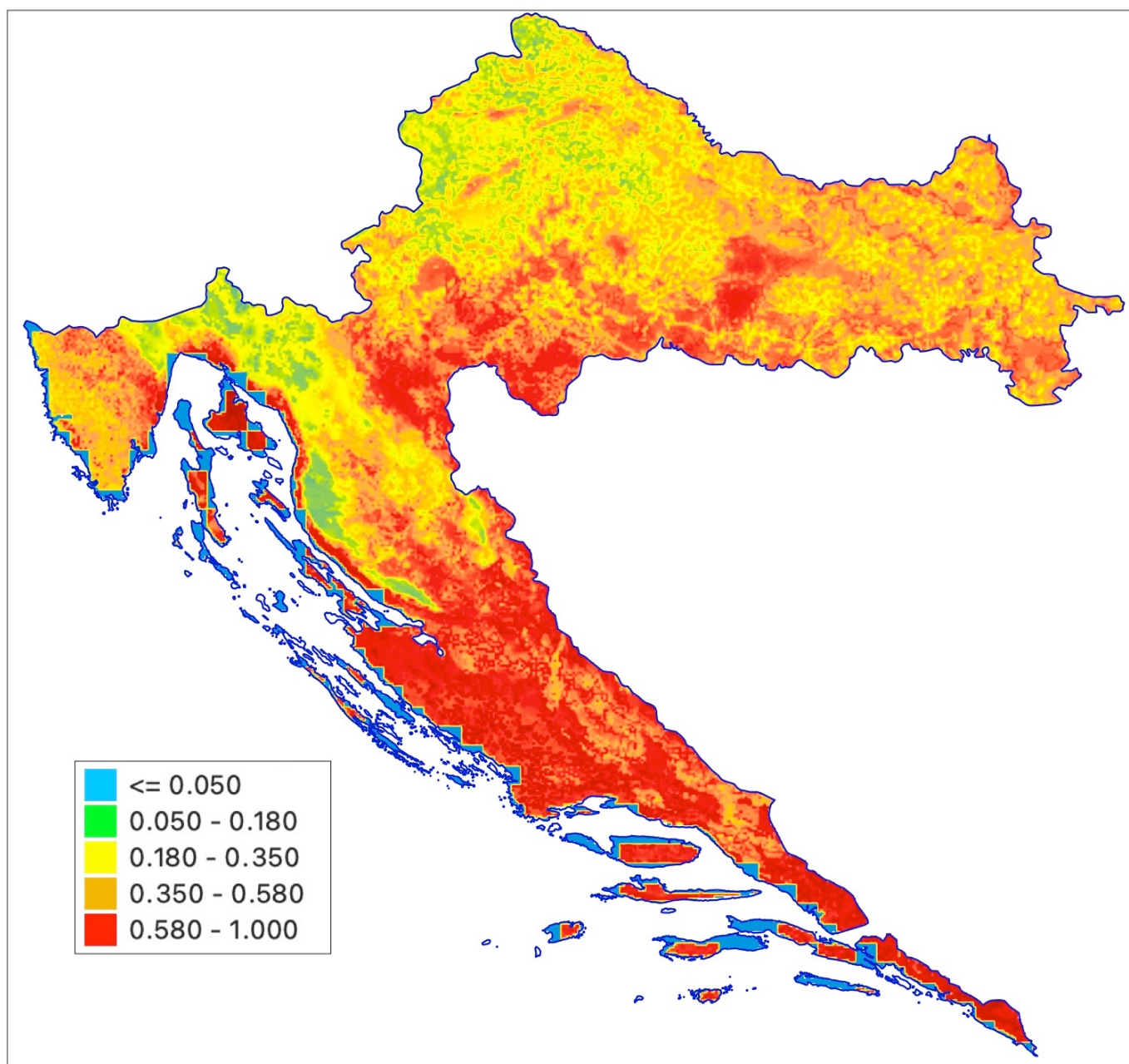
Ova otkrića sugeriraju da predviđanje inicijacije velikih požara na širokim geografskim područjima možda nije izvedivo samo s ljudskim varijablama, naglašavajući potrebu za uključivanjem klimatskih varijabli. Ovo ograničenje ovisi o razmjeru analize, budući da ona određuje veličinu potencijalnih okolišnih gradijenata koji upravljaju obrascima zapaljenja. Pokazalo se da je mješoviti model najbolji kandidat za prikazivanje vjerojatnosti na europskoj razini. To bi moglo biti zato što klimatske varijable pomažu modelu razlikovati sjevernu i južnu Europu i time pronaći obrasce u podacima.

Važno je napomenuti da se korištenjem mješovitih modela mogu uočiti područja visoke vjerojatnosti i u sjevernoj Europi, koja bi inače bila maskirana. Na temelju rezultata preporučuje se korištenje mješovitih modela za globalne studije. Za dodatne informacije o metodologiji i korištenim varijablama vidi (Ochoa et al., 2024).

Konačni rezultat je bio model vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima (PHI) za područje cijele Europe u rezoluciji 1 km za 2023.g. Slika 4 prikazuje rezultate za područje Europe, a slika 5 za područje Hrvatske preračunate na rezoluciju 100 m. Mapa Hrvatske u rezoluciji 1 km i 100 m su dostupne uz ovaj izvještaj. Za razliku od karti prirodnog zapaljenja koje su dinamičke i trebaju se računati svaki dan, karte zapaljenja izazvanog ljudima su statičke i dovoljno ih je računati svakih nekoliko godina.



Slika 4. Vjerojatnost zapaljenja izazvanog ljudima (PHI) za 2023.g. i područje Europe u rezoluciji 1 km.



Slika 5. Vjerojatnost zapaljenja izazvanog ljudima (PHI) za 2023.g. i područje Hrvatske u rezoluciji 100 m preračunate iz karte Europe rezolucije 1 km bilinearnom metodom s kernelom 2 x 2.

5. Procjena ukupne vjerojatnosti zapaljenja

U skladu sa Slikom 1., **integrirani indeks požarnog rizika** (engl. *IRI – Integrated Risk Index*) računa se na temelju požarne opasnosti (hazarda) (engl. *D – Danger*), izloženosti na požare (engl. *E – Exposure*) i ranjivosti na požare (engl. *V – Vulnerability*). Detaljno objašnjenje postupka proračuna objavili smo u posebnom dokumentu (Stipaničev et al., 2025b), a ovdje nas prije svega zanima kako se vjerojatnost zapaljenja (engl. *PI – Probability of Ignition*) buključuje u proračun integralnog indeksa požarnog rizika (IRI).

Vjerojatnost zapaljenja ima dvije komponente:

- PNI - vjerojatnost prirodnog zapaljenja (engl. *Probability of Natural Ignition*) i
- PHI - vjerojatnost zapaljenja izazvanog ljudima (engl. *Probability of Human Ignition*)

Ukupna vjerojatnost zapaljenja *PI* u intervalu [0,1] računa se korištenjem Kolomogorov-og vjerojatnosnog pravila (engl. *Kolmogorov Probability Rule*) (Kolomogorov, 1933.) na temelju vjerojatnosti prirodnog zapaljenja (PNI) i zapaljenja izazvanog ljudima (PHI):

$$PI = (PHI/1000 + PNI/1000 - PHI/1000 * PNI/1000) \quad (1)$$

PHI se za svaki piksel izvlači iz statičke karte koja se periodično računa (najbolje bi bilo na početku požarne sezone), a PNI se izvlači iz dinamičke karte koja se računa na dnevnoj bazi na temelju meteoroloških parametara opisanih u Poglavlju 2.

Na požarnu opasnost osim vjerojatnosti zapaljenja *PI* utječe i propagacijski potencijal *PP* (Stipaničev et al., 2025a.), a u okviru FirEURisk projekta predložena je formula:

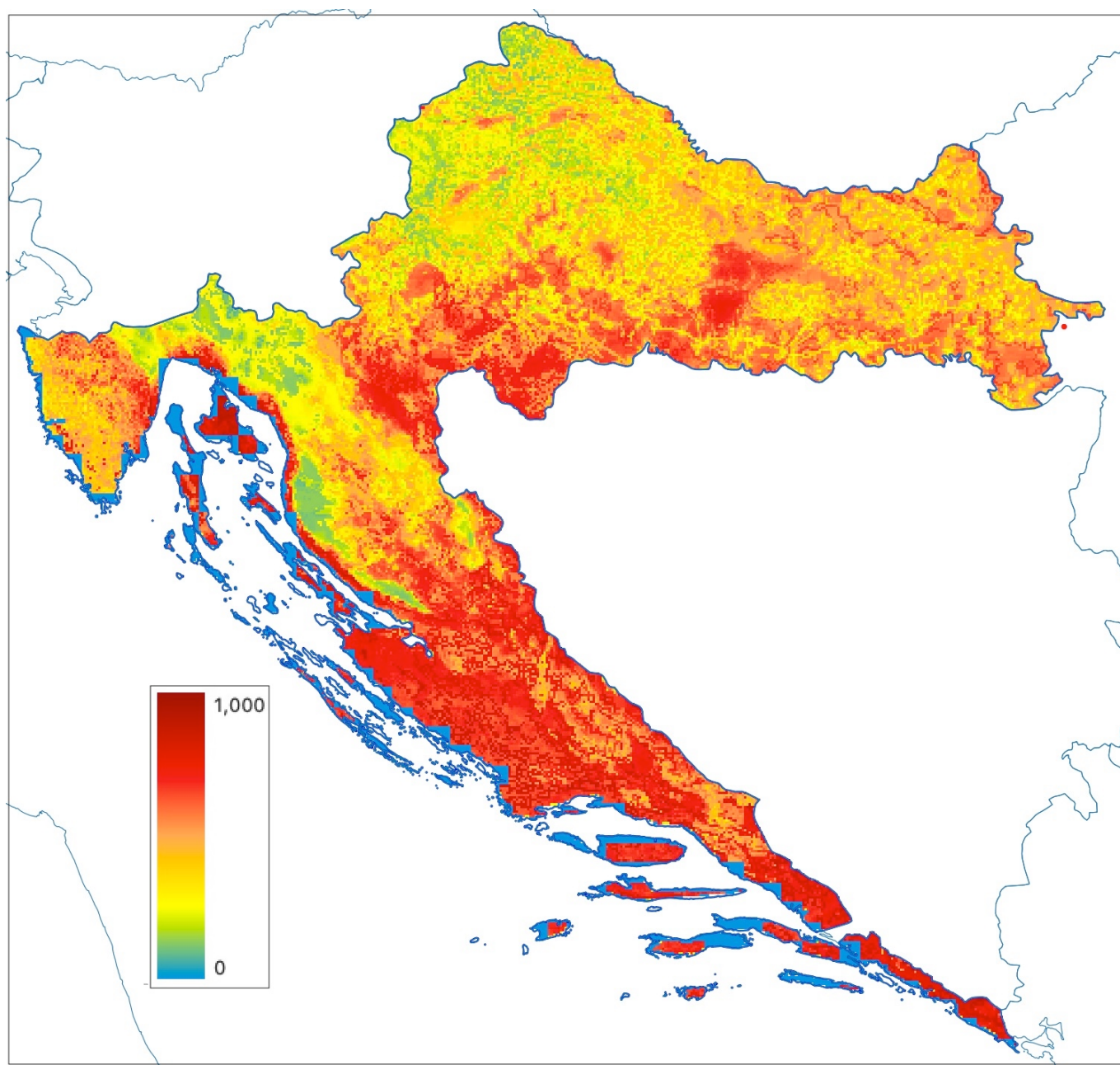
$$D = 0,33 * PI + 0,67 * PP \quad (2)$$

Konačna formula za proračun integralnog indeksa požarnog rizika (IRI) je:

$$IRI = (0,6 * D + 0,4 * V) * E \quad (3)$$

Slika 6. prikazuje kartu vjerojatnosti zapaljenja (*PI*) za dan 30.7.2024. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa. Vjerojatnost zapaljenja je bila skoro ista kao vjerojatnost zapaljenja izazvanog ljudima (*PHI*) zato što je na dan 30.07.2024. na području cijele Hrvatske vjerojatnost prirodnog zapaljenja bila 0. Sličan zaključak se može primijeniti i općenito, zato što su vjerojatnosti prirodnog zapaljenja u našim područjima vrlo male, pa se uz malu grešku može pretpostaviti da je $PI = PHI$.

Ostale karte vezane s integralnim požarnim rizikom (IRI) prikazane su u diseminacijskom dokumentu (Stipaničev et al., 2025b).



Slika 6. 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.

6. Zaključak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1 projekta FirEUriSk Zadatku 1.1., aktivnosti 1.1.2. **Prirodno zapaljenje** i aktivnosti 1.1.3. **Zapaljenje izazvano ljudima** koja se bavila analizom veličina koje utječu na vjerojatnost prirodnog zapaljenja, prije svega uzrokovanog munjama i zapaljenja izazvanog ljudima.

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. Karte vjerojatnosti prirodnog zapaljenja (PNI) su dinamičke i računale su se dnevno, dok je karta vjerojatnosti zapaljenja izazvanog ljudima statička i računala se na temelju raspoloživih podataka do 2023. godine. Ovu bi kartu bilo dobro povremeno ponovo izračunati na temelju novijih podataka.

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.
- (Aragoneses et al., 2023.) Aragoneses, E., García, M., Salis, M., Ribeiro, L. M., and Chuvieco, E.: Classification and mapping of European fuels using a hierarchical, multipurpose fuel classification system, *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 1287–1315, <https://doi.org/10.5194/essd-15-1287-2023>, 2023.
- (Chuvieco et al., 2021.) Chuvieco, E., Pettinari, M. L., Koutsias, N., Forkel, M., Hantson, S., & Turco, M. (2021). Human and climate drivers of global biomass burning variability. *Science of The Total Environment*, 779, 146361.
- (Costafreda-Aumedes et al., 2017.) Costafreda-Aumedes, Sergi, Carles Comas, e Cristina Vega-Garcia. Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. *International Journal of Wildland Fire* 26 (2017): 983-998.
- (FAO, 2013.) IIASA/FAO, 2012. Global Agro-ecological Zones (GAEZ v3.0). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy, <https://www.gaez.iiasa.ac.at>
- (FAO, 2014.) FAO Statistical Yearbook 2014, <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4bdeb83a-9ddc-4399-a3a3-d4ce5429eee2/content>
- (FAO, 2019.) FAO Strategy on Forest Fire Management <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/db2fcab3-7369-4e4a-9f10-d81530fe32c6/content#:~:text=Stimulate%20understanding%20and%20encourage%20acceptance,wildfires%20and%20Recovery%20efforts%20for>
- (Kolmogorov, 1933.) Kolmogorov, Andrey (1950) [1933]. *Foundations of the theory of probability* New York, US: Chelsea Publishing Company. <https://archive.org/details/foundationsofthe00kolm/mode/2up>
- (Kummu et al., 2018.) Kummu, M., Taka, M. & Guillaume, J. Gridded global datasets for Gross Domestic Product and Human Development Index over 1990–2015. *Sci Data* 5, 180004 (2018). <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.4>
- (Laterza et al., 2021.) Laterza, R., Velea, R., Ferrari, O., A1.1.3 Human Ignition Drivers and Citizens' Perception of Fire Risk: A Review, FirEUrisk Internal Report, 2021.
- (Leone et al., 2003.) Leone, Vittorio, Nikos Koutsias, Jesús Martínez, Cristina Vega-García, e Britta Allgöwer. The Human Factor in Fire Danger Assessment. In *Wildland fire danger estimation and mapping: the role of remote sensing data*, 143-196. 2003.
- (Martinez et al., 2009.) Martínez, Jesús, Vega-Garcia, Cristina & Chuvieco, Emilio, Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain, *Journal of Environmental Management* (Elsevier), n. 90 (2009): 1241-1252.

- (Maijer et al., 2018.) Meijer, J.R., Huijbregts, M.A.J., Schotten, C.G.J. and Schipper, A.M. (2018): Global patterns of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters*, 13-064006. Podaci dostupni na: <https://www.globio.info/download-grip-dataset>
- (Metzger, 2018.) Metzger, Marc J. (2018). The Global Environmental Stratification: A high-resolution bioclimate map of the world [dataset]. The University of Edinburgh. <http://dx.doi.org/10.7488/ds/2354>
- (NASA GPW, 2010.) NASA Gridded Population of the World (GPW) collection, <https://www.earthdata.nasa.gov/data/projects/gpw>
- (Ochoa & Chuivco, 2022.) Ochoa, C., Chuivco, E.,m Documentation about the model of human components of risk, FirEURisk Report, 2022.
- (Ochoa et al 2024.) Ochoa, C., Bar-Massada, A., & Chuivco, 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*, *Science of The Total Environment*, Volume 917, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170443>
- (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.) FirEURisk procjena integralnog indeksa požarnog rizika, FirEURisk Dissemination Report, 2025. <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-integrirani-indeks-pozarnog-rizika>
- (Trabucco i Zomer, 2019.) Trabucco, Antonio; Zomer, Robert (2019): Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET0) Climate Database v2. figshare. Fileset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7504448.v3>