

***Požarna ranjivost 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

### *Požarna ranjivost 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:	5/02/2025.
Verzija:	1.0
Glavni dokument:	D1.4 Report on methodological frameworks for Vulnerability assessment (D, S) in the FirEURisk
Autor glavnog dokumenta i glavni partner ovih istraživanja:	HU (Avi Bar-Masada), ADAI (Miguel Almeida, Catarina Matos), UAH (Emilio Chuvieco, Fatima Arrogante, Maria Clara Ochoa), KEMEA, SIA (Umberto Pernice, Giovanni Laneve), SGN, TUD, UCO (Macarena Ortega, Juan Ramon Molina), METEOGRID SL, CNR, HUTTON (Simone Martino, Michaela Roberts, Tami Wooldridge, Maria Nijnik), FMI, NCSR (Nadia Politi, Mandy Vlachogianni, Athanasios Sfetsos) Udl
Prijevod, obrada karata i prilagodba za Hrvatsku:	<b>Darko Stipanićev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović</b> Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, Split, Hrvatska
Radni paket:	WP1 - Procjena rizika od požara radi poboljšanja zaštite
Zadatak:	<b>Zadatak 1.2: Analiza izloženosti i ranjivosti</b> <b>Aktivnost A1.2.2. Socijalna ranjivost</b> <b>Aktivnost A1.2.3. Ekološka ranjivost</b> <b>Aktivnost A1.2.4. Ekonomski ranjivost</b>
Razina širenja:	<input checked="" type="checkbox"/> PU: Javno <input type="checkbox"/> 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.



CIPOP - CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE  
POŽARA OTVORENOG PROSTORA

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

Grant Agreement Number: 101003890

Call identifier: H2020-LC-CLA-2018-2019-2020

<b>Topic:</b>	LC-CLA-15-2020 Forest Fires risk reduction: towards an integrated fire management approach in the E.U.
<b>Instrument:</b>	RIA

### ***Wildfire vulnerability in calculation of FirEURisk wildfire risk***

<b>Deliverable Identifier:</b>	FirEURisk dissemination documents for the territory of the Republic of Croatia
<b>Deliverable Due Date:</b>	31/03/2025
<b>Deliverable Submission Date:</b>	5/02/2025
<b>Deliverable Version:</b>	1.0
<b>Main Document:</b>	D1.4 Report on methodological frameworks for Vulnerability assessment (D, S) in the FirEURisk
<b>Author of Main Deliverable and Lead Partner of this work:</b>	HU (Avi Bar-Masada), ADAI (Miguel Almeida, Catarina Matos), UAH (Emilio Chuvieco, Fatima Arrogante, Maria Clara Ochoa), KEMEA, SIA (Umberto Pernice, Giovanni Laneve), SGN, TUD, UCO (Macarena Ortega, Juan Ramon Molina), METEOGRID SL, CNR, HUTTON (Simone Martino, Michaela Roberts, Tami Wooldridge, Maria Nijnik), FMI, NCSR (Nadia Politi, Mandy Vlachogianni, Athanasios Sfetsos) UdL
<b>Translation, Map preparation and Adaptation for Croatia:</b>	<b>Darko Stipanićev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović</b> Faculty of Electrical Engineering, Machine Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Croatia
<b>Work Package:</b>	<b>WP1 - Fire risk assessment to improve prevention</b>
<b>Task:</b>	<b>Task 1.2 Analysis of Exposure &amp; Vulnerability Factors</b> <b>A1.2.2 Social Vulnerability</b> <b>A1.2.2 Ecological Vulnerability</b> <b>A1.2.2 Economic Vulnerability</b>
<b>Dissemination Level:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PU: Public <input type="checkbox"/> CO: Confidential, only for members of the Consortium (including the Commission Services)



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101003890.

### ***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.

Reprodukcijski i korištenje svih materijala je dopušteno uz navođenje izvora:

*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-napozare-kod-proracuna-fireurisk-pozarnog-rizika>*



## Sažetak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1. projekta FirEURisk Zadatku 1.2. posvećenom analizi ranjivosti i izloženosti,

- Aktivnosti 1.2.2. **Socijalna ranjivost** koja se bavila analizom veličina koje utječu na socijalnu ranjivost od požara.
- Aktivnosti 1.2.3. **Ranjivost okoliša** koja se bavila analizom veličina koje utječu na ekološku ranjivost od požara.
- Aktivnosti 1.2.4: **Ekonomска ranjivost**, koja se bavila analizom veličina koje utječu na ekološku ranjivost od požara.

Rezultati su opisani u dokumentu:

(FirEURisk-Task 1.2, 2023.) HU (Avi Bar-Masada), ADAI (Miguel Almeida, Catarina Matos), UAH (Emilio Chuvieco, Fatima Arrogante, Maria Clara Ochoa), KEMEA, SIA (Umberto Pernice, Giovanni Laneve), SGN, TUD, UCO (Macarena Ortega, Juan Ramon Molina), METEOGRID SL, CNR, HUTTON (Simone Martino, Michaela Roberts, Tami Wooldridge, Maria Nijnik), FMI, NCSR (Nadia Politi, Mandy Vlachogianni, Athanasios Sfetsos) UdL (2023.) **D1.4 Report on methodological frameworks for Vulnerability assessment (D, S) in the FirEURisk**, FirEURisk Report, 2023.

i radu:

(Arrogante-Funes et al., 2024) Arrogante-Funes, F., Mouillot, F., Moreira, B., Aguado, Chuvieco, E., . Mapping and assessment of ecological vulnerability to wildfires in Europe. *fire ecol20*, 98 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00321-8>

U okviru FirEURisk projekta izrađene su karte sa svim elementima socijalne ranjivosti i ranjivosti okoliša na temelju kojih se računa dnevna dinamička požarna ranjivost. Karte pokrivaju područje cijele Europe i izrađene su u rezoluciji 1000 m. Za potrebe ovog diseminacijskog izvještaja iz ovih karata smo izrezali karte za područje Hrvatske koje smo osim u osnovnoj rezoluciji od 1000 m, preuzorkovana na rezoluciju 100 m postupkom Cubic B-Spline (4x4 kernel). Uz izvještaj su priložene sve preuzorkovana karta Hrvatske u rezoluciji 100 m i originalna karta Hrvatske u rezoluciji 1000 m.

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

# Abstract

This document is based on research conducted as part of Work Package 1 of the FirEURisk project, Task 1.2, dedicated to the analysis of vulnerability and exposure, specifically:

- Activity 1.2.2: **Social Vulnerability**, which focused on analyzing factors affecting social vulnerability to wildfires.
- Activity 1.2.3: **Environmental Vulnerability**, which focused on analyzing factors affecting environmental vulnerability to wildfires.
- Activity 1.2.4: **Economic Vulnerability**, which focused on analyzing factors affecting economic vulnerability to wildfires.

Results were described in the document:

(Bar-Masada et al., 2023), HU (Avi Bar-Masada), ADAI (Miguel Almeida, Catarina Matos), UAH (Emilio Chuvieco, Fatima Arrogante, Maria Clara Ochoa), KEMEA, SIA (Umberto Pernice, Giovanni Laneve), SGN, TUD, UCO (Macarena Ortega, Juan Ramon Molina), METEOGRID SL, CNR, HUTTON (Simone Martino, Michaela Roberts, Tami Wooldridge, Maria Nijnik), FMI, NCSR (Nadia Politi, Mandy Vlachogianni, Athanasios Sfetsos), UdL (2023). *D1.4 Report on Methodological Frameworks for Vulnerability Assessment (D, S) in FirEURisk*, FirEURisk Report, 2023.

and paper:

(Arrogante-Funes et al., 2024) Arrogante-Funes, F., Mouillot, F., Moreira, B., Aguado, Chuvieco, E., . Mapping and assessment of ecological vulnerability to wildfires in Europe. *fire ecol20*, 98 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00321-8>

As part of the FirEURisk project, maps containing all elements of social vulnerability and environmental vulnerability were created, which serve as the basis for calculating daily dynamic fire vulnerability. The maps cover the entire European territory and were produced at a 1000 m resolution. For the purposes of this dissemination report, we extracted maps for the territory of Croatia, which were resampled from the original 1000 m resolution to a 100 m resolution using the Cubic B-Spline (4x4 kernel) method. The report includes all resampled maps of Croatia at 100 m resolution, as well as the original map at 1000 m resolution.

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

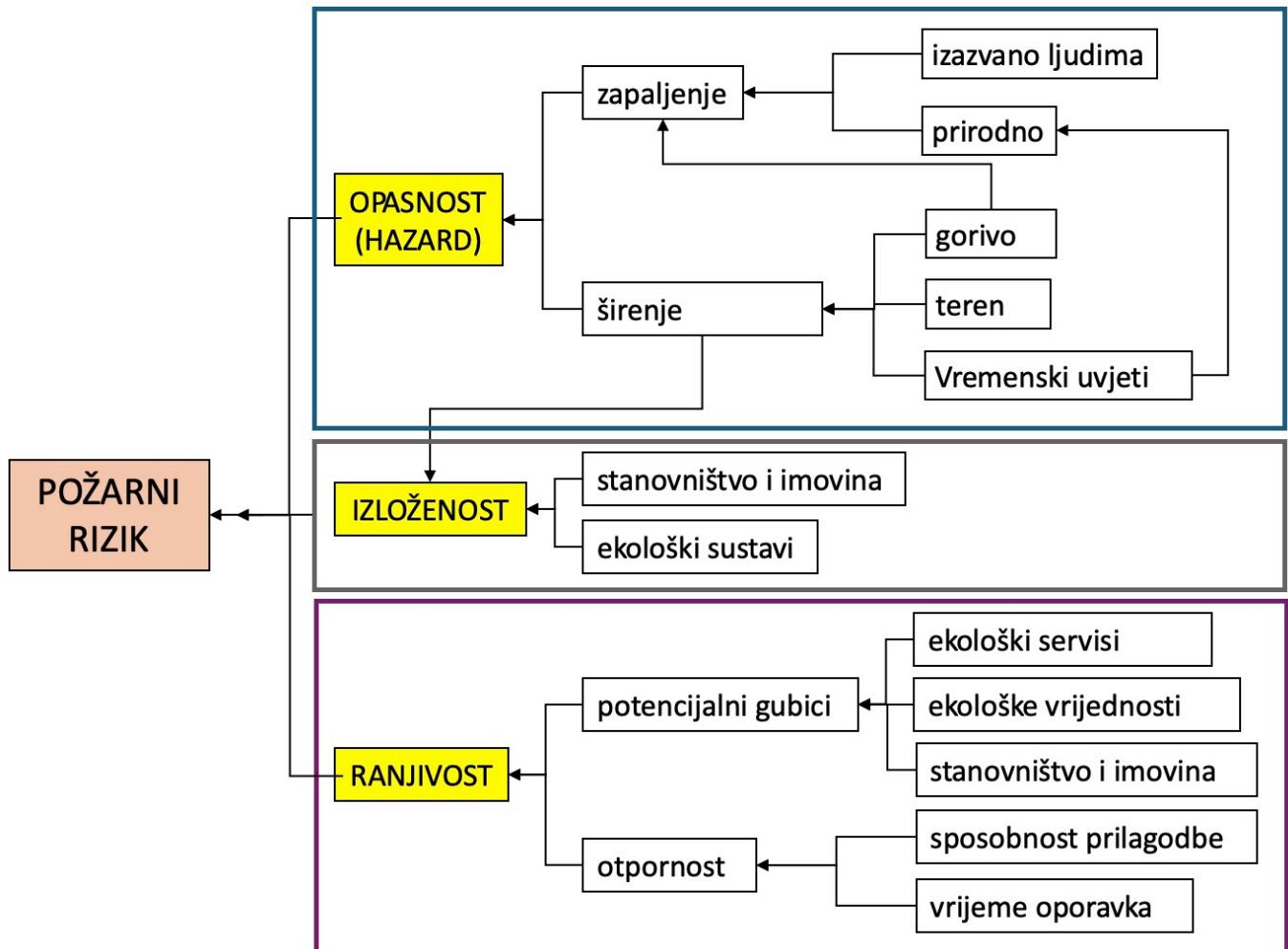
# Sadržaj

Sažetak.....	ii
Abstract.....	iii
Sadržaj.....	iv
1. Uvod.....	1
2. Procjena društvene ranjivosti i otpornosti na požare .....	3
2.1. Procjena društvene ranjivosti i otpornosti na požare iz perspektive zajednice .....	3
2.2. Procjena društvene ranjivosti i otpornosti na požare na temelju vrijednosti kuća i infrastrukture i ekoloških servisa .....	7
3. Procjena ranjivosti i otpornosti ekosustava na požare .....	22
3.1. Vegetacijska ranjivost i otpornost na požare .....	23
3.2. Ranjivost i otpornost ekosustava na požare.....	25
3.3. Procjena ekološke ranjivosti i otpornosti na požare na temelju ekoloških vrijednosti .....	26
4. Integrirana procjena ranjivosti i otpornosti na požare .....	36
5. FirEURisk integrirani indeks požarnog rizika.....	39
6. Utjecaj požara na infrastrukturu.....	42
7. Zaključak .....	44
Literatura .....	45

# 1. Uvod

Prema metodologiji projekta FirEURisk **integrirani indeks požarnog rizika** (engl. *IRI - Integrated Wildfire Risk Index*) je kompleksna veličina koja ovisi o tri faktora (Slika 1.):

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



Slika 1. Proračun požarnog rizika u okviru projekta FirEURisk

**Požarna ranjivost** (engl. *Wildfire Vulnerability*) označava osjetljivost ljudskim i ekološkim vrijednostima na potencijalne štete uzrokovane požarima. Ranjivost se određuje početnim vrijednostima zapaljivih resursa, njihovom otpornošću (u smislu otpornosti i vremena oporavka) te prilagodljivošću na požar. Uključuje potencijalne izravne i dugoročne učinke požara na ljudske zajednice, infrastrukturu, ekosustavne usluge i ekološke vrijednosti.

Kod požarne ranjivosti razlikuju se potencijalni gubici ekoloških servisa, ekoloških vrijednosti, stanovništva i imovine koji spadaju u socijalnu ranjivost, ali i požarna otpornost koju određuju sposobnost prilagodbe i vrijeme oporavka.

**Ranjivost** treba shvatiti kao vrlo širok pojam koji obuhvaća **fizičke, društvene, ekonomski, institucionalne i okolišne čimbenike**, koji zajedno definiraju različite elemente, uključujući **osjetljivost ili sklonost šteti te nedostatak kapaciteta za suočavanje i prilagodbu** (Birkmann et al., 2013). Drugim riječima, ranjivost uključuje elemente **osjetljivosti i prilagodbenih kapaciteta**, koji su usko povezani s konceptom **izloženosti** (engl. *Wildfire Exposure*). Preciznije, ova dva pojma mogu se definirati na sljedeći način:

- **Osjetljivost ili sklonost šteti** – odnosi se na stupanj do kojeg su izloženi elementi pogođeni ili promijenjeni pod utjecajem stresa.
- **Prilagodbeni kapacitet/mehanizmi suočavanja** – odnosi se na postojanje ili nedostatak vještina, resursa i prilika koje omogućuju izloženim/pogodenim elementima da prežive, apsorbiraju utjecaje i upravljaju negativnim posljedicama. Razina razvijenosti i primjene ovih kapaciteta može povećati ili smanjiti ranjivost.

Trenutno, prakse upravljanja katastrofama uzimaju ranjivost u obzir uglavnom kao sastavni dio rizika, zajedno s opasnošću i izloženošću, u skladu sa shemom na Slici 1., pa se i u okviru FirEURisk projekta, tome pristupilo na takav način. Potrebno je naglasiti da se u okviru projekta **FirEURisk** otpornost smatra sastavnim dijelom **ranjivosti** (vidi Slika 1.). Nadalje, ranjivost i otpornost unutar okvira **FirEURisk** analiziraju se iz **sustavnog/holističkog pristupa**, slično pristupu koji predlaže Europska komisija/konceptualni okvir JRC-a, koji tvrdi da je otpornost ovisna o kontekstu te se stoga mora promatrati unutar **višedimenzionalnog sustava referenci** (ekološkog, društvenog, ekonomskog i političkog) (Manca et al., 2017).

Zaključno, bez obzira na terminologiju korištenu za definiranje **ranjivosti**, postoje zajednički elementi. **Ranjivost** uključuje elemente **osjetljivosti i prilagodbenih kapaciteta**, koji se moraju procijeniti na lokalnoj razini, uzimajući u obzir jedinstvene karakteristike istraživačkog i operativnog okruženja.

U okviru FirEURisk projekta nastojalo se ranjivost procijeniti numerički, prostornim varijablama koje bi se, zajedno s varijablama vezanim uz izloženost i opasnost koristili kod kartografskog, dinamičkog prikaza požarnog rizika.

## 2. Procjena društvene ranjivosti i otpornosti na požare

U okviru FirEURisk projekta predložen je su dva pristupa procjeni društvene ranjivosti i otpornosti na požare (engl. *HV - Human Vulnerability*):

- a) iz perspektive zajednice i
- b) na temelju procjene vrijednosti kuća i infrastrukture i ekoloških servisa.

Prvi je postupak relativno složen, ali uzima u obzir sve elemente koji sudjeluju u procjeni društvene ranjivosti i otpornosti na požare, pa je primijenjen samo na razini manjih područja (pilot područja). Drugi je postupak dosta jednostavniji, a primijenjen ja na razini cijele Europe.

### 2.1. Procjena društvene ranjivosti i otpornosti na požare iz perspektive zajednice

Društvena ranjivost i otpornost na požare na razini pilot područja procjenjivana je iz perspektive zajednice, a na razini cijele Europe na temelju sučelja naseljenih i prirodnih područja divljine (WUI):

Metodologija za procjenu društvene ranjivosti i otpornosti u odnosu na šumske požare na razini zajednice, fokusirajući se na teritorijalne, administrativne ili statističke jedinice, nazvana je **indeks relativne društvene ranjivosti** (engl. *ReSVI – Relative Societal Vulnerability Index*). ReSVI je usmjeren je na analizu kapitala koji međusobno djeluju i oblikuju lokalnu zajednicu. Kapitali su predstavljeni su kroz ReSVI metodologiju u sljedećim dimenzijama:

- društvena dimenzija
- ekonomski dimenzija
- institucionalna dimenzija
- dimenzija ljudskog kapitala i
- okolišna dimenzija.

Za svaku od ovih dimenzija identificirane su kvantitativne i kvalitativne varijable koje opisuju odgovarajuće aspekte društvene ranjivosti na razini zajednice. Usporedba sličnih zajednica (teritorijalnih, administrativnih ili statističkih jedinica) i/ili njihovih viših administrativnih razina prema ovih pet dimenzija doprinosi izradi Indeksa relativne društvene ranjivosti (ReSVI).

S obzirom na to da je metodologija namijenjena podršci lokalnim i/ili regionalnim vlastima u razvoju strategija otpornosti prilagođenih lokalnim zajednicama, glavni fokus stavlja na **kapacitet suočavanja** (engl. *Coping Capacity*) kao komponentu rizika od požara, kako je definirano u integriranom okviru projekta FirEURisk. Metodologija ReSVI razvijena je i implementirana unutar Aktivnosti 1.2.2 – Procjena društvene ranjivosti i otpornosti, kao nastavak prethodnih istraživanja o ranjivosti i otpornosti zajednica iz perspektive višestrukih opasnosti.

**Društvena ranjivost** označava sklonost ugrožavanju ljudske dobrobiti zbog poremećaja u individualnim (mentalno i fizičko zdravlje) i kolektivnim (zdravstvene, obrazovne usluge itd.) društvenim sustavima, kao i njihovim karakteristikama (npr. rodna pitanja, marginalizacija društvenih skupina) (Birkmann et al., 2013). Društvena ranjivost na šumske požare odnosi se, kako na intenzitet društvenog utjecaja požara, tako i na nesposobnost lokalne zajednice da se nosi sa stresnim čimbenicima kojima je izložena kao posljedica požara. Ova ranjivost ima i strukturnu i procesnu dimenziju.

Društvenu ranjivost na šumske požare dijeli se na dva ključna koncepta, koji su međusobno povezani:

- **Osjetljivost** (engl. *Sensitivity*): Stresni čimbenici koji utječu na izložene elemente, tj. povezanost između stresnih čimbenika i elemenata koji karakteriziraju lokalnu zajednicu.
- **Prilagodbeni kapacitet / mehanizmi suočavanja** (engl. *Adaptive capacity / coping mechanisms*): Postojanje ili nedostatak vještina, resursa i prilika koje omogućuju zajednici da se nosi sa stresnim čimbenicima koji utječu na izložene elemente.

Varijable koje utječu na **osjetljivost** često se različito definiraju od različitih autora. Prema pregledna studija koju su proveli (Costafreda-Aumedes et al., 2017.) popis najutjecajnijih varijabli koje povećavaju ili smanjuju rizik od požara, kako u kratkoročnom, tako i u dugoročnom razdoblju su klasificirane u pet kategorija:

1. vremenski uvjeti i opasnost
2. fiziografija koja proučavanje fizičkih obilježja Zemljine površine, uključujući topografiju, reljef, hidrologiju, klimu i pedologiju (tlo)
3. vegetacija/gorivo
4. ljudi i ljudske aktivnosti
5. ostale varijable

Varijable povezane s ljudskim faktorom u kratkoročnom razdoblju su:

- udaljenost od cesta (*obrnuto povezana s rizikom od požara*)
- gustoća cestovne mreže (*izravno povezana s rizikom od požara*)
- udaljenost od naselja (*obrnuto povezana*)
- urbana područja (*obrnuto povezana*) i
- udaljenost od željezničkih pruga (*obrnuto povezana*).

Varijable povezane s ljudskim faktorom u dugoročnom razdoblju:

- udaljenost od cesta (*obrnuto povezana*)
- gustoća cestovne mreže (*izravno povezana s rizikom od požara*)
- udaljenost od naselja (*obrnuto povezana*)
- gustoća stanovništva (*izravno povezana*)
- gustoća građevina (*izravno povezana*)
- udaljenost od željezničkih pruga (*obrnuto povezana*)
- gustoća željezničke mreže (*izravno povezana*)
- udaljenost od rekreacijskih područja (*obrnuto povezana*)
- zaštićena područja (*izravno povezana*) i
- BDP po stanovniku (*izravno povezana*).

Varijable koje utječu na **prilagodbene kapacitete** pretežno se odnose na načine upravljanja zemljom (engl. *LMPs – Land Management Practices*). U istraživanju (Jucker Riva et al., 2018.) LMPs su podijeljene u 5 kategorija:

1. Čišćenje vegetacije (engl. *Clearing of vegetation*)

- postpožarno konzervacijsko sječenje
- postpožarno tradicionalno sječenje
- selektivno krčenje šuma
- sustav mreže protupožarnih pojaseva i
- uklanjanje vrsta sklonih sjemenskim širenjem nakon požara.

Čišćenje vegetacije smanjuje dostupnu biomasu u požarno rizičnim područjima; može se kombinirati s ekonomskim aktivnostima, poput iskorištavanja drvne mase u proizvodne svrhe. Ove su prakse dokazano učinkovite u smanjenju rizika od požara.

## 2. Kontrolirana ispaša (engl. *Managed Grazing*)

- postavljanje metalnih ograda za regulaciju ispaše i
- kontrolirana ispaša u proljetnim mjesecima.

Ove prakse reguliraju i ograničavaju pristup životinja određenim područjima tijekom dijela godine. Dokazano su korisne, no nisu otpornije na požare.

## 3. Sadnja grmlja (engl. *Planting of Shrubs*)

- plantaže polusušnih drvenastih vrsta s mikrohvatačima vode
- prostorom raznolike plantaže različitih polusušnih drvenastih vrsta
- sadnja polusušnih drvenastih vrsta na terasama i
- sadnja grmlja i drveća s sposobnošću ponovnog rasta (resprouting).

Ove prakse obnavljaju degradirana područja, povećavajući vegetacijski pokrov i potpomažući prirodnu evoluciju ekosustava. Dokazano su učinkovite u smanjenju rizika od požara.

## 4. Sadnja drveća (engl. *Planting of Trees*)

- pošumljavanje s alepskim borom (*Pinus halepensis*) nakon požara
- pošumljavanje pašnjaka rogačem i
- sadnja rogača i maslina radi prevencije erozije.

Sadnja drveća djeluje kao praksa obnove, ali, za razliku od sadnje grmlja, nije osobito otporna na požare.

## 5. Ostale prakse (engl. *Other Practices*)

- zaštita stabala rogača od štakora i
- dopunska prehrana stoke tijekom ljeta

Ove dodatne mjere mogu doprinijeti ekološkoj stabilnosti i zaštiti određenih vrsta u područjima podložnim požarima.

U okviru FirEURisk projekta na razini pilot područja **indeks relativne društvene ranjivosti** (ReSVI) je procjenjivan na temelju varijabli podijeljenih u 5 grupa, svaka od njih podijeljena u brojne indikatore:

### 1. socijalna dimenzija s indikatorima:

- dob stanovništva
- komunikacijski servisi

- kapital zajednice
- obiteljska struktura
- spol
- migracije, rase i etničke grupe
- socijalna ovisnost
- posebni zahtjevi populacije
- bogatstvo i ekonomski status

2. ekonomска dimenzija s indikatorima:

- bogatstvo i ekonomski status
- struktura poslovanja
- primarni sektor
- kapital

3. institucijska dimenzija s indikatorima:

- hitno reagiranje
- financiranje rizika
- ublažavanje rizika
- svijest o riziku
- propisi
- poticaji
- upravljanje

4. ljudski kapital s indikatorima:

- razina obrazovanja
- zdravstveni servisi
- zanimanja

5. okolišna dimenzija s indikatorima:

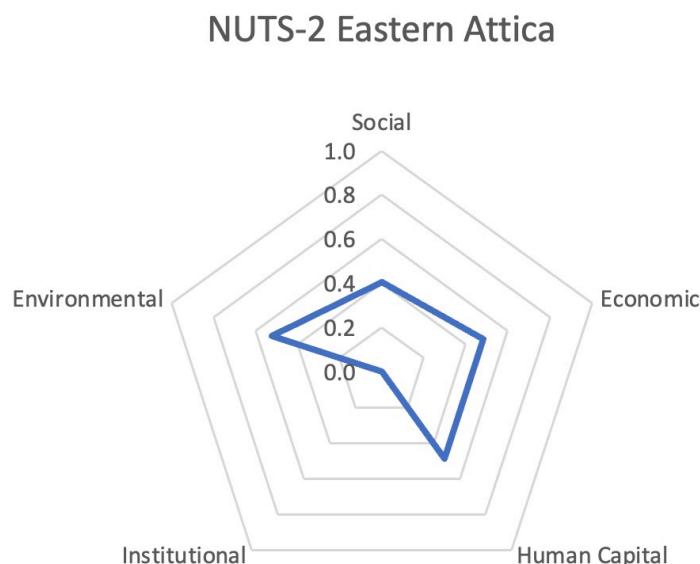
- fiziografija
- bioraznolikost (životinje)
- bioraznolikost (biljke)
- okolišni sustavi
- vegetacijska goriva
- infrastruktura
- korištenje zemljišta
- otpad i zagađivanje
- strukture krajolika

- upravljanje zemljištem
- stambene jedinice
- urbanizacija i pritisak naseljavanja

Indikatori su brojni, a način njihovog određivanja još složeniji. Na primjer procjena indikatora za dob stanovništva se provodi na temelju 6 parametara:

- % ljudi starijih od 65 godina
- medijalna dob
- % stanovništva ispod 5 godina
- % mlađih ljudi ispod 20 godina
- % ljudi mlađih od 15 godina, % ljudi starijih od 75 godina
- stopa ovisnosti o dobi - ekonomski pokazatelj koji izražava omjer između ekonomski ovisnog stanovništva (djeca i starijih osoba) i radno sposobnog stanovništva.

tako da je cijeli predloženi sustav određivanja FirEURisk indeksa relativne društvene ranjivosti (ReSVI) dosta zahtjevan. U okviru projekta proveden je na razini pilot područja. Na primjer za PS5 – istočni dio poluotoka Attica u Grčkoj ReSVI je prikazan na Slici 2.



*Slika 2. ReSVI za istočni dio poluotoka Attica – jedno od pilot područja projekta FirEURisk (Bar-Masada et al., 2023.)*

## 2.2. Procjena društvene ranjivosti i otpornosti na požare na temelju vrijednosti kuća i infrastrukture i ekoloških servisa

U okviru projekta FirEURisk razvijen je i pojednostavljeni postupak koji se temelji na vrijednostima kuća i infrastrukture, te je primijenjen za proračun društvene ranjivosti na razini cijele Europe.

**Društvena ranjivost** se procjenjuje na temelju vrijednosti prije požara:

- kuća i infrastrukture (VH) )(engl. *Values of Houses and Infrastructure*) u [€/ha] dobivenih analizom statističkih podataka i

- ekoloških servisa ( $ESV_i$ ) (engl. *Ecosystem Service Values*) u [€/ha/godini] također dobivenih analizom statističkih podataka.

Slijedeći korak je smanjenje vrijednosti kuća i infrastrukture zbog mogućih požara ( $RH$ )(engl. *Reduction of Human Values*):

$$RH = VH * LOSS1 \quad (1)$$

gdje se  $LOSS1$  određuje na temelju moguće žestine požara iskazane preko kategorije moguće 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. Klimatske zone prema indeksu sušnosti (aridnosti) su korištene za grubu procjenu načina gradnje uz pretpostavku da su kuće u ne-mediteranskoj (sub-vlažnoj/vlažnoj) zoni u WUI područjima građene od drva, a u mediteranskoj (sušno/polu-sušno) zoni od krutih materijala<sup>1</sup>. O podijeli na klimatske zone i karti Hrvatske dodijeljenoj u dvije klimatske zone više u našem diseminacijskom izvještaju o FirEURisk modelima i kartama goriva (Stipaničev et al., 2024a.)

*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*

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

Smanjenje vrijednosti ekoloških servisa zbog mogućih požara ( $RESVi$  ) (engl. *Reduction of ESVi*) računa se prema sličnom izrazu:

$$RESVi = ESVi * LOSS2 \quad (2)$$

gdje su ESi vrijednosti pojedinih ekoloških servisa podijeljenih u 9 grupa prema Tablici 3. Pretpostavlja se da su neke usluge otpornije od drugih na gubitak vrijednosti zbog požara. Na primjer, očekuje se da će drvna masa imati veću otpornost od travnjaka, budući da će se potonji u većem postotku izgorjeti od prvih pri istoj jačini požara.

---

<sup>1</sup> Ovo je možda najveći nedostatak ovog proračuna s obzirom da se danas više-manje sve kuće rade od krutih materijala (betona, cigle ...), ali ostavljamo tablice kako su originalno predložene u FirEURisk projektu.

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

br.	ES <sub>i</sub>	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	sekvestracija 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 su gubici integrirani kroz razdoblje tijekom kojeg usluga neće biti dostupna, primjenom uobičajene diskontne stope (r) od 2%.

$$TESV_i = RESV_i \cdot \frac{1 - (1+r)^{-\log RT_i}}{r} \quad (3)$$

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, ovaj parametar nije uključen jer se prepostavlja da se kuće obnavljaju u najkraćem mogućem roku.

*Tablica 4. Procijenjeno vrijeme oporavka za različite ekološke servise*

br.	ES <sub>i</sub>	RT <sub>i</sub>
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 drvnu masu, sekvestraciju ugljika i zadržavanje tla, vremena oporavka izračunata su za svaku šumsku vrstu na temelju europskih karata šumskih vrsta.

Ukupna društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV) konačno je računa zbrajanjem vrijednosti kuća koje bi potencijalno mogle biti oštećene požarom i vrijednosti usluga ekosustava koje bi mogle biti pogodjene. Budući da su obje vrijednosti u različitim redovima veličine (zbog visoke vrijednosti kuća), najprije je primjenjena logaritamska transformacija ukupne vrijednosti, zato što bi u suprotnom većina vrijednosti bude uključena u jednu kategoriju ranjivosti:

$$SEV = \log(RHV + \sum_i TESV_i) \quad (4)$$

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

$$SEV_n = ((SEV - SEV_{min}) / (SEV_{max} - SEV_{min})) \quad (5)$$

Slika 3. prikazuje vrijednosti kuća i infrastrukturna za Hrvatsku. Karta je izrezana iz karte Europe napravljene u okviru FirEURisk aktivnosti 1.2.2. Socijalna ranjivost koja se bavila analizom veličina koje utječe na socijalnu ranjivost od požara (Bar-Masada et al., 2023). U izradi karte posebno su sudjelovali Maria Clara Ochoa (Universidad de Alcalá) i Simone Martino (James Hutton Institute). Karta Europe je izrađena u rezoluciji 1000 m, a karta Hrvatske je preuzorkovana na rezoluciju 100 m postupkom Cubic B-Spline (4x4 kernel). Uz izvještaj su priložene preuzorkovana karta Hrvatske u rezoluciji 100 m i originalna karta Hrvatske u rezoluciji 1000 m.

Karta nije savršena, bar ne za cijelo područje Hrvatske. Područje Zagreba i Istre/Kvarnera je realnije, za razliku od Dalmacije. To pokazuje i Slika 4. koja prikazuje područje Splita, gdje veći dio urbane strukture nije uključen u ovu kartu vrijednosti kuća i infrastrukture. Sigurno će, bar za područje Hrvatske trebati raditi na novoj karti, možda na temelju karte WUI područja koju smo objavili u okviru posebnog diseminacijskog izvještaja (Stipaničev et al., 2025a.), pa se nadamo da će i ovaj izvještaj biti poticaj istraživačima u izradi točnije karte vrijednosti kuća i infrastruktura za Hrvatsku.

Statistička analiza FirEURisk karte vrijednosti kuća i infrastruktura (VH) za Hrvatsku u [€/ha] je:

**broj piksela:** 21482600

**broj NoData piksela:** 5648600 (**vrijednost NoData:** -32768)

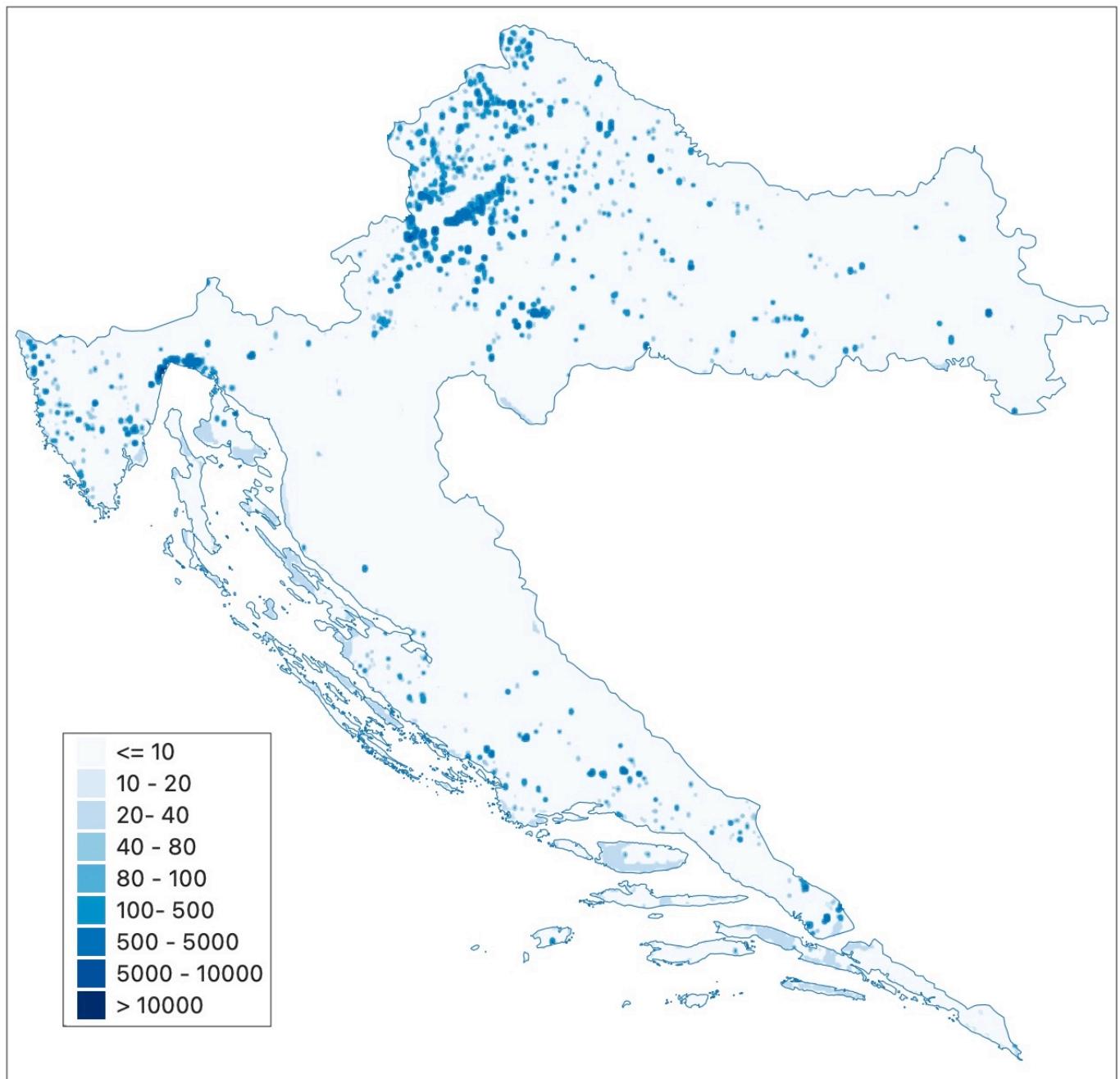
**minimalna vrijednost:** 0

**maksimalna vrijednost:** 10742.75

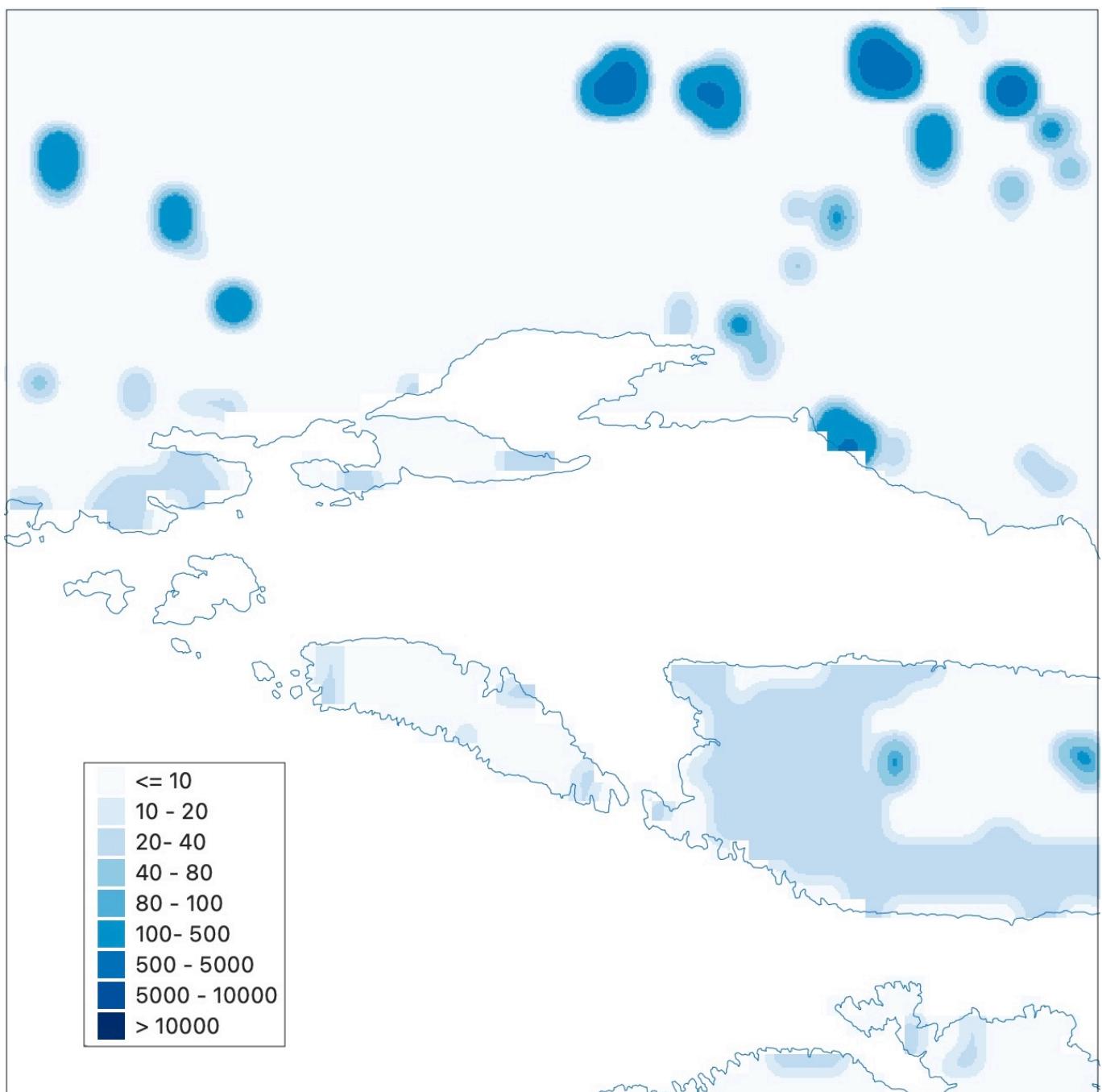
**širina područje:** 10742.75

**srednja vrijednost:** 21.33

**standardna devijacija:** 190.88



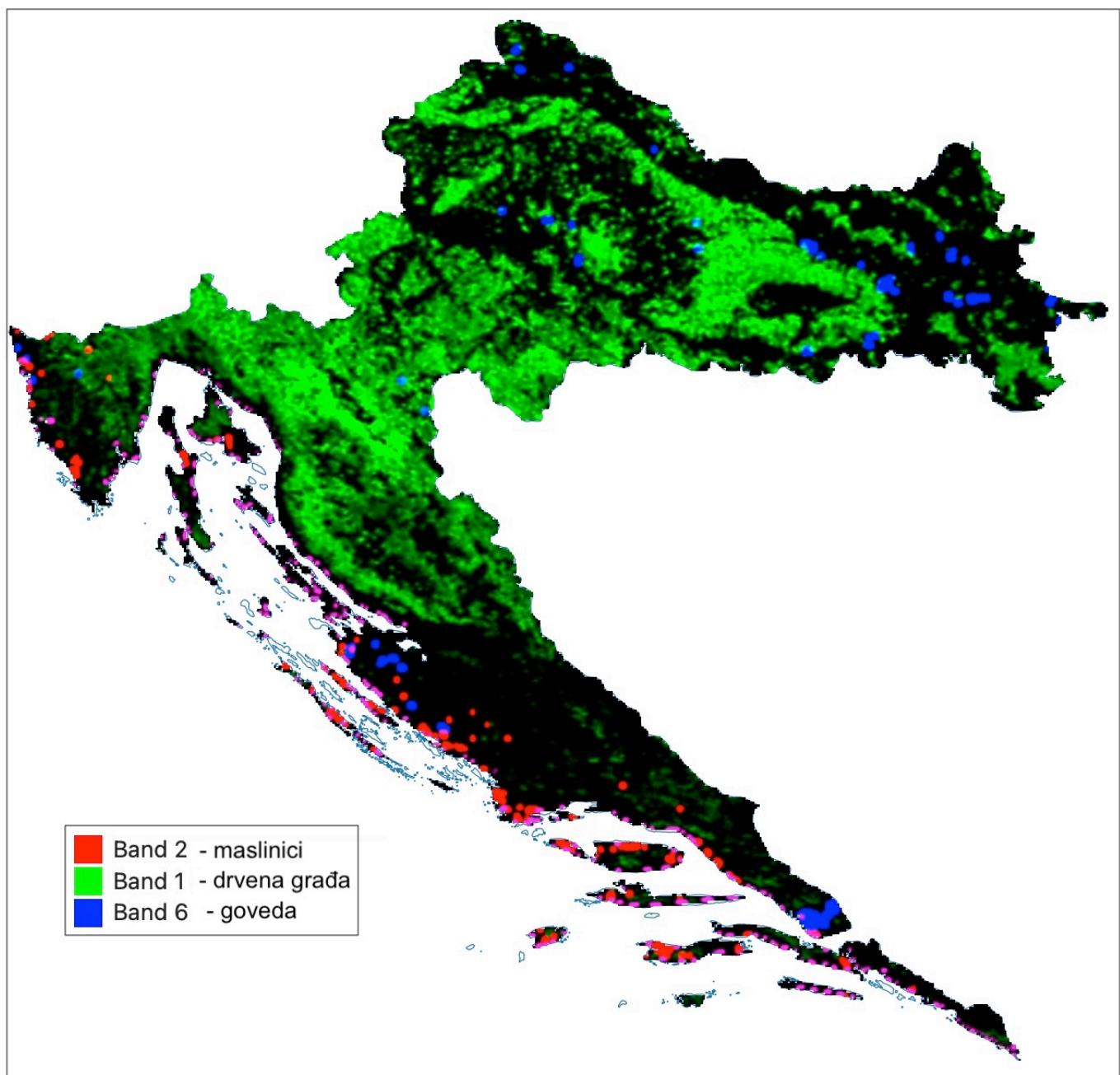
Slika 3. Vrijednosti kuća i infrastrukture (VH) u [€/ha] za područje Hrvatske rezolucije 100 m koja je dobivena preuzorkovanjem FirEURisk karte rezolucije 1000 m.



Slika 4. Vrijednosti kuća i infrastrukturna (VH) u [€/ha] za područje Splita rezoluciji 100 m koja je dobivena preuzorkovanjem FirEURisk karte rezolucije 1000 m.

Slika 5. prikazuje vrijednosti tri (drvena građa, maslinici, goveda) od devet ekoloških servisa za Hrvatsku iz Tablice 3. Karta je izrezana iz karte Europe napravljene u okviru FirEURisk aktivnosti 1.2.2. Socijalna ranjivost koja se bavila analizom veličina koje utječu na socijalnu ranjivost od požara (Bar-Masada et al., 2023). U izradi karte posebno su sudjelovali Maria Clara Ochoa (Universidad de Alcalá) i Simone Martino (James Hutton Institute). Karta Europe je izrađena u rezoluciji 1000 m, a karta Hrvatske je preuzorkovana na rezoluciju 100 m postupkom Cubic B-Spline (4x4 kernel).

Slika 6. prikazuje vrijednosti drvena građe.

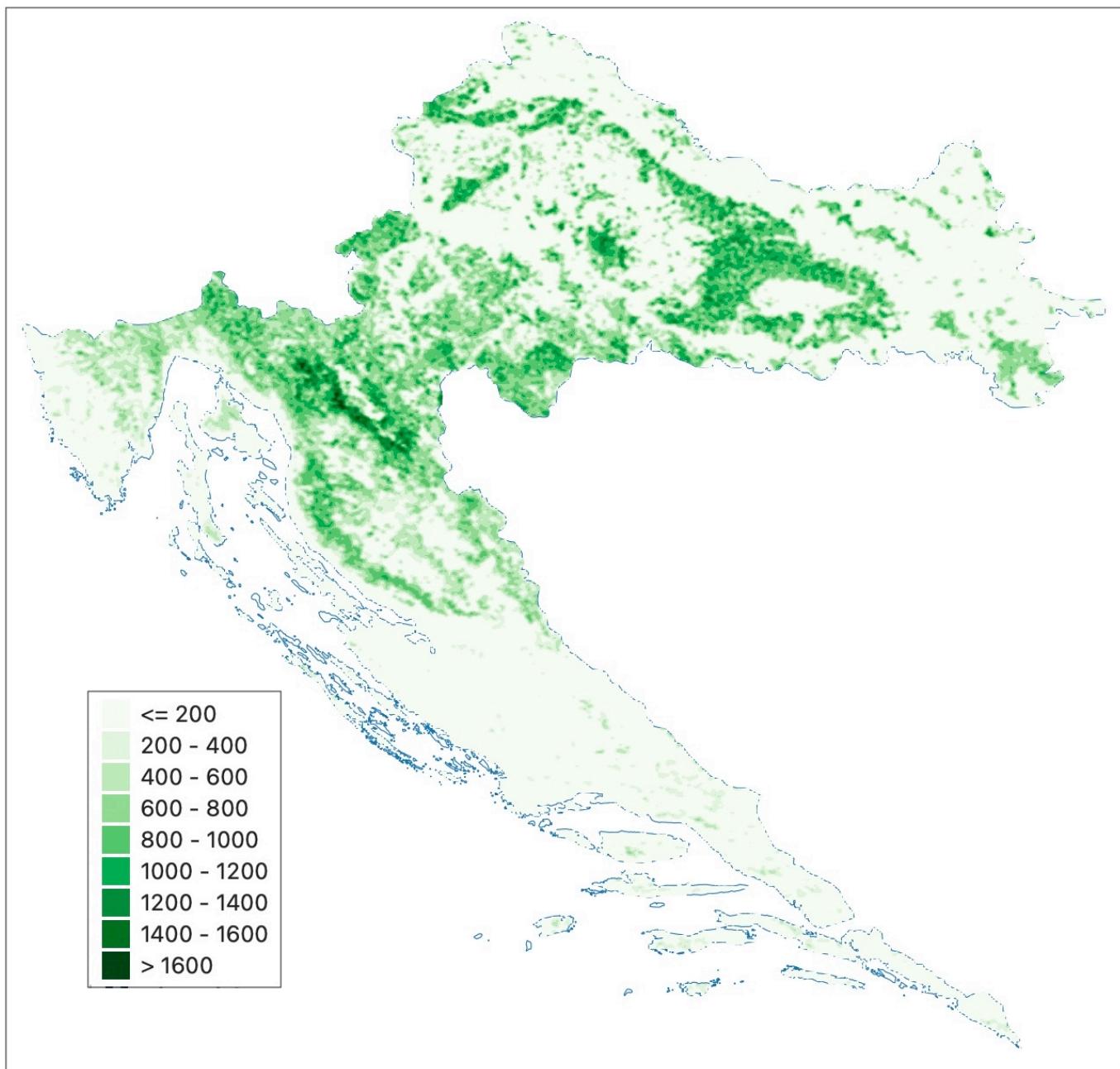


Slika 5. Tri od devet ekoloških servisa (  $ESV_{1,2,3}$  - drvena građa, maslinici, goveda u [€/ha/godini] za područje Hrvatske u rezoluciji 100 m koja je dobivena preuzorkovanjem FirEURisk karte rezolucije 1000 m

Tablica 5. Statistička analiza FirEURisk vrijednosti ekoloških servisa ( $ESV_i$ ) za Hrvatsku u [€/ha/godini]

br.	sloj	min	max	srednja	st. dev.
1	Band 1 – drvena građa	0	1836	317.14	357.69
2	Band 2 - maslinici	0	127	0.35	2.79
3	Band 3 - voćnjaci	0	9412	1.28	16.67
4	Band 4 - vinogradi	0	784	4.86	37.26
5	Band 5 – oplodnja usjeva	0	963	5.21	52.17
6	Band 6 - goveda	0	365	103.65	60.31
7	Band 7 - ovce	0	657	99.96	56.19

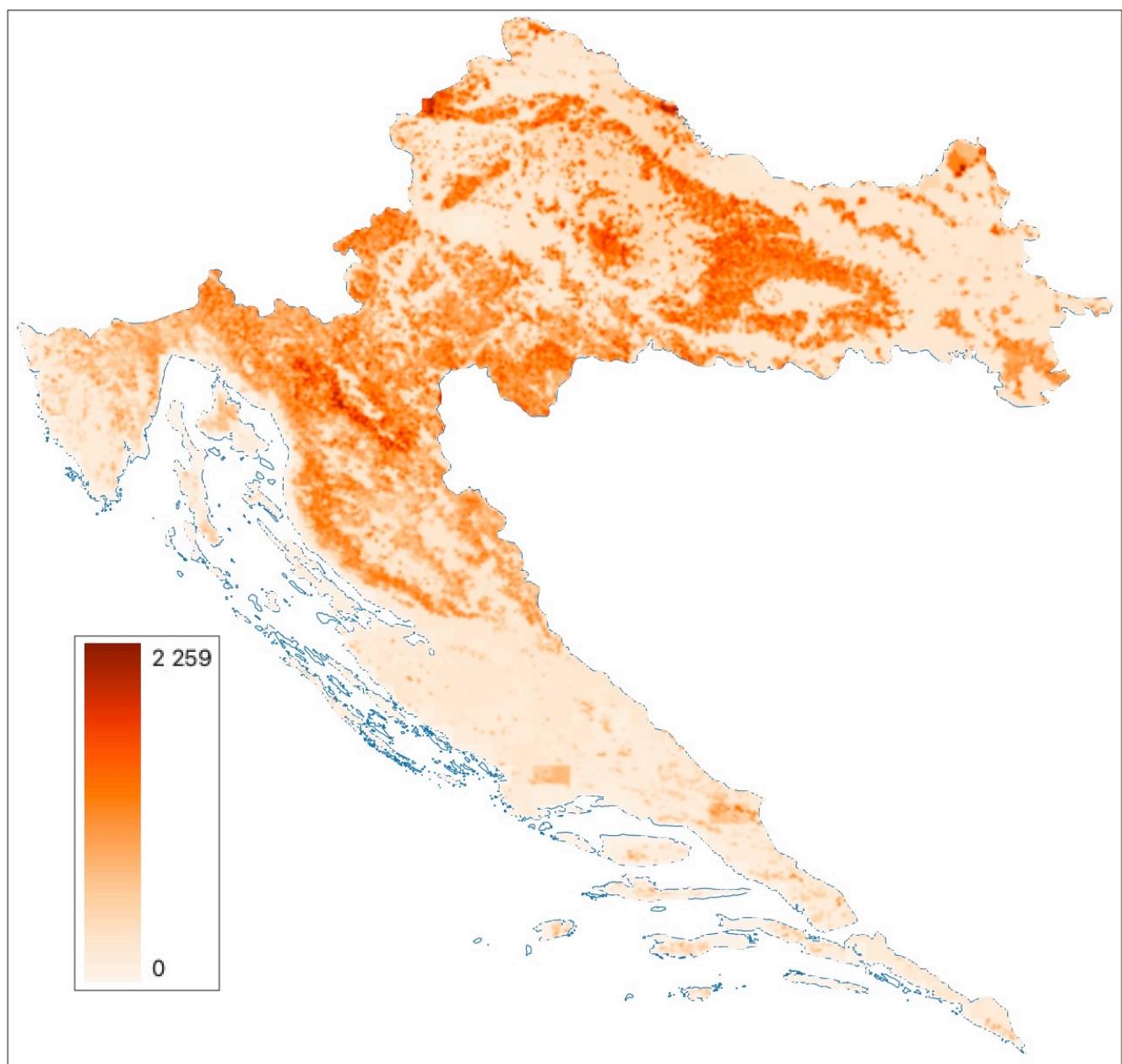
8	Band 8 - sekvestracija ugljika	0	63	21.33	18.72
9	Band 9 – zadržavanje tla	0	24	0.34	0.87



Slika 6. Vrijednost drvene građe (ES<sub>1</sub>) u [€/ha/godini] za područje Hrvatske u rezoluciji 100 m koja je dobivena preuzorkovanjem FirEUrisk karte rezolucije 1000 m.

Uz izvještaj su priložene karte Hrvatske s 9 slojeva koji po brojevima odgovaraju ekološkim servisima iz Tablice 3. i to preuzorkovana karta rezolucije 100 m i originalna karta u rezoluciji 1000 m.

Ako se sumiraju sve vrijednosti ekoloških servisa dobije se karta na Slici 7. Vrijednosti su u [€/ha/godini]. Ova je karta više informativna, zato što se kod proračuna ukupne društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV) uzimaju u obzir pojedinačna smanjenje vrijednosti ekoloških servisa u skladu s jednadžbom (2).



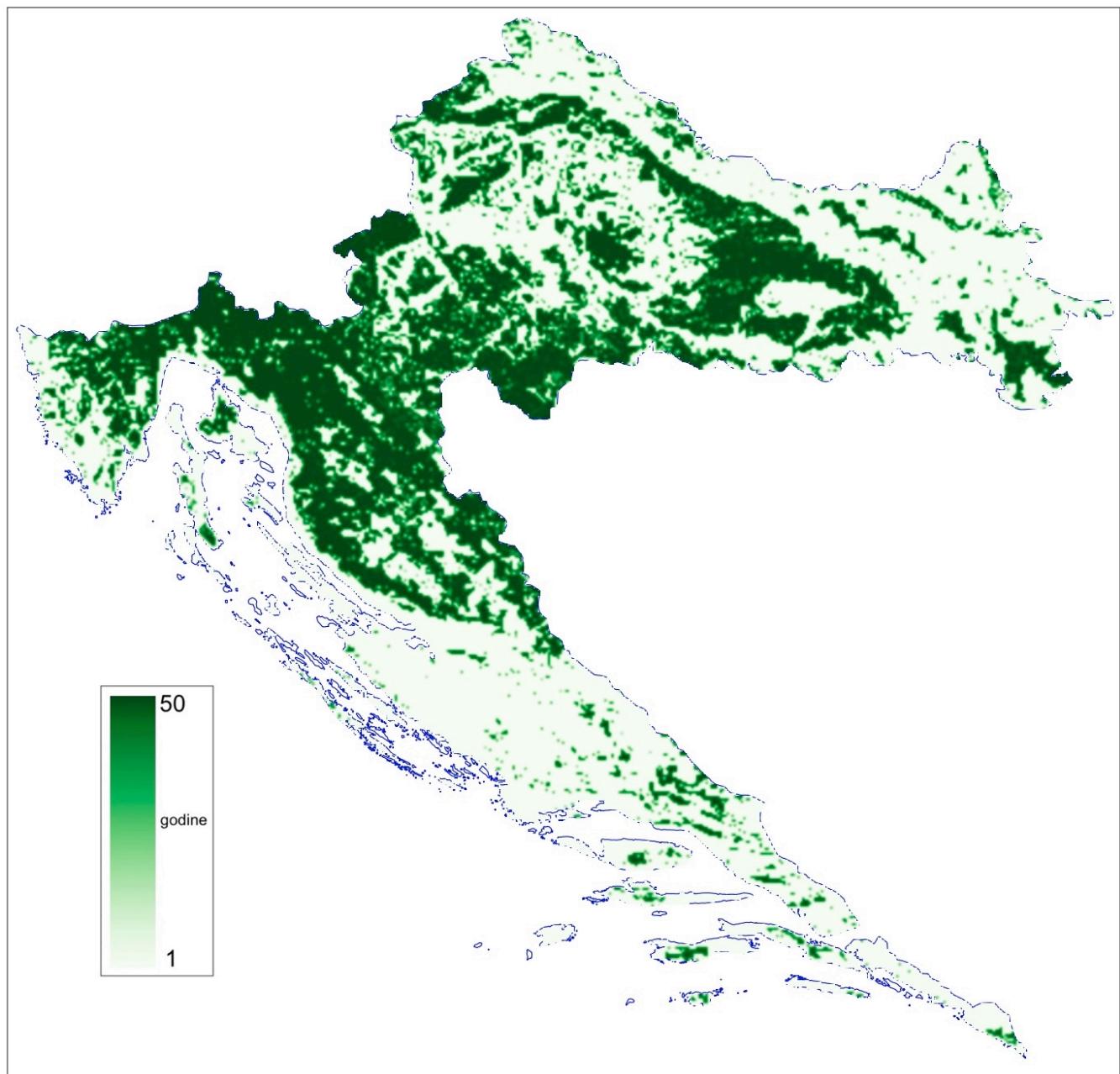
*Slika 7. Ukupna vrijednost ekoloških servisa ( $ESV = \sum_i ESV_i$ ) u [€/ha/godini] za područje Hrvatske u rezoluciji 100 m koja je dobivena preuzorkovanjem FirEURisk karte rezolucije 1000 m.*

Ostala je još jedna veličina, a to je vrijeme oporavka  $RT_i$  koje je vezano uz pojedine ekološke servise. Slika 8 prikazuje vrijeme oporavka za drvenu građu na temelju karti šuma na početku 2023.g. Kako su karte pojedinih ekoloških servisa vremenom mijenjaju, trebalo bi i njih dinamički računati, posebno ako se rade analize na razini manjih područja. Statističku analizu vremena oporavka svih ekoloških servisa prikazuje Tablica 6. Uz izvještaj su priložene karte vrijemena oporavka  $RT_i$  Hrvatske s 9 slojeva koji po brojevima odgovaraju ekološkim servisima iz Tablice 3. i to preuzorkovana karta rezolucije 100 m i originalna karta u rezoluciji 1000 m.

*Tablica 6. Statistička analiza FirEURisk vremena oporavka ( $RT_i$ ) za Hrvatsku u [godine]*

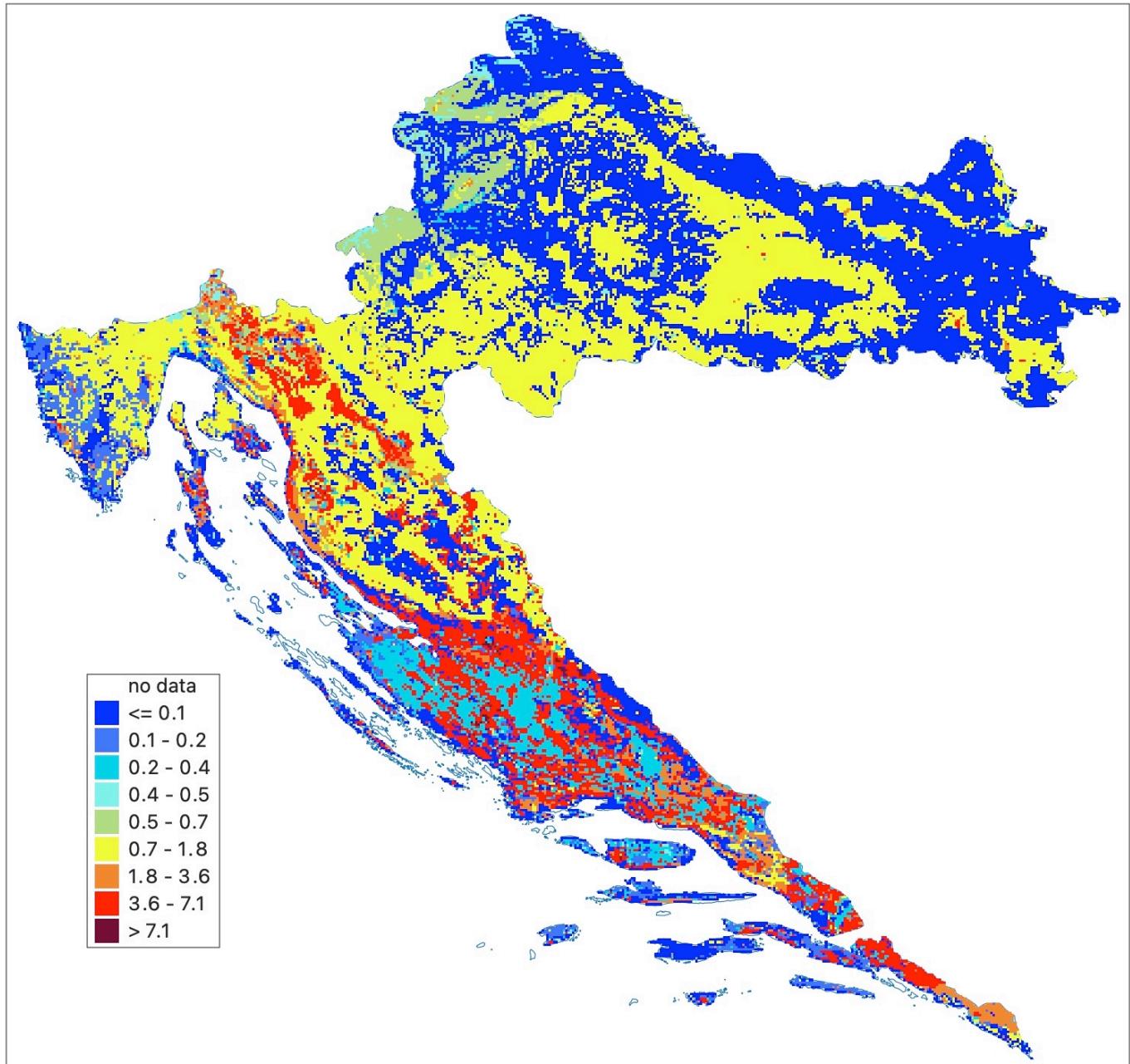
br.	sloj	min	max	srednja	st. dev.
1	Band 1 – drvena građa	1	49.82	21.25	20.40
2	Band 2 - maslinici	7	7	7	0

3	Band 3 - voćnjaci	6	6	6	0
4	Band 4 - vinogradi	0	7	7	0
5	Band 5 – oplodnja usjeva	1	49.72	1.97	5.72
6	Band 6 - goveda	1	1	1	0
7	Band 7 - ovce	1	1	1	0
8	Band 8 - sekvestracija ugljika	1	49.80	19.74	18.80
9	Band 9 – zadržavanje tla	1	49.82	41.64	10.31



Slika 8. Vrijeme oporavka ( $RT_1$ ) za drvenu građu – ukupno vrijeme u godinama potrebno drvenoj građi da se vrati na stanje prije požara za 2023.g. i područje Hrvatske rezolucije 100 m koja je dobivena preuzorkovanjem FirEURisk karte rezolucije 1000 m.

Dio projekta FirEURisk bilo je i računanje svih elemenata požarnog rizika za požarne sezone 2023. i 2024. na razini cijele Europe u rezoluciji 1000 m. Iz te baze podataka izvukli smo kartu normalizirane vrijednosti ukupna društvene ranjivosti i otpornosti na požare ( $SEV_n$ ) za dan 30.07.2024.g. kada se na području Dalmacije dogodilo nekoliko velikih požara. 30. srpnja 2024. izbio je veliki požar na području Tučepa koji se brzo širio potpomognut jakim vjetrom. Slijedećih nekoliko dana planulo je još nekoliko velikih požara. Zanimalo nas je kakvi su u to vrijeme bili različiti elementi rizika. Redukcija vrijednosti kuća i infrastrukture i ekoloških servisa određuje se na temelju visine plamena, pa Slika 9. prikazuje visinu plamena<sup>2</sup> ( $FL$ ) na dan 30.07.2024.g.

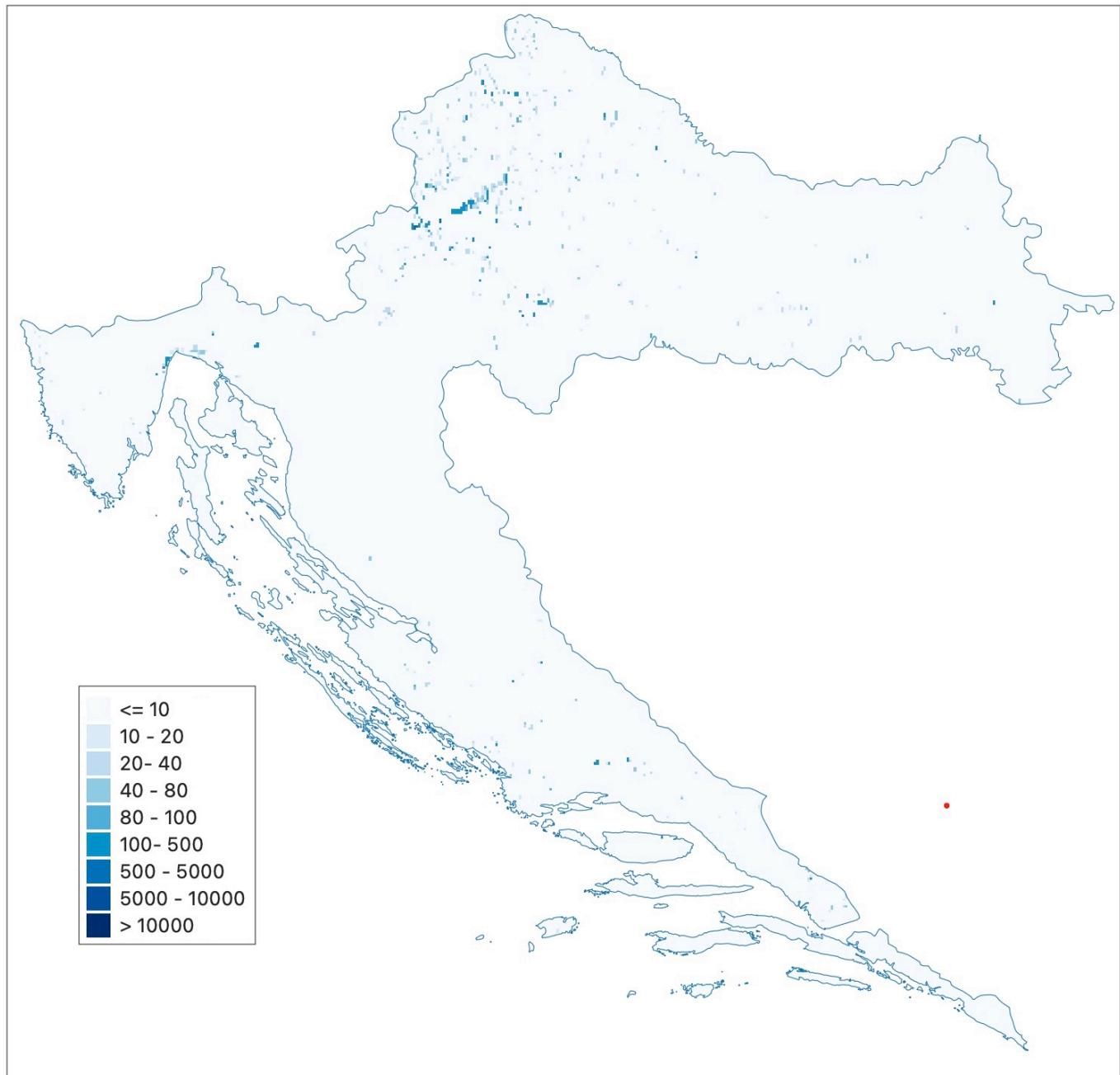


Slika 9. Visina plamena ( $FL$ ) [m] za područje Hrvatske na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.

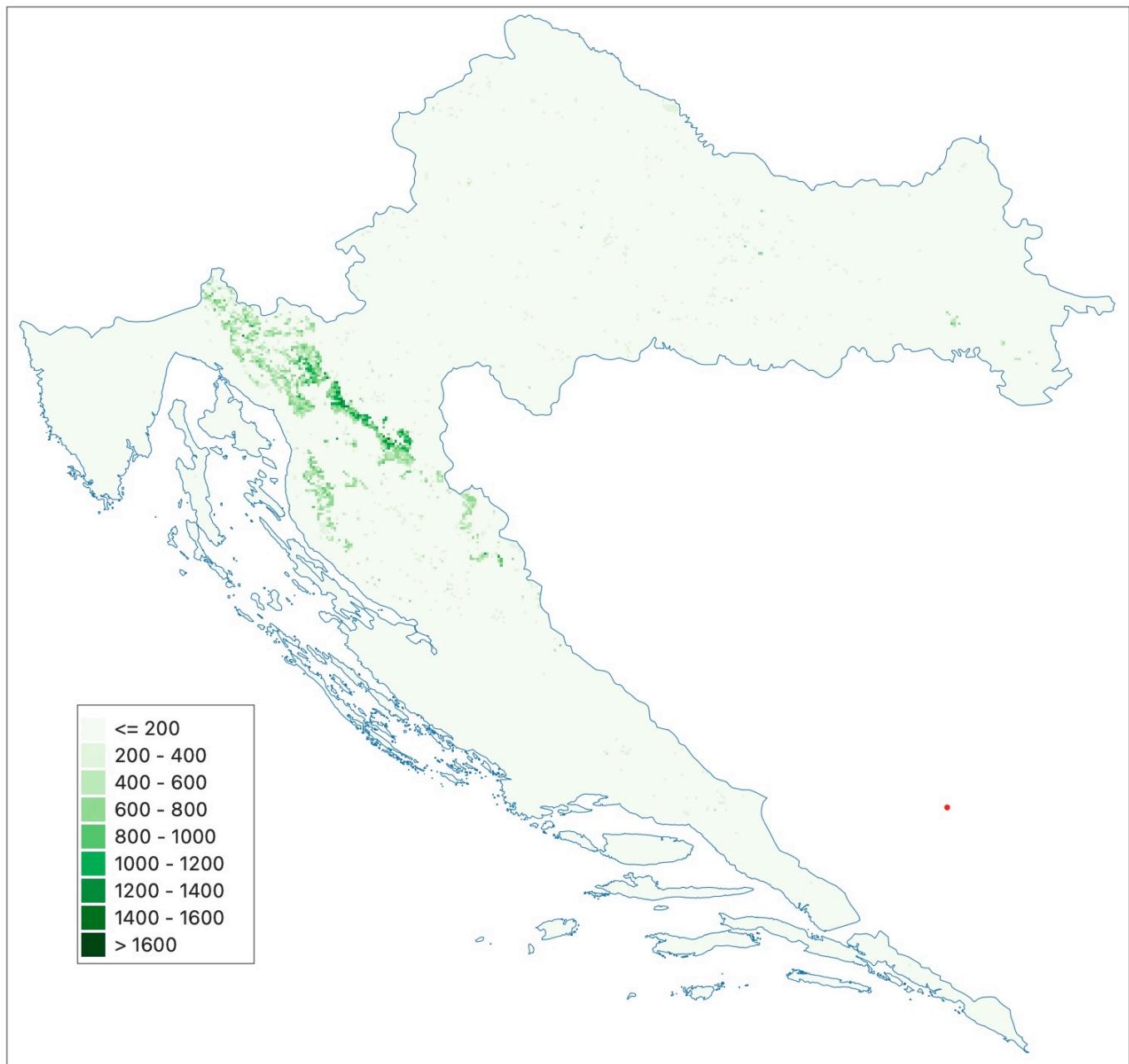
<sup>2</sup> Visina plamena ( $FL$ ) se računa kao jedan od parametara propagacijskog potencijala o čemu ćemo pripremiti poseban FirEURisk diseminacijski izvještaj za područje Hrvatske.

Na temelju visine plamena ( $FL$ ) i klimatološke zone za dan 30.07.2024.g. određuje se moguće smanjenje vrijednosti kuća, infrastrukture ( $RHV$ ) (Slika 10.) i ekoloških servisa ( $\sum_i TESV_i$ ) (Slika 11.) prema Tablicama 1., 2. i 3. Nakon toga se računa **normalizirane vrijednosti ukupna društvene ranjivosti i otpornosti na požare ( $SEV_n$ )** koji ima vrijednost u intervalu [0,1]. Slika 12. prikazuje  $HVN$  za dan 30.07.2024.g. i područje Hrvatske, Slika 13. za područje Splitsko-dalmatinske županije, a Slika 43. za područje Tučepa gdje se dogodio taj veliki požar.

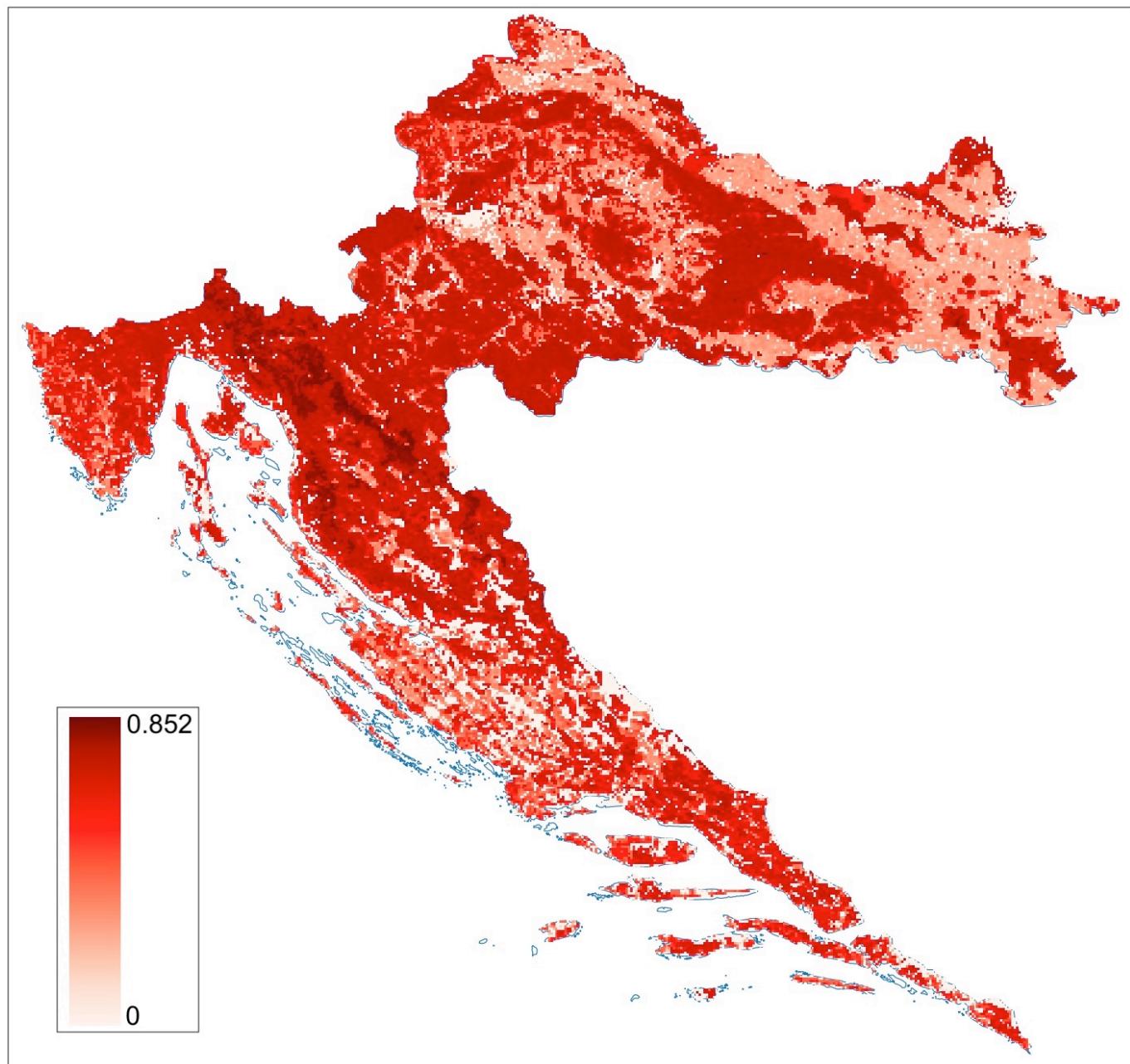
Sa slika vidimo da je 30.7.2024. na području cijele Hrvatske, pa tako i na području Tučepa bila vrlo velika ukupna društvena ranjivost i otpornost na požare.



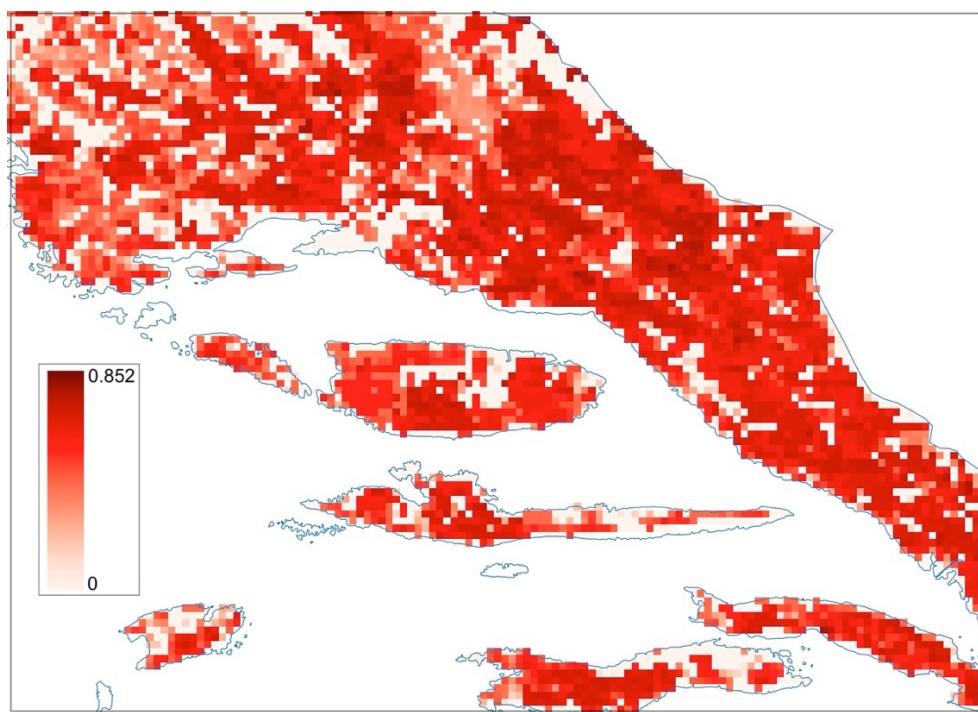
*Slika 10. Smanjenje vrijednosti kuća i infrastrukture ( $RHV$ ) u [€/ha] za područje Hrvatske na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.*



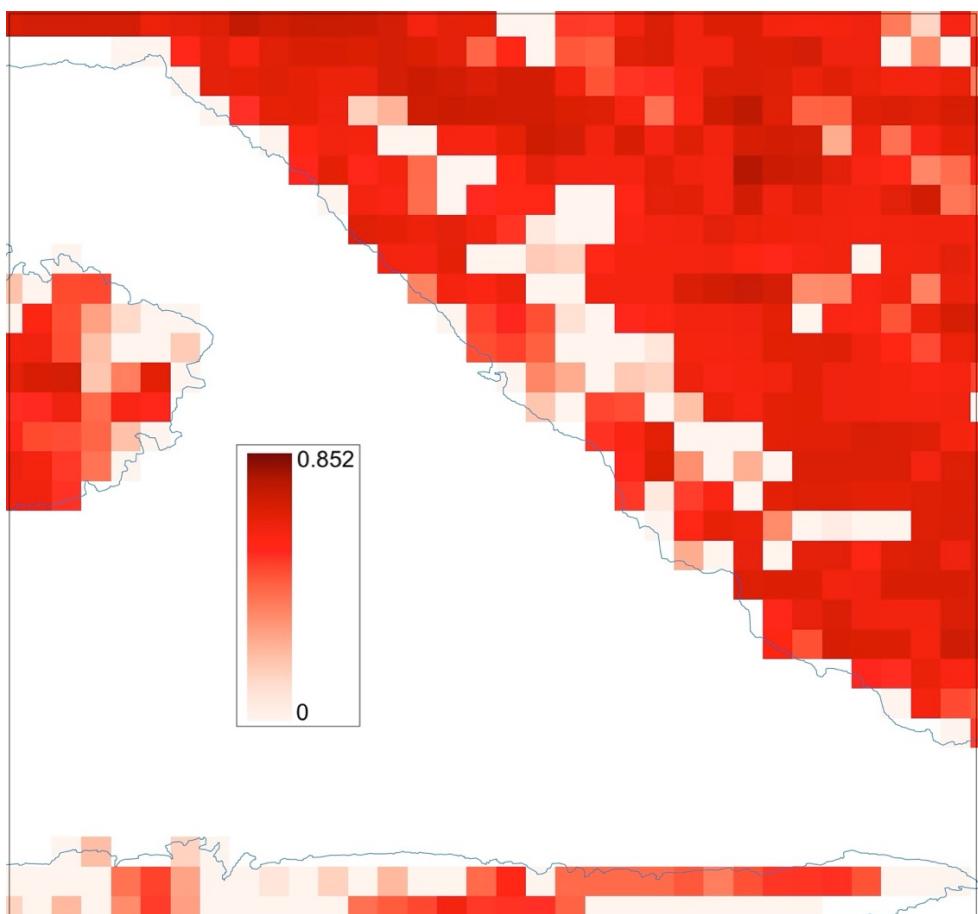
Slika 11. Smanjenje vrijednosti ekoloških servisa ( $\sum_i \text{TESV}_i$ ) u [€/ha/godini] za područje Hrvatske na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.



Slika 12. Ukupna društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV<sub>n</sub>) za područje Hrvatske na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.



Slika 13. Ukupna društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV<sub>n</sub>) za područje Splitsko-dalmatinske županije na dan 30.07.2024.g.



Slika 14. Ukupna društvene ranjivosti i otpornosti na požare (SEV<sub>n</sub>) za područje Tučepa gdje se 30.07.2024.g. dogodio taj veliki požar.

### 3. Procjena ranjivosti i otpornosti ekosustava na požare

**Ranjivost ekosustava** (engl. *Ecosystem Vulnerability*) se definira kao potencijal ekosustava da modulira svoj odgovor na stresne čimbenike kroz vrijeme i prostor, pri čemu taj potencijal ovisi o karakteristikama ekosustava koje uključuju mnoge razine organizacije. Ranjivost ekosustava predstavlja procjenu njegove nesposobnosti da tolerira stresne čimbenike kroz vrijeme i prostor. Ranjivost ekosustava je kombinacija ranjivosti zajednice i potencijala za promjene staništa.

**Otpornost ekosustava** (engl. *Ecosystem Resilience*) može se definirati na dva načina:

- a) Kao mjera veličine poremećaja koji ekosustav može apsorbirati prije nego što promijeni svoju strukturu, mijenjajući varijable i procese koji kontroliraju njegovo ponašanje.
- b) U tradicionalnijem smislu, otpornost se definira kao mjera otpornosti na poremećaj i brzine povratka ekosustava u stanje ravnoteže.

**Stanište** (engl. *Habitat*) je mjesto koje zauzima organizam, populacija ili zajednica. Stanište predstavlja fizički dio strukture zajednice u kojem organizam pronađe svoj dom te uključuje ukupnost svih okolišnih uvjeta prisutnih na određenom području. Često se pojma staništa definira tako da uključuje cijelu zajednicu organizama.

**Potencijalni gubitak** (engl. *Potential Loss*) definiran je ekološkom vrijednošću ekosustava, koja može biti pogodjena pri maksimalnom učinku poremećaja, bez ikakve otpornosti. Ovo zahtijeva definiranje vrijednosti koje se dodjeljuju ekosustavima.

U FirEURisk projektu fokus je stavljen na **ekološke vrijednosti** (engl. *Ecological Values*) koje se mogu definirati kao svojstva ekosustava povezana sa staništem i bioraznolikošću. Staništa se odnose na koristi koje priroda pruža za održavanje života, uključujući biomasu vegetacije i njezinu strukturu, koja omogućava hranjenje životinja (izvor hrane), kretanje (povezanost staništa) i grijanje (zaštita). Bioraznolikost uključuje svu varijabilnost života (organizmi, vrste, populacije), njihove složene interakcije te zajednice i ekosustave.

Bioraznolikost se može mjeriti na različitim razinama, uključujući genetsku raznolikost (unutar ili između vrsta), raznolikost vrsta (razlike unutar i između populacija ili zajednica, uključujući taksonomsku, funkcionalnu i filogenetsku raznolikost) i ekosustavnu raznolikost (varijacije unutar i između ekosustava u staništima, zajednicama i ekološkim procesima). Ekološke vrijednosti stoga uključuju biljke, životinje, biogeokemijske cikluse i tlo.

**Kapacitet suočavanja** (engl. *Coping Capacity*) s poremećajem odnosi se na strategije vrsta koje čine ekosustav, a koje im omogućuju da podnesu, apsorbiraju i oporave se od poremećaja te nastave funkcionirati. Kapacitet suočavanja obuhvaća **održljivost** (engl. *Resistance*) i **kapacitet odgovora** (engl. *Response Capacity*) na poremećaj. Održljivost se u ekologiji definira kao sposobnost vrste da preživi i apsorbira poremećaj, tako da se samo dio potencijalnog gubitka zaista izgubi, ovisno o strategijama otpornosti. **Stvarni gubitak** (engl. *Actual Loss*) je kombinacija potencijalnog gubitka i održljivosti. Kapacitet odgovora definira brzinu oporavka vrste nakon poremećaja.

U ekosustavima podložnim požarima, kapacitet odgovora može se razložiti na dva faktora:

- a) **Stopu oporavka** (engl. *Recovery Rate*) – standardna brzina rasta vrste, pod pretpostavkom da na lokaciji postoje regenerativni materijali (poput sjemena u tlu ili krošnjama, ili podzemnih/nadzemnih struktura sposobnih za rast).

- b) **Vrijeme regeneracije** (engl. *Regeneration Time*) – vrijeme potrebno ekosustavu da osigura izvor novih jedinki, bilo putem raspršivanja sjemena ili migracije organizama. Ova veličina kaže koliko vremena prođe prije nego krene oporavak vegetacije.

Kombinacija stope oporavka i vremena početka regeneracije određuje ukupno **vrijeme oporavka** (engl. *Recovery Time*), tj. vrijeme potrebno za povrat biomase ekosustava na predpožarno stanje.

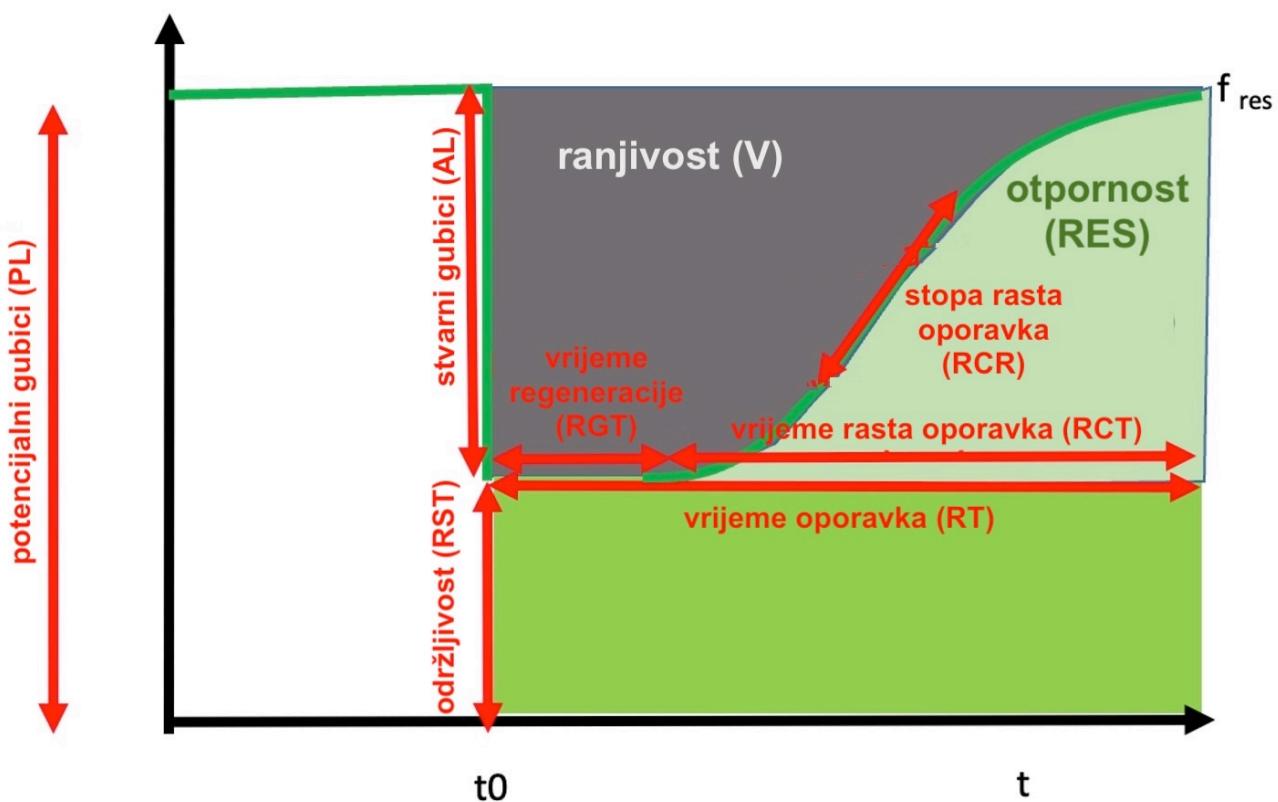
**Otpornost ekosustava** definira se kao kombinacija specifičnih putanja postpožarnog oporavka, pod pretpostavkom potpunog gubitka ekosustava. Konačno stanje oporavka ekosustava može biti:

- Slično predpožarnom stanju – kada se sve vrste oporave u očekivanom vremenu.
- Odgođeni oporavak – kada se regeneracija nekih vrsta ne dogodi.
- Smanjeni oporavak – kada se regeneracija nekih vrsta ne dogodi, a ne postoje sjeme ili vegetativni izvori u blizini.
- Oporavak iznad predpožarnog stanja – kada se uvođenjem invazivnih vrsta prirodnim širenjem ili kroz planove obnove i upravljanja povećava biomasa.

Na kraju, ranjivost ekosustava kombinira stvarni gubitak i otpornost ekosustava.

### 3.1. Vegetacijska ranjivost i otpornost na požare

Projekt FirEURisk je predložio zanimljiv model ranjivosti ekosustava temeljen na vegetacijskoj ranjivosti koju prikazuje Slika 15. (FirEURisk-Task 1.2, 2023.).



Slika 15. Konceptualni model kvantificiranja vegetacijske ranjivosti ( $V$ ) i otpornosti ( $RES$ ) kao funkcije potencijalnog gubitka ( $PL$ ), održljivosti ( $RST$ ), vremena regeneracije ( $RGT$ ) i krivulje otpornosti ( $f_{res}$ ), parametrizirane s vremenom rasta oporavka ( $RCT$ ) i stopom rasta oporavka ( $RCR$ ) (FirEURisk-Task 1.2, 2023.).

Slika 15. ilustrira kako se **vegetacijska ranjivost** (engl. *Vegetation Vulnerability*) može formalizirati kroz vremensku putanju učinaka požara i postpožarnog oporavka. Predpožarno stanje biljnih vrsta koje čine ekosustav (biomasa, pokrov drveća, bioraznolikost...) predstavlja potencijalni gubitak (*PL*) na površini izloženoj požaru. Stvarni gubitak (*AL*) tijekom požara u trenutku  $t_0$  može se izračunati iz kapaciteta održljivosti (*RST*) sustava:

$$AL = PL - RST \quad (6)$$

Nakon požara (koji se događa u trenutku  $t_0$ ), vegetacija ostaje u stanju *RST* tijekom vremena regeneracije (*RGT*) dok na lokaciji ne postane dostupan održiv regeneracijski materijal. Nakon što se dostigne *RGT*, započinje oporavak prema putanji oporavka  $f_{res}$ . Otpornost (*RES*) može se procijeniti kao površina ispod krivulje  $f_{res}$ . Ranjivost (*V*) konačno se može kvantificirati kao površina iznad krivulje, uzimajući u obzir i otpornost (*RES*) i održljivost (*RST*), prema sljedećoj jednadžbi:

$$V = (PL * RT) - RST * \left( RT + \int_{t_0}^{RT} f_{res} * (t - RGT) * dt \right) \quad (7)$$

Funkcija oporavka  $f_{res}$  odabrana je kao generička logistička funkcija, prethodno korištena za modeliranje dinamike ekosustava nakon poremećaja (Amani et al., 2022.) i primjenjena na različite funkcije ekosustava.  $f_{res}$  je funkcija vremena nakon izbijanja požara, s parametrima koji su povezani s konceptima oporavka:

- Vrijeme rasta oporavka (*RCT*) – vrijeme potrebno da se ekosustav potpuno vrati u predpožarno stanje.
- Stopa oporavka (*RCR*) – nagib funkcije koji predstavlja maksimalnu brzinu oporavka u točki infleksije, koja se događa u trenutku  $t_i = RCT/2$ .

$$f_{res}(t - RGT) = \frac{AL}{1 + e^{-RCR \cdot (t - RGT - \frac{RCT}{2})}} \quad (8)$$

Ova funkcija opisuje dinamiku oporavka ekosustava nakon požara, uzimajući u obzir kapacitet regeneracije i otpornost na poremećaje.

Parametri u jednadžbama mogu se izvesti iz funkcionalnih karakteristika biljnih vrsta te lokalno prilagoditi prema klimatskim i okolišnim uvjetima. Pri tome se razlikuju:

- Stanje varijabli ekoloških vrijednosti (npr. biomasa ili indeksi raznolikosti).
- Parametre uglavnom specifične za pojedine vrste.
- Modifikatori koji utječu na specifične parametre jednadžbi, poput klimatskih uvjeta ili strategija upravljanja.
- Izloženost poput veličine požara ili njegovog intenziteta.

Slijedeći klasifikaciju strategija biljaka prema (Archibald et al. 2019.) za poremećaje uzrokovane požarima (klasifikacija vrsta prema otpornosti i vremenu regeneracije), biljne vrste mogu se razvrstati u **rezistente vrste** (engl. *Resistors*) i **tolerante vrste** (engl. *Tolerators*) na razini pojedinca, populacije ili krajolika:

- Rezistentne vrste imat će visoku vrijednost otpornosti (*RES*) i negativno vrijeme regeneracije (*RGT*), jer obnavljaju vegetaciju iz jedinki koje prezive požar, pri čemu izostaje eksponencijalna faza rasta prije točke infleksije.
- Tolerantne vrste na razini pojedinca imat će nisku otpornost (*RST*) i negativno vrijeme regeneracije (*RGT*), jer ponovno rastu iz podzemnih organa i imaju ubrzanu stopu ranog oporavka.

- Tolerantne vrste na razini populacije imat će nisku otpornost (*RST*) i nisko vrijeme regeneracije (*RGT*), jer obnavljaju vegetaciju iz sjemena koje preživi požar, omogućujući trenutni početak rasta.
- Tolerantne vrste na razini krajolika imat će nisku otpornost (*RST*) i duže vrijeme regeneracije (*RGT*), koje ovisi o veličini požara i strategijama širenja sjemena, omogućujući kolonizaciju novog područja.

Faktori koji utječu na otpornost i regeneraciju biljaka temeljeni na karakteristikama biljaka vezanima uz požare (Pausas et al., 2018) su:

- Otpornost (*RST*) uglavnom ovisi o debljini kore stabala.
- Vrijeme regeneracije (*RGT*) određuje se prema sposobnosti ponovnog rasta, bilo iz pupova u bazi stabala ili podzemnih skladišnih organa, ili epikormičnim rastom.
- Vrijeme regeneracije može također ovisiti o karakteristikama sjemena, uključujući:
  - masu sjemena
  - debljina ovojnica sjemena (perikarp)
  - dlakavost sjemena
  - trajnost sjemena u tlu ili krošnjama (serotinija, često povezana s crnogoricom u Europi)
  - otpornost sjemena na visoke temperature ili aktivaciju klijanjem uslijed dima
  - strategije širenja sjemena (krilca, papus itd.) i
  - utjecaj okolišnih uvjeta na regeneraciju.

Okolišni uvjeti izravno utječu na otpornost (*RST*), vrijeme regeneracije (*RGT*) i stopu oporavka (*RCR*). Vremenski period od posljednjeg požara izravno utječe na starost stabala, a time i na otpornost (*RST*). Dostupnost održive banke sjemena može se predvidjeti pomoću vitalnog atributnog modela, koji sugerira da je sjeme održivo samo ako su prisutni zreli organizmi ili ako sjeme može preživjeti u tlu dulje vrijeme. Kombinacija starosti stabala od posljednjeg požara i dobi spolne zrelosti utječe na vrijeme regeneracije (*RGT*). Kratki i učestali požarni intervali mogu imati kumulativne učinke na regeneraciju.

Veličina požara utječe na udaljenost do neizgorenih jedinki, koje mogu poslužiti kao izvor sjemena za raspršivanje i time definirati vrijeme regeneracije kod tolerantnih vrsta na krajoličnoj razini. Strategije upravljanja (npr. ljudske intervencije poput pošumljavanja nakon požara) djeluju na sličan način kao prirodno raspršivanje sjemena, ubrzavajući vrijeme regeneracije (*RGT*).

Ukupna vegetacijska ranjivost (*V*) nije neovisna o izloženosti požaru, budući da izloženost (veličina i intenzitet požara) izravno utječe na vrijeme regeneracije (*RGT*) i otpornost (*RST*).

### 3.2. Ranjivost i otpornost ekosustava na požare

Dinamika vegetacije nakon požara ključna je informacija koja utječe na ukupne ekološke vrijednosti, uključujući biomasu, vodne i ugljične tokove te bioraznolikost, uključujući životinje.

Podaci o tlu (kapacitet tla za zadržavanje vode dostupne biljkama, sadržaj dušika i fosfora) potencijalni su lokalni modifikatori stope rasta oporavka (*RCR*) i prva varijabla u kaskadnom lancu ekoloških promjena uzrokovanih požarima.

Utjecaj požara na dušik i fosfor u tlu događa se putem procesa hlapljenja tijekom izgaranja lišća i drvne mase. Dušik gotovo u potpunosti isparava u atmosferu, a fosfor se djelomično taloži u pepelu. Ovi elementi gube se iz ekosustava, a ciklus hranjivih tvari kroz otpadno lišće biva poremećen požarima.

Regeneracija vegetacije nakon požara koristi hranjive tvari iz tla, dok smanjeno kruženje hranjivih tvari kroz otpadno lišće može dovesti do iscrpljivanja hranjivih tvari na razini ekosustava. Atmosfersko taloženje dušika ili njegova fiksacija putem mahunarki, kao i stvaranje fosfora kroz pedogenezu, može kompenzirati gubitke uzrokovane požarima unutar nekoliko godina. Međutim, erozija može utjecati na taloženje fosfora iz pepela i kapacitet tla za zadržavanje vode. Ove procese treba kvantificirati kao ključne faktore dinamike vegetacije, osobito kod učestalih i kratkih intervala požara, koji mogu značajno smanjiti stopu oporavka vegetacije (*RCR*).

### **Utjecaj požara na bioraznolikost životinja**

Bioraznolikost ptica, sisavaca i gmažova najviše je pogodjena promjenama u staništima uzrokovanim požarima. S obzirom na mogućnost kretanja kroz krajolik, životinje rijetko izravno stradavaju u požarima, a mnoga ih područja mogu ponovno kolonizirati nakon požara. Međutim, svaka je vrsta vezana uz određeno stanište, prema svojim navikama prehrane i gniježđenja, stoga je analiza dinamike životinja nakon požara ovisna o opisu staništa. Gubitak staništa i oporavak nakon požara procjenjuju se prema promjenama u sastavu krajolika, u odnosu na opsežnost poremećaja i naknadnu regeneraciju vegetacije. Glavni pokazatelj promjena u krajoliku bit će razmjerni sastav golog tla, travnjačke, grmolike i šumske vegetacije. Gubitak bioraznolikosti životinja u FirEURisk projektu se procjenjuje kao funkcija gubitka staništa, ovisno o karakteristikama vrsta povezanih s njihovim staništima, pri čemu će se koristiti indeksi rijetkosti povezani s razinom zaštite i ugroženosti nestankom.

### **Utjecaj požara na raznolikost staništa**

Utjecaj požara na biomasu uvijek je negativan, no raznolikost staništa ovisi o početnom stanju i veličini požara. Mali požari unutar velikih požarnih područja mogu povećati raznolikost staništa i životinjskih populacija. Veliki požari homogeniziraju krajolik, smanjujući prostornu raznolikost. U jako fragmentiranim područjima, mali požari mogu potpuno eliminirati male šumske zakrpe, smanjujući raznolikost staništa. Konačno, postpožarna ranjivost može biti negativna kada postpožarni uvjeti rezultiraju ekološkom vrijednošću većom od one prije požara, što su identificirali (Rocez-Diaz et al., 2022.).

## **3.3. Procjena ekološke ranjivosti i otpornosti na požare na temelju ekoloških vrijednosti**

U okviru projekta FirEURisk razvijen je postupak koji se temelji na početnim ekološkim vrijednostima prije požara, procijenjenim na temelju više parametara i njegove redukcije mogućim požarom. Ekološke ranjivosti, uključujući tlo, vegetaciju, staništa i raznolikost životinja, procjenjuje se na temelju njihovih stvarnih gubitaka, vremena regeneracije i stopa oporavka.

Ključne ekološke određene su za svaku kategoriju (Slika 13.), uključujući:

- Plodnost tla, kapacitet zadržavanja vode i zalihe ugljika.
- Biomasu vegetacije i ekološke tokove: NPP - *neto primarnu proizvodnju i ETR - evapotranspiraciju*.
- Raznolikost staništa, temeljenu na udio pokrova šuma, grmlja, travnjaka i golih površina.
- Bioraznolikost kao ključnu ekološku vrijednost, koja će se procjenjivati kroz:
  - taksonomsku raznolikost vrsta i funkcionalnu raznolikost na temelju osobina vrsta

- rijetkost vrsta
- ponderiranu endemičnost ili ugroženost vrsta, uzimajući u obzir vrste pod prijetnjom izumiranja.

Na temelju ovih veličina procijenjena je **ekološka vrijednost područja prije požara (EVa)** (engl. *Ecological Values*) i iskazana 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], koje se temeljilo na procjeni otpornosti ili sposobnosti suočavanja (*coping capacity, CC*) vrsta koje bi potencijalno mogle biti pogodjene požarom.

$$REV = EVa * LOSS3 = EVa * (1 - CC) \quad (9)$$

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 ćelije. Vrijednost *RT* korištena je za integraciju gubitaka tijekom razdoblja u kojem bi ekološke vrijednosti bile izgubljene nakon požara, primjenom sličnog pristupa kao u Jednadžbi 3.

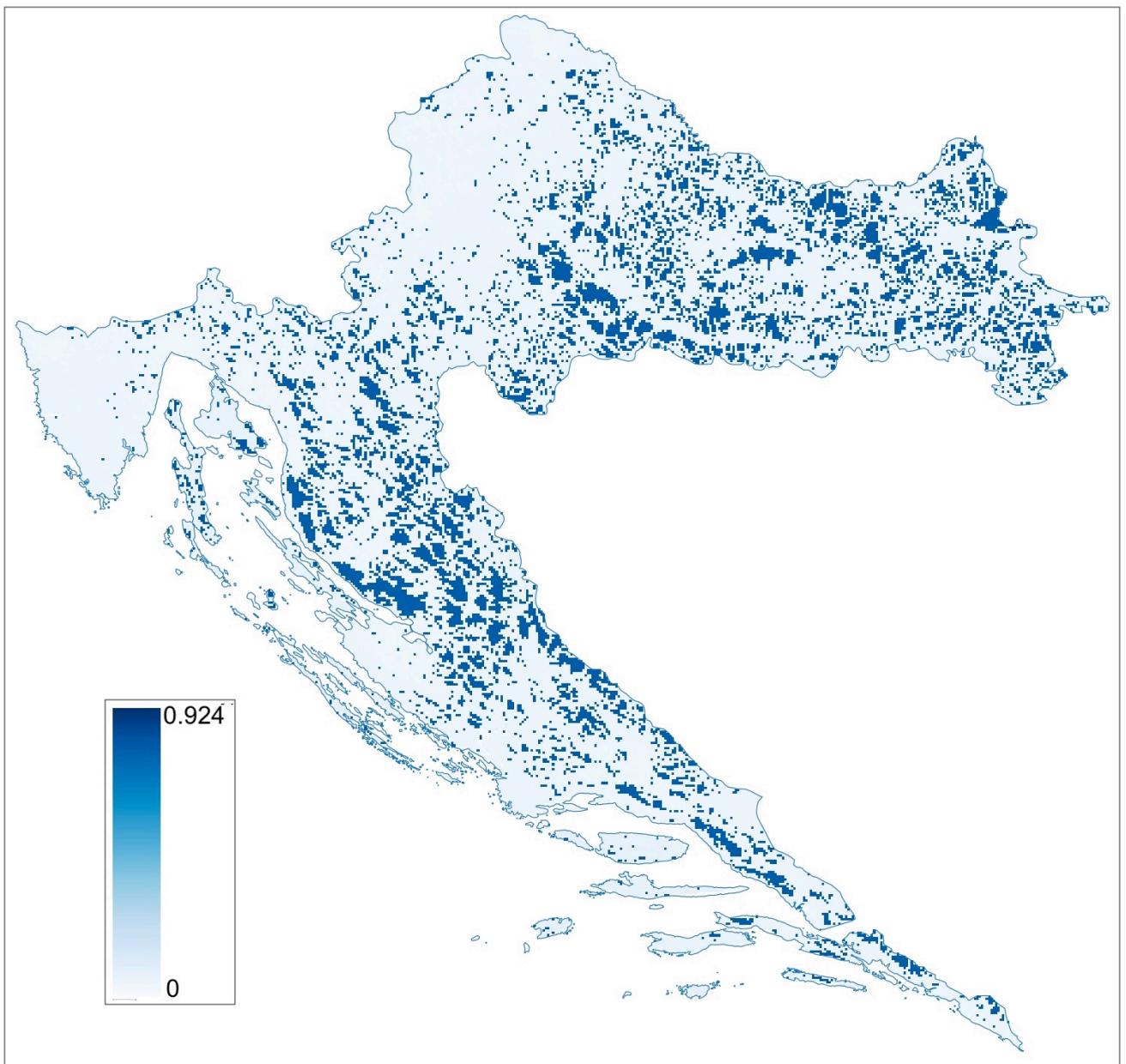
$$TEV = REV * \frac{1 - (1+r)^{-\log RT}}{r} \quad (10)$$

gdje je *r* diskontna stopa od 2%, a *RT* broj godina potrebnih za oporavak. Zadnji korak je normalizacija kako bi **normalizirana ekološka ranjivost i otpornost na požare (EVN)** bila u intervalu [0,1]:

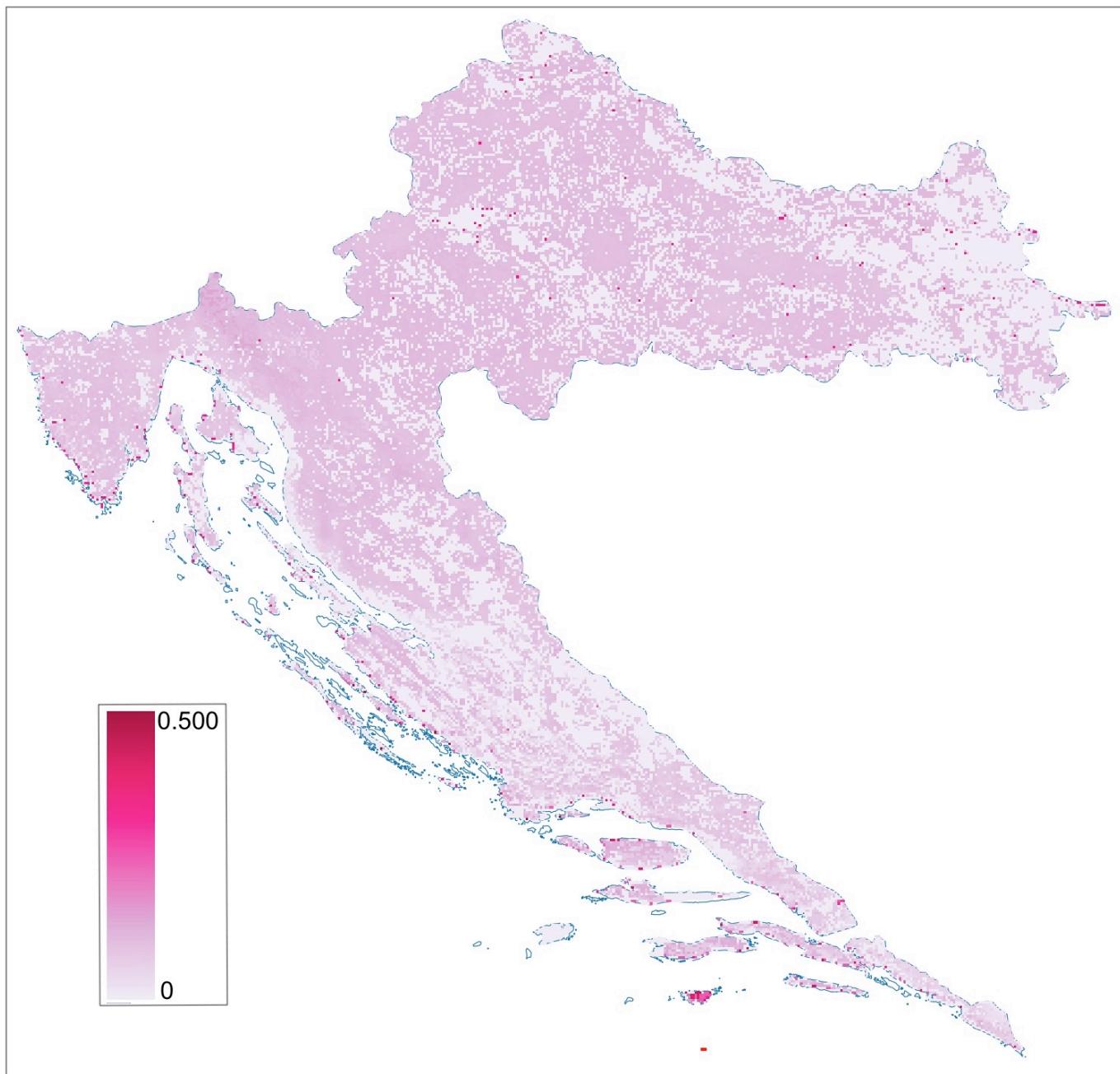
$$EV_n = ((TEV - TEV_{min}) / (TEV_{max} - TEV_{min})) \quad (11)$$

U okviru FirEURisk projekta aktivnosti 1.2.3. Ranjivost okoliša koja se bavila analizom veličina koje utječu na ekološku ranjivost od požara (FirEURisk-Task 1.2, 2023.) izrađene su karte svih ovih veličina za područje cijele Europe u rezoluciji 1000 m. U okviru ovog diseminacijskog izvještaja izrezane su karta Hrvatske, te priložene u originalnoj 1000m rezoluciji, ali i preuzorkovana na rezoluciju 100 m postupkom Cubic B-Spline (4x4 kernel).

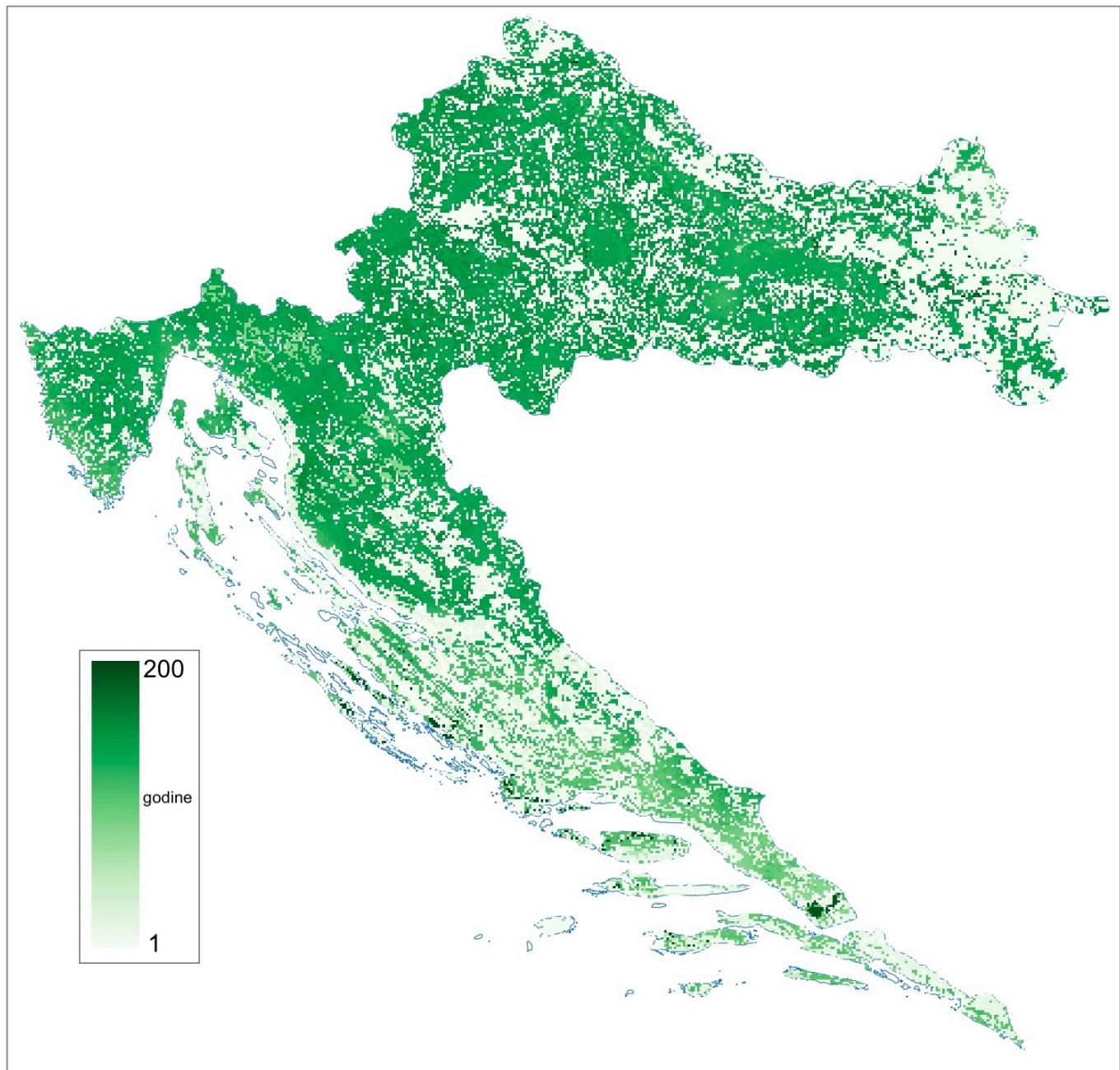
Slika 16. prikazuje ekološku vrijednost prije požara (*EVa*) (bezdimenzionalna veličina u intervalu [0,1]) za 2023.g. i područje Hrvatske rezolucije 1000 m. Slika 17. prikazuje moguće gubitke ekoloških vrijednosti zbog požara (*LOSS3*) za Hrvatsku i 2023.g. u rezoluciji 1000 m. Veličina je također bezdimenzionalna u intervalu [0,1]. Slika 18. prikazuje vrijeme regeneracije (*RGT*) – vrijeme u godinama potrebno ekosustavu da pokrene proces regeneracije za 2023.g. i područje Hrvatske u rezoluciji 1000 m. Za svaku od 9 kategorija ekoloških servisa (drvena građa, maslinici, voćnjaci, vinogradi, oplodnja usjeva, goveda, ovce, sekvestracija ugljika i zadržavanje tla) procjenjeno je ukupno vrijeme oporavka (*RTi*). Slika 19 prikazuje primjer za drvenu građu na području Hrvatske.



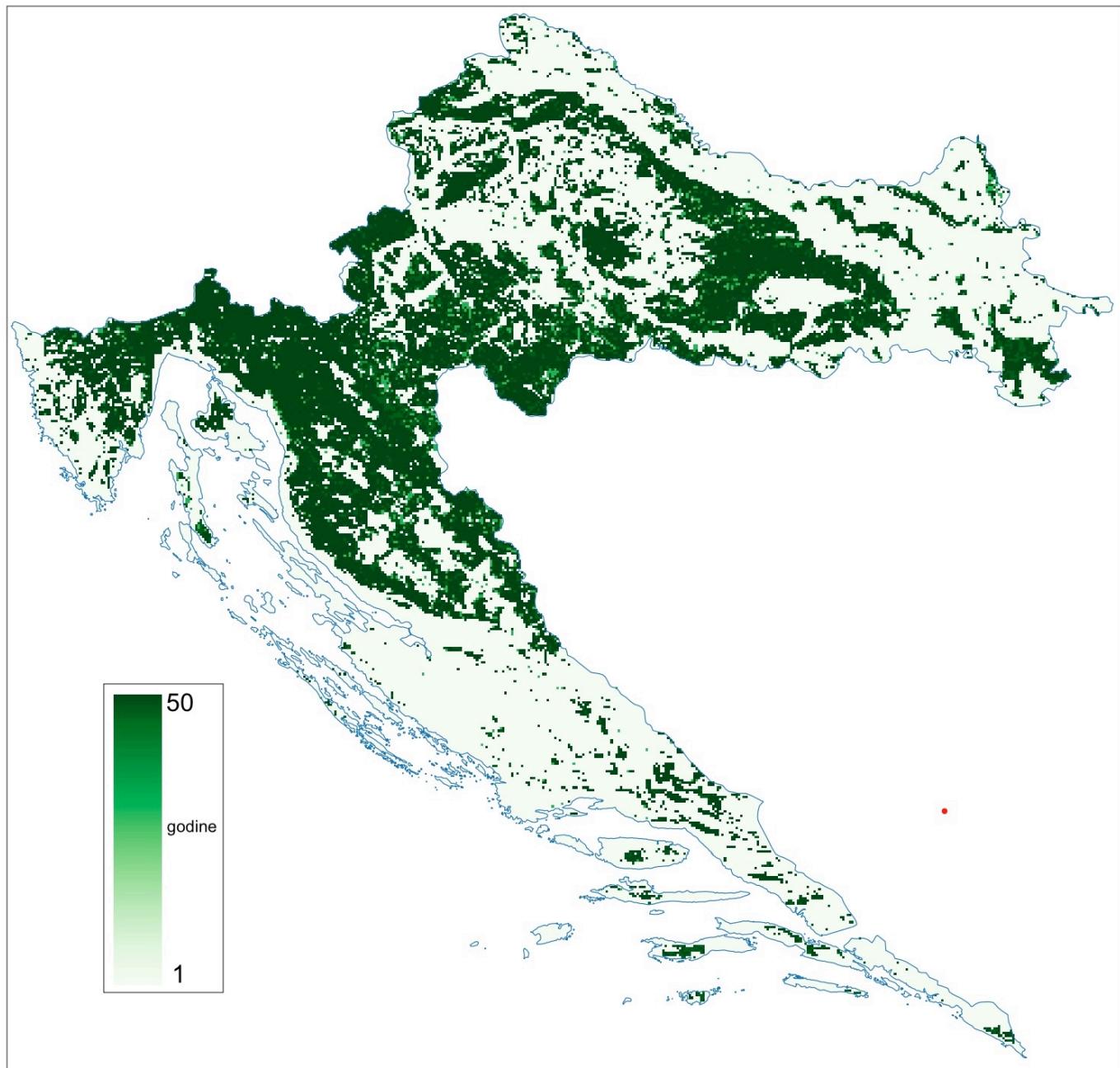
Slika 16. Ekološku vrijednost prije požara (EVa) u rasponu [0,1] za 2023.g. i područje Hrvatske rezolucije 1000 m.



Slika 17. Mogući gubici ekoloških vrijednosti zbog požara (LOSS3) za 2023.g. i područje Hrvatske rezolucije 1000 m.

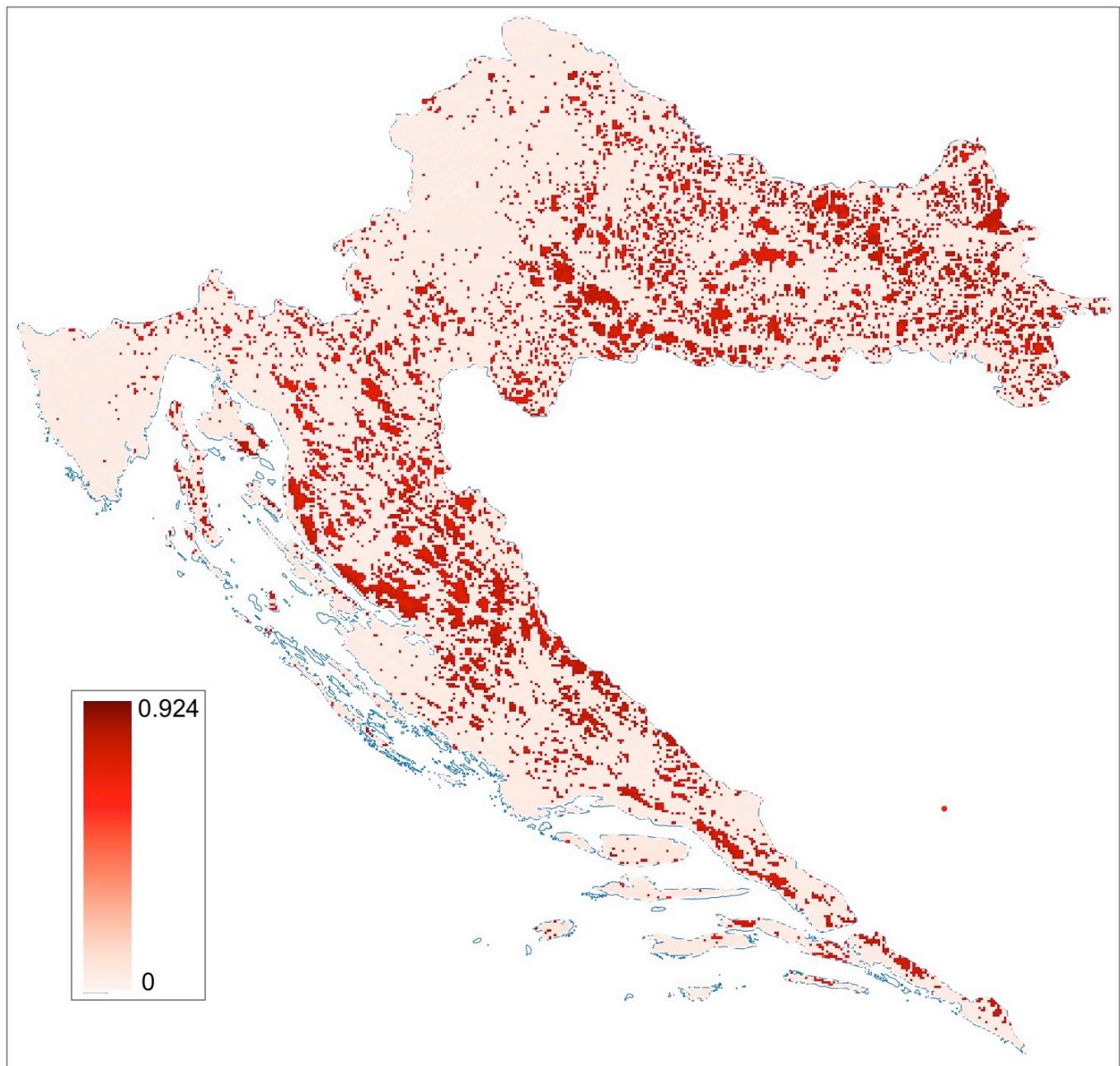


Slika 18. Vrijeme regeneracije (RGT) – vrijeme u godinama potrebno ekosustavu da pokrene proces regeneracije za 2023.g. i područje Hrvatske rezolucije 1000 m.

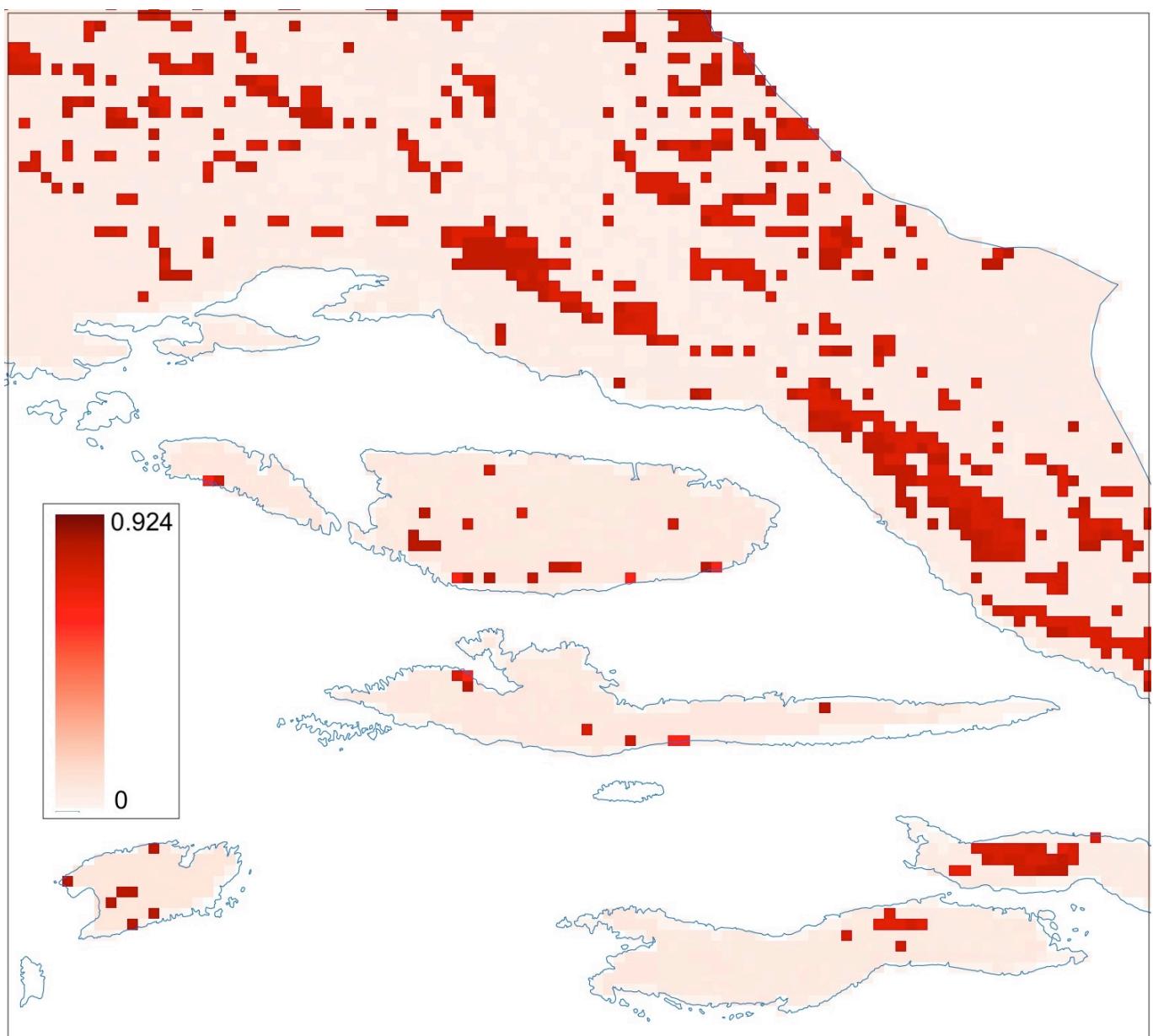


Slika 19. Vrijeme oporavka (RT) za drvenu građu – ukupno vrijeme u godinama potrebno drvenoj građi da se vрати na stanje prije požara za 2023.g. i područje Hrvatske rezolucije 1000 m.

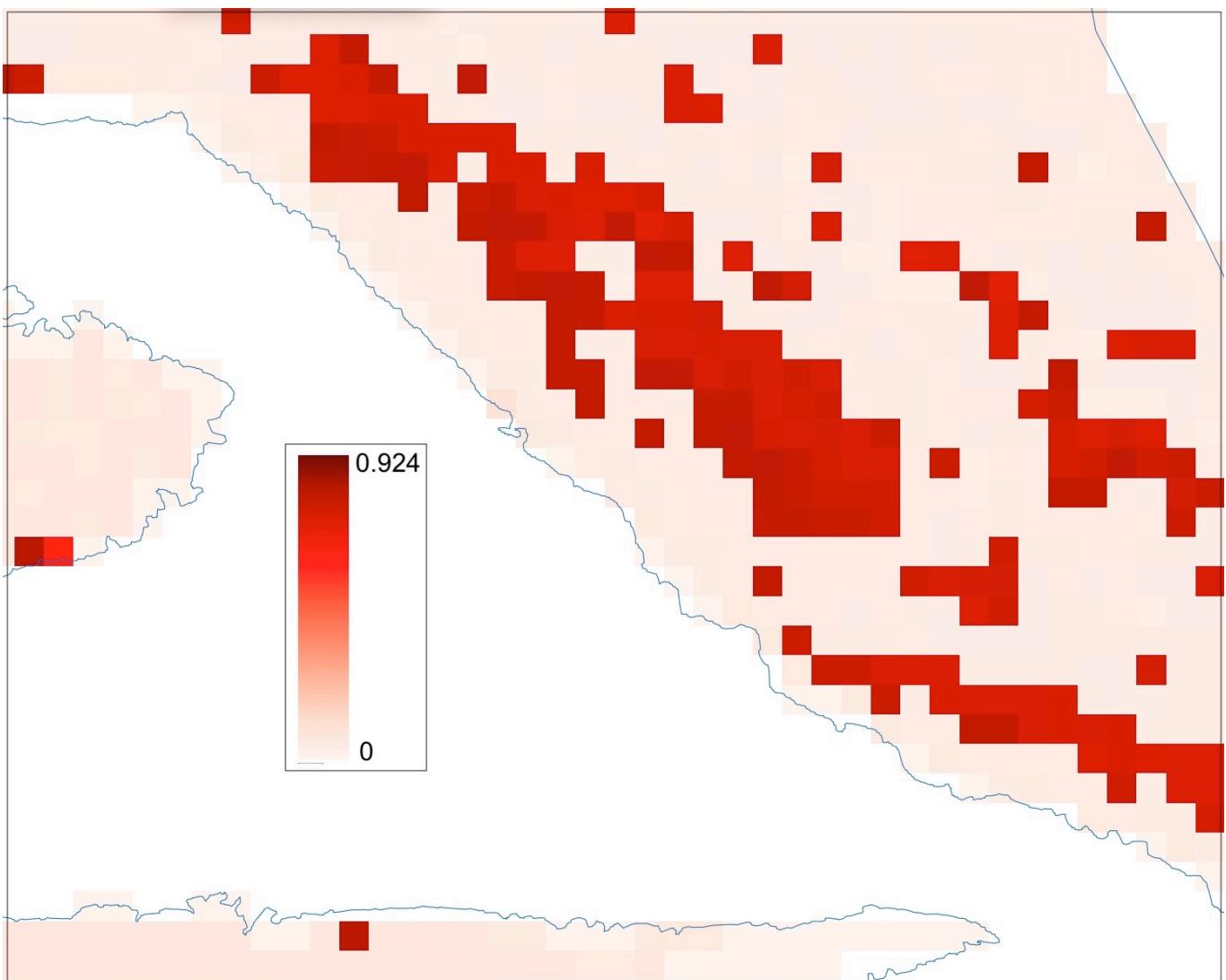
Slika 20. prikazuje **normalizirana ekološka ranjivost i otpornost na požare (EV<sub>n</sub>)** koji ima vrijednost u intervalu [0,1] za dan 30.07.2024.g. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa za područje Hrvatske, Slika 21. za područje Splitsko-dalmatinske županije, a Slika 22. za područje Tučepa.



Slika 20. Ukupna ekološka ranjivosti i otpornosti na požare ( $EV_n$ ) za područje Hrvatske na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.



Slika 21. Ukupna ekološka ranjivosti i otpornosti na požare ( $EV_n$ ) za područje Splitsko-dalmatinske županije na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.



*Slika 22. Ukupna ekološka ranjivosti i otpornosti na požare ( $EV_n$ ) za područje Tučepa na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.*

Procjena ekološke ranjivosti na požare obuhvaća širok spektar međusobno povezanih procesa i teoretski zahtijeva specifične informacije o reakcijama vrsta na požar i njihovim mehanizmima prilagodbe. Cilj FirEURisk projekta je razviti upotrebljiv alat koji koristi lako dostupne i prostorno distribuirane podatke na različitim prostornim skalama – od regija (pilot-lokacije) do europskog teritorija (ET). FirEURisk pristup temelji se na mehanističkoj sintezi ključnih procesa koji utječu na učinke požara i postpožarni oporavak, ali je dovoljno jednostavan za laku i učinkovitu implementaciju. Na ET razini, ekološka ranjivost uzima u obzir:

- vrijednosti očuvanja
- procjenu utjecaja požara i otpornosti vegetacije i
- učinke požara na staništa i pripadajuću bioraznolikost životinja.

Glavne prednosti FirEURisk alata za procjenu ekološke ranjivosti su:

- Temelji se na mehanističkom modelu učinaka požara na ekosustave, s hijerarhijskim kaskadnim učinkom od tla do vegetacije, staništa i ukupne bioraznolikosti.

- Dovoljno je jednostavan za implementaciju pomoću trenutno dostupnih podataka na različitim prostornim razinama – od manjih pilot područja do europskog teritorija.
- Može se ažurirati na godišnjoj razini, uzimajući u obzir:
  - promjene u šumskom pokrovu/biomasi (uslijed požara, sječe ili olujnih vjetrova)
  - vrijeme proteklo od posljednjeg požara, koje je ključan faktor u sposobnosti regeneracije vrsta.
- Koristan je kao alat za upravljanje i donošenje odluka, pružajući mogućnosti za:
  - zamjenu vrsta u regeneracijskim planovima.
  - Scenarije fragmentacije krajolika nakon požara.
- Može se prenijeti na buduće klimatske uvjete, omogućujući simulaciju budućih funkcija ekosustava pomoću:
  - dinamičkih modela vegetacije i
  - modela distribucije vrsta.

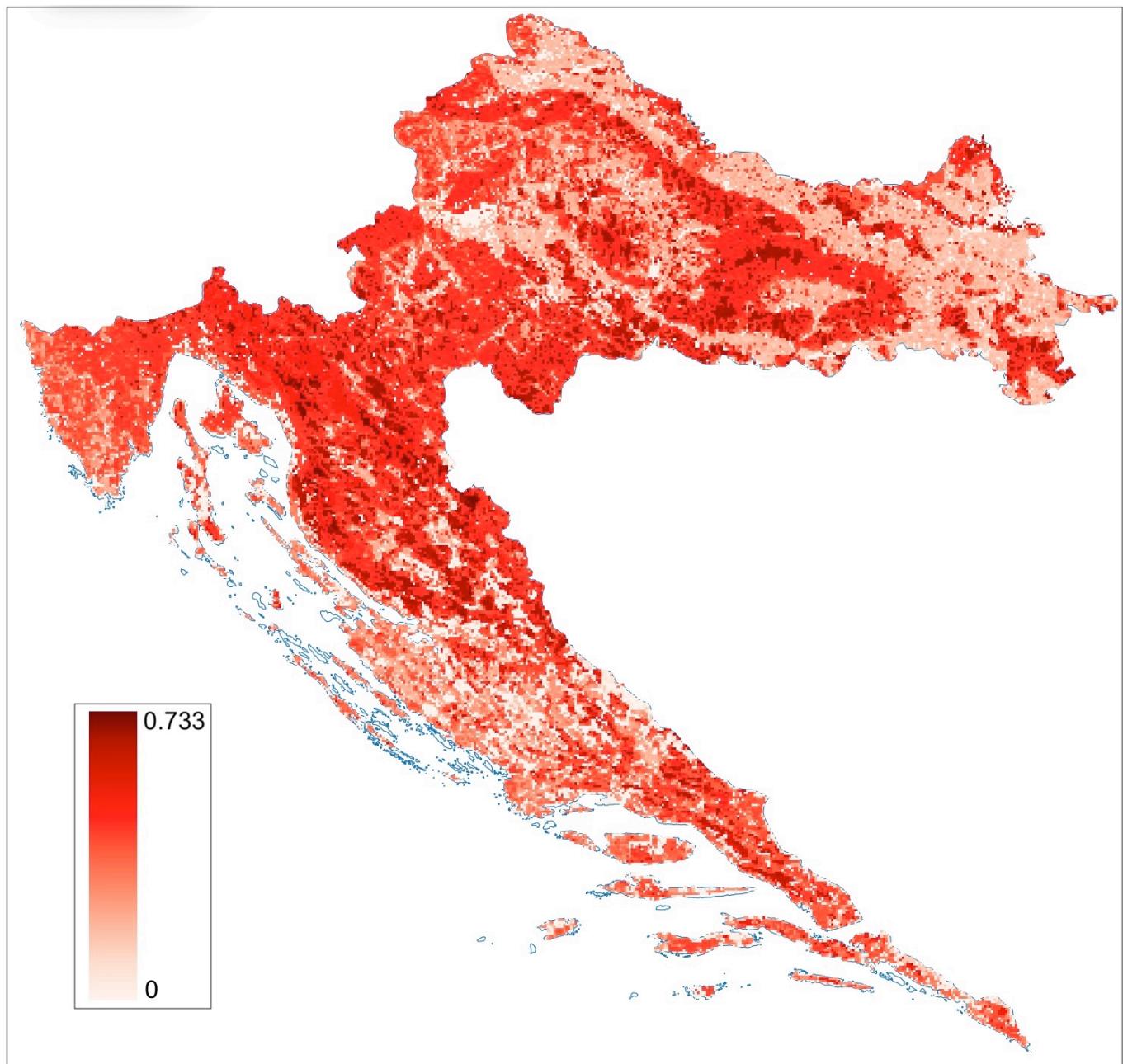
Ekološka karta ranjivosti treba se shvatiti kao kombinacija izravnog utjecaja i oporavka velikog požara na tlo, vegetaciju, staništa i faunu, uzimajući u obzir različite vrijednosti očuvanja, temeljene na zaštićenosti područja i ključnim zonama bioraznolikosti. Ona prikazuje, u ekvivalentnim godinama, ukupni gubitak ekoloških vrijednosti tijekom vremena potrebnog za oporavak.

## 4. Integrirana procjena ranjivosti i otpornosti na požare

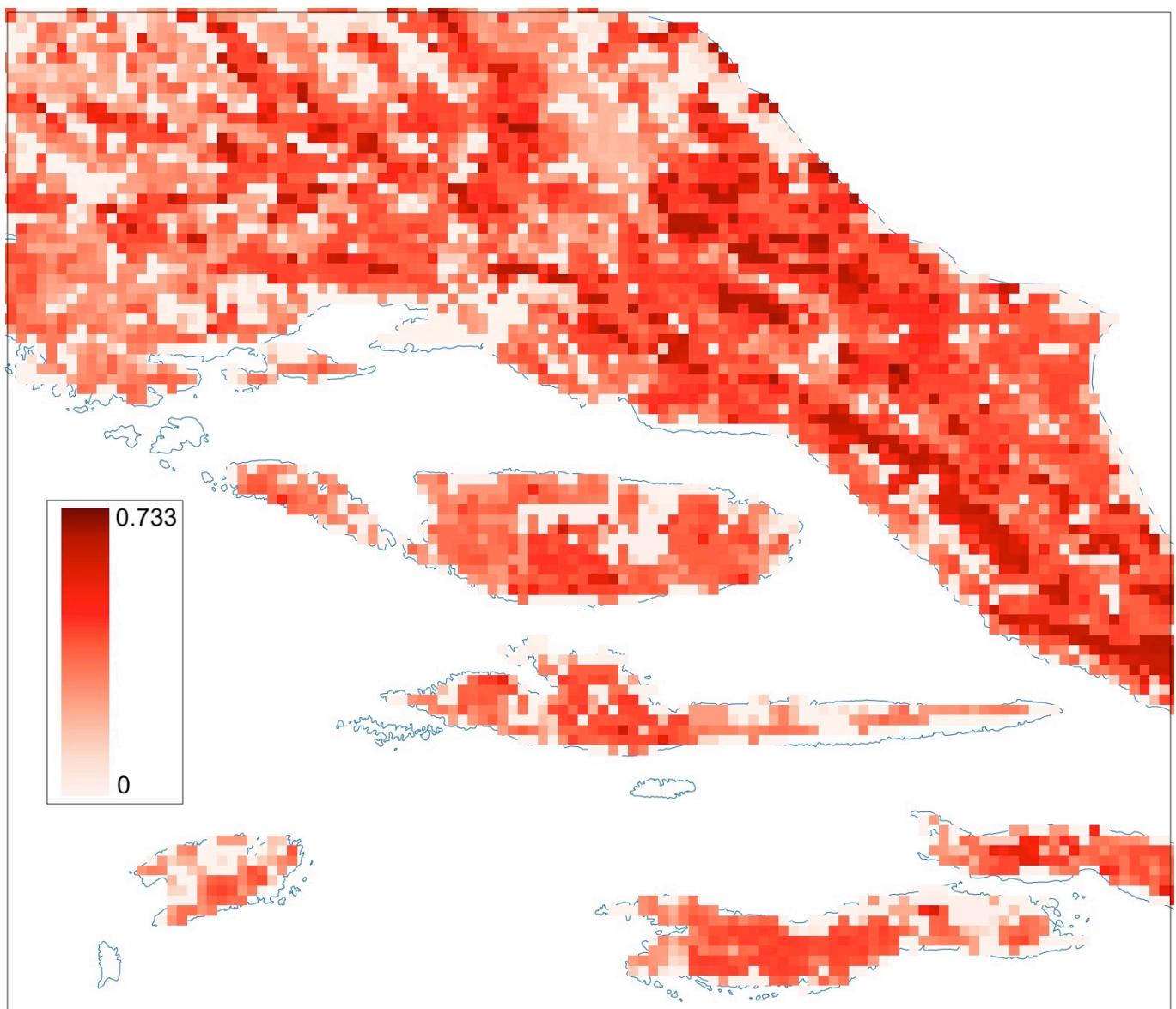
Zadnji korak kod procjene FirEURisk ranjivosti i otpornosti na požare je integracija socijalne ranjivosti i ekološke ranjivosti. Korištena je jednostavna aditivna formula po kojoj se socijalna ranjivost uzima s 60% konačnog utjecaja, a ekološka ranjivost s 40%, pa se **ukupna ranjivost i otpornost na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

$$V = 0,6 * SEV_n + 0,4 * EV_n \quad (12)$$

Slika 23. prikazuje **ukupnu ranjivost i otpornost na požare (V)** koji ima vrijednost u intervalu [0,1] za dan 30.07.2024.g. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa za područje Hrvatske, Slika 24. za područje Splitsko-dalmatinske županije, a Slika 25. za područje Tučepa.

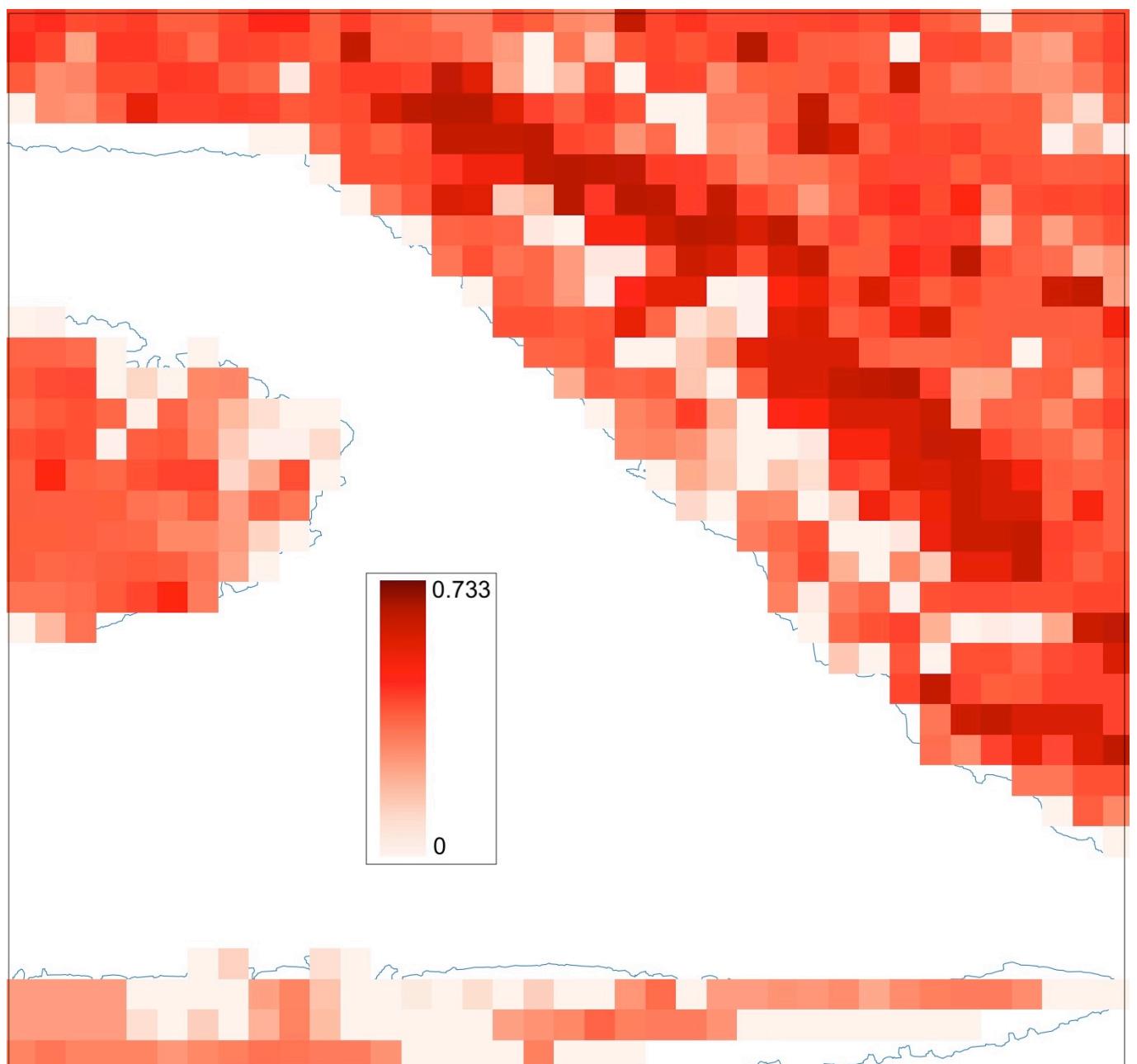


Slika 23. Ukupna ranjivosti i otpornosti na požare (V) za područje Hrvatske na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.



Slika 24. Ukupna ranjivosti i otpornosti na požare (V) za područje Splitsko-dalmatinske županije na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.

Integrirani indeks požarnog rizika ( $IRI$ ) se u skladu sa Slikom 1. računa na temelju ukupne ranjivosti i otpornosti na požare (V), izloženosti na požare (E) i opasnosti od požara (D).



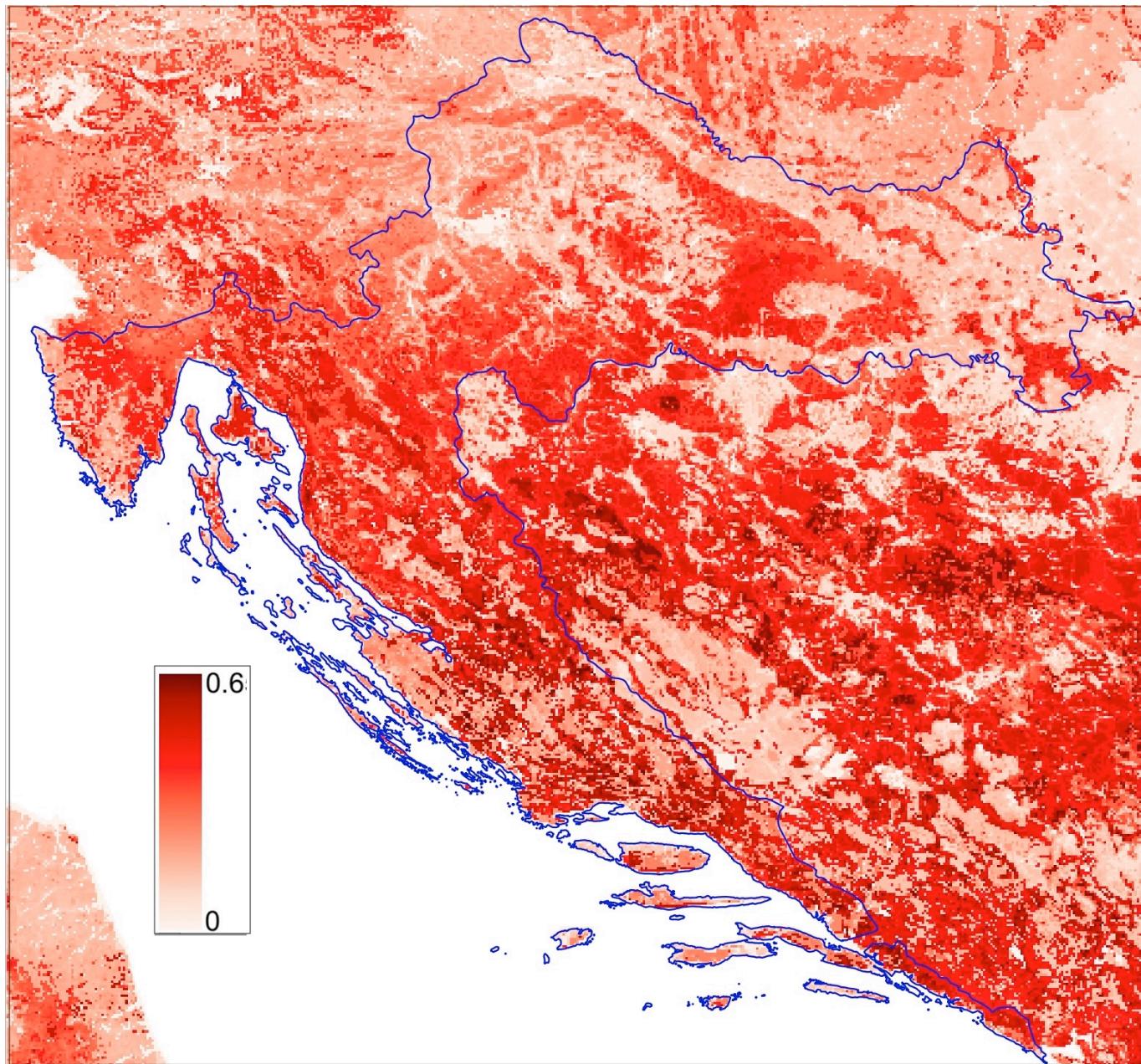
Slika 25. Ukupna ranjivosti i otpornosti na požare (V) za područje Tučepa na dan 30.07.2024.g. u rezoluciji 1000 m.

## 5. FirEURisk integrirani indeks požarnog rizika

U skladu sa Slikom 1., **integrirani indeks požarnog rizika** (engl. *IRI – Integrated Risk Index*) računa se na temelju opasnosti od požara<sup>3</sup> (engl. *D – Wildfire Danger*), izloženosti<sup>4</sup> (engl. *D – Wildfire Exposure*) i ugroženosti (engl. *V – Wildfire Vulnerability*). Predložena formula je:

$$IRI = (0,6 * D + 0,4 * V) * E \quad (13)$$

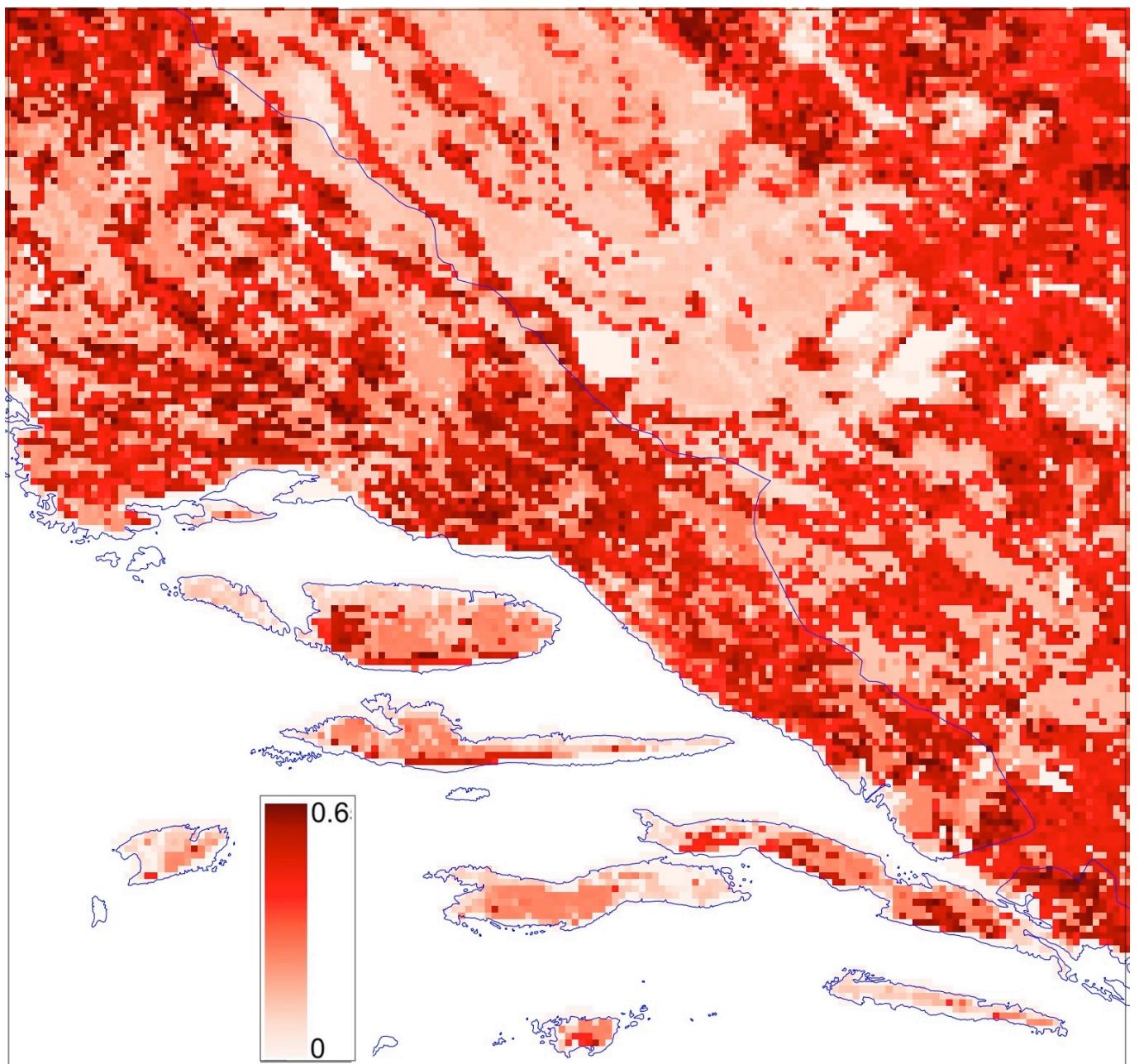
Slika 26. prikazuje kartu IRI za dan 30.7.2024. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa.



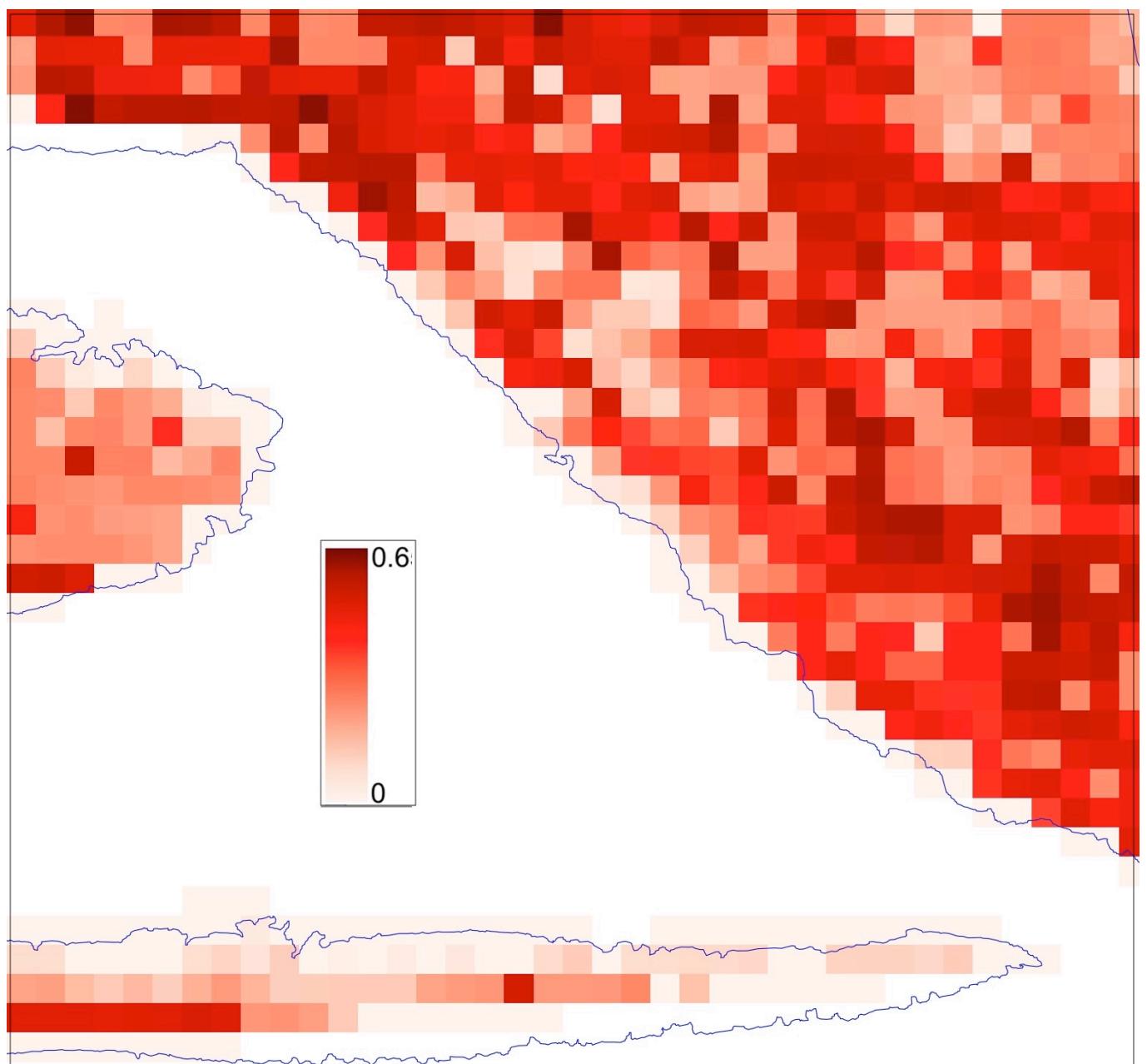
Slika 26. FirEURisk karta integriranog indeks požarnog rizika (IRI) za područje Hrvatske i okolnih područja na dan 30.7.2024.g. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa u rezoluciji 1000 m.

<sup>3</sup> Više detalja u (Stipaničev et al., 2025c.).

<sup>4</sup> Više detalja u (Stipaničev et al., 2025b).



Slika 27. FirEURisk karta integriranog indeks požarnog rizika (IRI) za područje Splitsko-dalmatinske županije na dan 30.7.2024.g. kada se dogodio veliki požar kod Tučepa u rezoluciji 1000 m.



Slika 26. FirEURisk karta integriranog indeks požarnog rizika (IRI) za područje Tučepa na dan 30.7.2024.g.  
kada se dogodio veliki požar kod Tučepa u rezoluciji 1000 m.

## 6. Utjecaj požara na infrastrukturu

Posebno istraživanje u okviru FirEURisk Radnog paketa 1. Zadatka 1.2. bilo je posvećenom analizi utjecaja požara na infrastrukturu, prije svega detaljnim pregledom postojeće literature. Kako smatramo da su rezultati ove analize od posebnog značaja za preventivnu požarnu aktivnost prenosimo ih u ovom posebnom poglavlju. Izvor nam je bio dokument (FirEURisk-Task 1.2, 2023.).

Krenimo od definicije **štete** (engl. *Damage*). Šteta se definira kao materijalni gubitci koji su posljedica opasnih događaja (Vanneuville et al., 2005.). Šteta raste s intenzitetom ekstremnog događaja, poput poplave ili požara, ali na kraju pokazuju zasićenje. Uz štetu su vezani opasnost i utjecaji, pa se obično određuju tri faze procjene: procjena opasnosti, procjena štete i procjena utjecaja. Ovdje nas posebno zanima njihova povezanost s požarima.

### Procjena opasnosti (engl. *Hazard Assessment*)

U početnoj fazi, tijekom procjene rizika od požara, mjeri se povijesna učestalost pojave opasnosti od požara, zajedno s različitim stupnjevima intenziteta i ozbiljnosti za određeno područje. Ovi parametri mogu se odrediti korištenjem povijesnih klimatskih podataka, modela širenja požara i modela disperzije dima. Nakon što se završi procjena opasnosti, slijedi procjena štete temeljena na scenarijima.

### Procjena štete (engl. *Damage Assessment*)

Ova faza procjenjuje izravne posljedice požara na funkciranje kritične infrastrukture izložene požarima ili dimu. Izravne posljedice obično uključuju: fizičku i operativnu štetu, prekid poslovanja i upravljanje gašenjem požara. Procjena štete treba se provesti za različite vrste infrastrukture, pri čemu se uzimaju u obzir različiti vremenski okviri i različiti tipovi/intenziteti opasnosti. Rezultati ove procjene koriste se kao osnova za procjenu ublažavanja rizika za ključne usluge koje utječu na funkcionalnost međusobno povezanih elemenata infrastrukture modeliranih kao mreže.

### Procjena utjecaja (engl. *Impact Assessment*)

Prvi utjecaji javljaju se na razini imovine/infrastrukture i obično se odnose na fizička oštećenja. Funkcionalna oštećenja su posljedica strukturne štete na infrastrukturi. Nakon procjene svih vrsta šteta unutar sustava, utjecaji se dalje prenose na korisnike sustava – što predstavlja završnu fazu procjene.

U odnosu na vrste šteta se dijeli na dvije kategorije:

- **Izravna šteta** (engl. *Direct Damages*) - Nastaje izravnim kontaktom s požarom. Primjeri: izgorjele dalekovodne mreže, uništene zgrade i infrastruktura.
- **Neizravna šteta** (engl. *Indirect Damages*) - Posljedica je događaja, ali nije uzrokovana izravnim kontaktom s požarom. Primjeri: smanjena vidljivost u prometnom sustavu zbog dima, prekid opskrbe električnom energijom zbog požara u udaljenom području.

Utjecaj požara na infrastrukturu može se kratko opisati Tablicom 6. (FirEURisk-Task 1.2, 2023.).

Tablica 6. Utjecaj požara na infrastrukturu (FirEURisk-Task 1.2, 2023.).

infrastruktura	utjecaj požara
Energetski i elektroenergetski sektor	<ul style="list-style-type: none"><li>• Izravno oštećenje prijenosnih stupova i druge elektroenergetske infrastrukture.</li><li>• Čvrstoća čelika se smanjuje na 50% pri temperaturi od 500–600 °C, što je kritična točka pri kojoj čelični prijenosni tornjevi više ne mogu podnijeti projektirano opterećenje (Sakumoto et al 2003.).</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pri <math>420^{\circ}\text{C}</math> dolazi do povećane galvanizacije, što utječe na otpornost na koroziju nakon požara (Brandt, 2003). Ova temperatura može biti dosegnuta nakon 10 minuta izloženosti požaru.</li> <li>Prekid rada dalekovoda i nestanak električne energije.</li> <li>Linije mogu biti oštećene samo zbog topline požara, čak i ako ne izgore izravno.</li> <li>Vodiči mogu postati žarčani ili oslabljeni, što dovodi do kvara.</li> <li>Povećana temperatura zraka oko vodiča može uzrokovati prekid rada prijenosnog kruga.</li> <li>Dim i pepeo iz požara mogu ionizirati zrak, stvarajući električni put daleko od dalekovoda.</li> <li>Drveni stupovi mogu biti zahvaćeni vatrenim frontom i uništeni. Stupovi izgaraju kod temperature plamena od <math>650^{\circ}\text{C}</math>.</li> </ul>
<b>Naftna, plinska i kemijska industrija</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prisilna evakuacija zaposlenika industrije uzrokuje gubitke u proizvodnji zbog zatvaranja postrojenja.</li> <li>Prijetnja postrojenjima za istraživanje, proizvodnju, transport, skladištenje i preradu.</li> <li>Ispuštanja velikih razmjera mogu prouzročiti ozbiljnu kontaminaciju vode, tla i zraka.</li> <li>Zatvaranje kompresorskih stanica.</li> </ul>
<b>Promet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Požar, pepeo i dim od šumskih požara smanjuju vidljivost i ugrožavaju sigurnost prometa. Vidljivost direktno ovisi o količini finih lebdećih čestica (PM10 - Particulate Matter <math>\leq 10 \mu\text{m}</math>). Prema (Sfetsos et al 2021.) vrijedi slijedeće pravilo: <ul style="list-style-type: none"> <li>nema vidljivosti (cesta treba biti zatvorena) - PM_mean <math>&gt; 30 \text{ mg/m}^3</math></li> <li>srednja vidljivost (cesta treba biti zatvorena) - <math>10 &lt; \text{PM\_mean} &lt; 30 \text{ mg/m}^3</math></li> <li>dobra vidljivost (nema zatvaranja ceste) - PM_mean <math>&lt; 10 \text{ mg/m}^3</math></li> </ul> </li> <li>Smanjenje brzine na cestama, što dovodi do prekida operacija i lančanih posljedica na ostatak mreže zatvaranje cesta.</li> <li>Toplinska ekspanzija može uzrokovati savijanje ili pucanje tračnica ako materijal nije otporan na visoke temperature.</li> <li>Moguća obustava ili smanjenje broja letova zbog guste dima od šumskih požara (zračni promet može biti ometen).</li> <li>Čestice iz dima mogu oštetiti građevine i tehničku opremu.</li> <li>Oštećenje prometne infrastrukture. Temperaturne granice kod kojih dolazi do oštećenja konstrukcijskih elemenata su: <ul style="list-style-type: none"> <li>drvo – <math>300^{\circ}\text{C}</math> – drvo pougljeni</li> <li>čelik – <math>538^{\circ}\text{C}</math> – čelik se omešava i puca</li> <li>aluminij – <math>162^{\circ}\text{C}</math> – aluminij počinje gubiti čvrstoću</li> <li>stakloplastika – <math>350^{\circ}\text{C}</math> – stakloplastika počinje se deformirati.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Vodni sustav</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Neizravno oštećenje vodne infrastrukture povećanjem količine hranjivih tvari i krutih čestica koje voda prenosi i taloži u akumulacijama, postrojenjima za pročišćavanje i distribucijskim mrežama, što može začepiti cjevovode i smanjiti vijek trajanja infrastrukture.</li> <li>Šumski požari mogu kontaminirati prirodne vodene resurse, uključujući izvore pitke vode, zbog zagađenja pepelom i sedimentima.</li> </ul>

## 7. Zaključak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1. projekta FirEURisk Zadatku 1.2. posvećenom analizi ranjivosti i izloženosti, posebno Aktivnosti 1.2.2. Socijalna ranjivost koja se bavila analizom veličina koje utječu na socijalnu ranjivost od požara i Aktivnosti 1.2.3. Ranjivost okoliša koja se bavila analizom veličina koje utječu na ekološku ranjivost od požara.

Požarna ranjivost označava osjetljivost ljudskim i ekološkim vrijednostima na potencijalne štete uzrokovane požarima. Ranjivost se određuje početnim vrijednostima zapaljivih resursa, njihovom otpornošću (u smislu otpornosti i vremena oporavka) te prilagodljivošću na požar. Uključuje potencijalne izravne i dugoročne učinke požara na ljudske zajednice, infrastrukturu, ekosustavne usluge i ekološke vrijednosti. Kod požarne ranjivosti razlikuju se potencijalni gubici ekoloških servisa, ekoloških vrijednosti, stanovništva i imovine koji spadaju u socijalnu ranjivost, ali i požarna otpornost koju određuju sposobnost prilagodbe i vrijeme oporavka.

U okviru FirEURisk projekta predložen je su dva pristupa procjeni društvene ranjivosti i otpornosti na požare. Prvi je iz perspektive zajednice, a drugi na temelju procjene vrijednosti kuća i infrastrukture i ekoloških servisa. Prvi je postupak relativno složen, ali uzima u obzir sve elemente koji sudjeluju u procjeni društvene ranjivosti i otpornosti na požare, pa je primijenjen samo na razini manjih područja (pilot područja). Drugi je postupak dosta jednostavniji, a primijenjen ja na razini cijele Europe.

U okviru projekta FirEURisk razvijen je postupak za proračun ekološke ranjivosti koji se temelji na početnim ekološkim vrijednostima prije požara, procijenjenim na temelju više parametara i njegove redukcije mogućim požarom. Ekološke ranjivosti, uključujući tlo, vegetaciju, staništa i raznolikost životinja, procjenjuje se na temelju njihovih stvarnih gubitaka, vremena regeneracije i stopa oporavka.

Zadnji korak kod procjene FirEURisk ranjivosti i otpornosti na požare je integracija socijalne ranjivosti i ekološke ranjivosti. Korištena je jednostavna aditivna formula po kojoj se socijalna ranjivost uzima s 60% konačnog utjecaja, a ekološka ranjivost s 40%.

Posebno istraživanje u okviru FirEURisk Radnog paketa 1. Zadatka 1.2. bilo je posvećenom analizi utjecaja požara na infrastrukturu, prije svega detaljnim pregledom postojeće literature. Kako smatramo da su rezultati ove analize od posebnog značaja za preventivnu požarnu aktivnost prenijeli smo ih u posljednjem poglavljju.

Uz izvještaj su priložene i sve karte vezane uz društvenu i ekološku ranjivost u originalnoj rezoluciji od 1000 m i u rezoluciji od 100 m dobivene preuzorkovanjem na rezoluciju 100 m postupkom Cubic B-Spline (4x4 kernel). Svi materijali se mogu slobodno koristiti uz navođenje izvora u skladu s Copyrightom.

## Literatura

- (Amani et al., 2022.) Amani, B.H.K., N'Guessan, A.E., Van der Meersch, V., Derroire, G., Piponiot, C., Elogne A.G.M, Traore, K., N'dja, J.K., Herault, B. (2022.) Lessons from a regional analysis of forest recovery trajectories in West Africa. *Environ. Res. Lett.* 17, 115005 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac9b4f>
- (Archibald et al., 2019.) Archibald S., Hempson G.P., Lehmann C. (2019.) A unified framework for plant life history strategies shaped by fire and herbivory. *New Phytol.* 224(4): 1490-1503
- (Arrogante-Funes et al., 2024) Arrogante-Funes, F., Mouillot, F., Moreira, B., Aguado, Chuvieco, E., . Mapping and assessment of ecological vulnerability to wildfires in Europe. *fire ecol20*, 98 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00321-8>
- (Birkmann et al., 2013.) Birkmann, J., Cardona, O., Carreño, M., Barbat, A., Pelling, M., Schneiderbauer, S., . . . Welle, T. (2013.). Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. *Natural Hazards*, 67(2), 193-211.
- (Brandt, 2011.) Brandt, T. (2011.) Effects of Fire Damage on the Structural Properties of Steel Bridge Elements; Purdue University, ProQuest Dissertations Publishing: West Lafayette, IN, USA, 2011; p. 1502121. [Google Scholar]
- (Costafreda-Aumedes et al., 2017.) Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., & Vega-Garcia, C. (2017.). Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. *International Journal of Wildland Fire*, 26, 983-998. doi:<https://doi.org/10.1071/WF17026>
- (FirEURisk-Task 1.2, 2023.) HU (Avi Bar-Masada), ADAI (Miguel Almeida, Catarina Matos), UAH (Emilio Chuvieco, Fatima Arrogante, Maria Clara Ochoa), KEMEA, SIA (Umberto Pernice, Giovanni Laneve), SGN, TUD, UCO (Macarena Ortega, Juan Ramon Molina), METEOGRID SL, CNR, HUTTON (Simone Martino, Michaela Roberts, Tami Wooldridge, Maria Nijnik), FMI, NCSR (Nadia Politi, Mandy Vlachogianni, Athanasios Sfetsos), UdL (2023.). *D1.4 Report on Methodological Frameworks for Vulnerability Assessment (D, S) in FirEURisk*, FirEURisk Report, 2023.
- (Jucker Riva et al., 2018.) Jucker Riva, M., Baeza, J., Bautista, S., Christoforou, M., Daliakopoulos, I., Hadjimitsis, D., . . . Schwilch, G. (2018.). How does land management contribute to the resilience of Mediterranean forests and rangelands? A participatory assessment. *Land degradation & development*, 29(10), 3721-3735.
- (Manza et al., 2017.) Manca, A., Benczur, P., & Giovannini, E. (2017.). Building a scientific narrative towards a more resiliente EU society. Part 1: a conceptual framework. *JRC Science for Policy Report*.
- (Pausas, 2018.) Pausas J.G. (2018.) Generalized fire response strategies in plants and animals. 128,(2):147-153
- (Rocez-Diaz et al., 2022.) Roces-Diaz J.V., Santin C., Martinez-Vilalta J., Doerr S.H. (2022.) A global synthesis of fire effects on ecosystem services of forests and woodlands. *Frontiers in ecology and the environment* 20(3):170-178.
- (Stipanićev et al., 2025a.) Stipanićev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M. (2025.) Karte sučelja naseljenih i prirodnih područja divljine na teritoriju Hrvatske, FirEURisk Dissemination Report, 2025. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/karta-sucelja-naseljenih-i-prirodnih-podrucja-divljine-na-teritoriju-hrvatske>

- (Stipaničev et al., 2025b.) 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., 2025c.) 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>
- (Sakumoto et al., 2003.) Sakumoto, Y.; Nishigaki, T.; Ikeda, K.; Kohno, M. (2003.) Fire Resistance of Steel Frames. In Technical Memorandum of Public Works Research Institute; Public Works Research Institute: Tsukuba, Japan, Volume 3906, pp. 347–354.
- (Sfetsos et al., 2021.) Sfetsos, Athanasios, Frederique Giroud, Alice Clemencau, Vassiliki Varela, Catherine Freissinet, Jean LeCroart, Diamando Vlachogiannis, Nadia Politi, Stelios Karozis, Ilias Gkotsis, George Eftychidis, Ralf Hedel, and Stefan Hahmann. (2021.), Assessing the Effects of Forest Fires on Interconnected Critical Infrastructures under Climate Change. Evidence from South France Infrastructures 6, no. 2: 16. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6020016>
- (Vanneuville et al., 2005.) Vanneuville, W., Gamanya, R., Rouck, K.D., Maeghe, K. and Maeyer, P.D. (2005.), Development of a flood risk model and applications in the management of hydrographical catchments, Proceedings of the Cartographic Cutting-Edge Technology for Natural Hazard Management, October 20-22, 2004. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:56008018>
- (Ward, 2013.) Ward D., (2013.) The effect of weather on grid systems and the reliability of electricity supply, Climatic Change 121:103–113, 2013