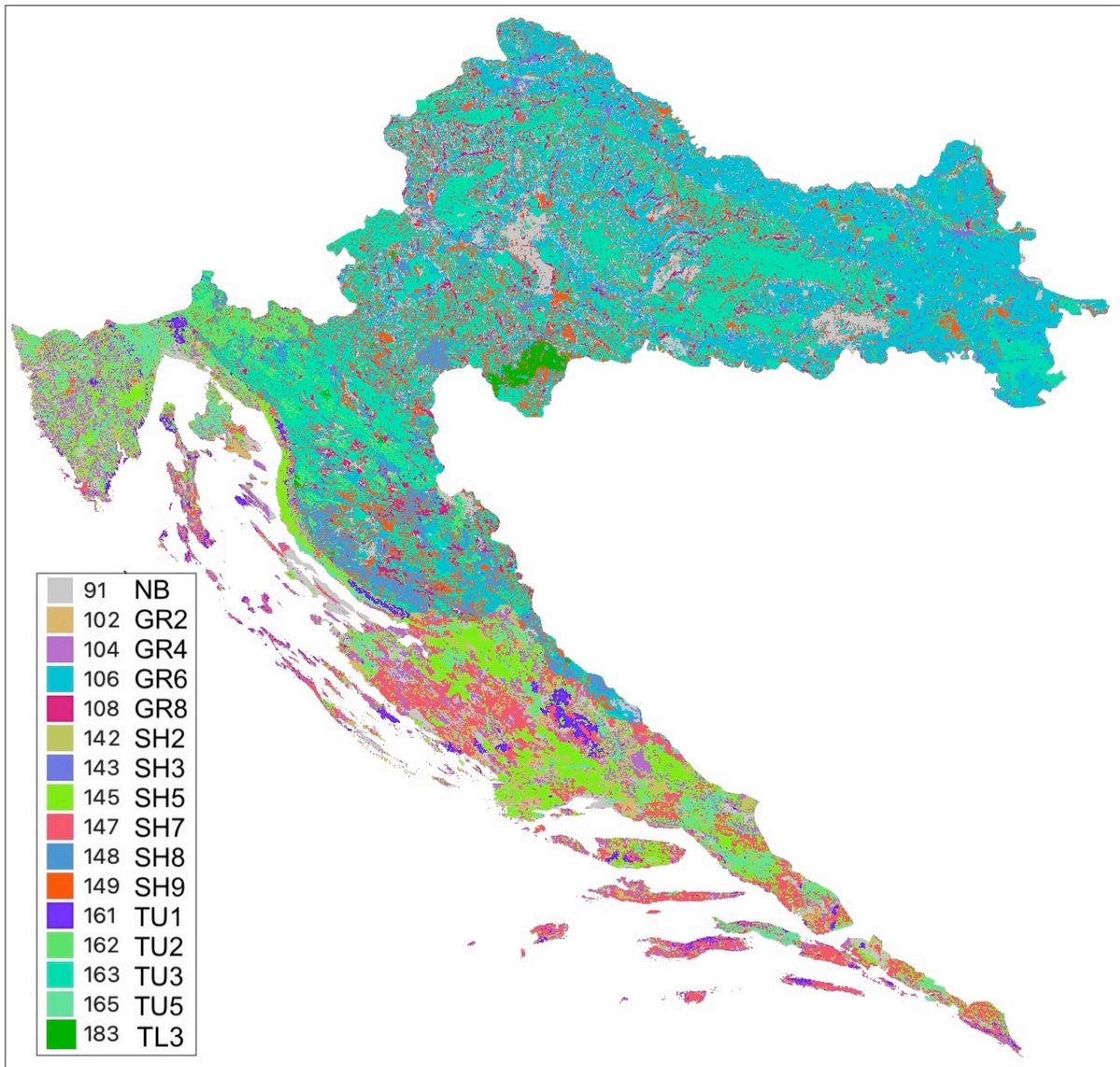


## *FirEUrisk modeli i karte goriva za područje Republike Hrvatske*



2024.



CIPOP - CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE  
POŽARA OTVORENOG PROSTORA

## FIREURISK – RAZVOJ HOLISTIČKE STRATEGIJE ZA UPRAVLJANJE POŽARNIM RIZICIMA

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

### ***FirEurisk modeli i karte goriva za područje Republike Hrvatske***

<b>Identifikator dokumenta:</b>	Diseminacija rezultata projekta FirEurisk za području Republike Hrvatske.
<b>Rok za izradu dokumenta:</b>	31/03/2025
<b>Datum izrade dokumenta:</b>	27/12/2024
<b>Verzija:</b>	1.0
<b>Glavni dokument:</b>	Product User Manual for the FirEurisk European fuel map
<b>Autor glavnog dokumenta i glavni partner ovih istraživanja:</b>	Elena Aragoneses, Emilio Chuvieco, and Mariano Garcia (University of Alcalá, UAH)
<b>Prijevod, obrada karata i prilagodba za Hrvatsku:</b>	Darko Stipaničev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, Split, Hrvatska
<b>Radni paket:</b>	WP1 - Procjena rizika od požara radi poboljšanja zaštite
<b>Zadatak:</b>	Zadatak 1.1: Procjena rizika od požara Aktivnost A1.1.4. Razvoj modela goriva
<b>Razina širenja:</b>	<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.

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

<b>Grant Agreement Number:</b> 101003890	
<b>Call identifier:</b> 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

### ***FirEURisk fuel models and fuel maps for the territory of the Republic of Croatia***

<b>Deliverable Identifier:</b>	FirEURisk fuel models and fuel maps for the territory of the Republic of Croatia
<b>Deliverable Due Date:</b>	31/03/2025
<b>Deliverable Submission Date:</b>	27/12/2024
<b>Deliverable Version:</b>	1.0
<b>Main Document:</b>	Product User Manual for the FirEURisk European fuel map
<b>Author of Main Deliverable and Lead Partner of this work:</b>	Elena Aragoneses, Emilio Chuvieco, and Mariano Garcia (University of Alcalá, UAH)
<b>Translation, Map preparation and Adaptation for Croatia:</b>	Darko Stipaničev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović Faculty of Electrical Engineering, Machine Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Croatia
<b>Work Package:</b>	WP1 - Fire risk assessment to improve prevention
<b>Task:</b>	Task 1.1 Fire Danger Assessment A1.1.4 Risk-wise landscape and fuel models development
<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)



### **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 karata je dopušteno uz navođenje izvora:

*Bugarić, M., Stipaničev, D., Šerić, Lj., Krstinić, D.: **Calculation and validation new high resolution fuel map of Croatia**, Proceedings for the 7<sup>th</sup> International Fire Behavior and Fuels Conference, April 15-19, 2024, Boise, Idaho, USA – Tralee, Ireland – Canberra, Australia, Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA, 2024.*

*Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M.: **FirEUrisk modeli i karte goriva za područje Republike Hrvatske**, FirEUrisk Dissemination Report, 2024. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-modeli-i-karte-goriva-za-podrucje-republike-hrvatske-novi-diseminacijski-dokument-projekta-fireurisk>*





# Sažetak

Ovaj dokument je nastao na temelju istraživanja provedenih u Radnom paketu 1 projekta FirEUriskmu Zadatku 1.1. posvećenom procjeni rizika od požara, aktivnosti 1.1.4. koja se bavila razvojem modela i karata goriva. Glavni istraživač ovog zadatka je bila **Elena Aragoneses, University of Alcalá, UAH**. Rezultati istraživanja objavljeni su u FirEUrisk izvještaju:

- a) (Aragoneses et al, 2023a.) Aragoneses, E.; Chuvieco, E., Garcia, M.: **Product User Manual for the FirEUrisk European fuel map**, University of Alcalá, UAH, FirEUrisk Report, 2023.

i radu:

- b) (Aragoneses et al., 2023b.) 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.

U ovim dokumentima autori su razvili nove modele goriva prilagođene teritoriju Europe i metodologiju za izradu mapa goriva na temeljenu na ovim modelima, te je primijenili na razini cijele Europe u rezoluciji od 1 km.

Na temelju ovih istraživanja istraživači s Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu proveli su dodatna istraživanja na izradi karata veće rezolucije za područje Republike Hrvatske. Rezultati su objavljeni u ovom izvještaju i radu:

- c) (Bugarić et al., 2024.) Bugarić, M., Stipaničev, D., Šerić, Lj., Krstinić, D.: **Calculation and validation new high resolution fuel map of Croatia**, Proceedings for the 7<sup>th</sup> International Fire Behavior and Fuels Conference, April 15-19, 2024, Boise, Idaho, USA – Tralee, Ireland – Canberra, Australia, Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA, 2024.

Polazište je bio postupak razvijen na University of Lieda korišten za izradu visoko-rezolucijskih mapa goriva za Pilot Site Barcelona i opisanom u internom FirEUrisk izvještaju:

- a) **FireEUrisk Del.1.1.- Report on methodological frameworks for each danger modelling process** FirEUrisk Report, 2023.

i prezentaciji:

- b) Salis, M., Bugarić, M.: **Cross-Cutting Theme: Fuel maps and parameters & fire propagation potential**, PrePlenary Meeting, Dressden, 2022.

U ovom izvještaju opisujemo:

- Novi način definiranja modela goriva u odnosu na parametre gorenja razvijen u okviru projekta FirEUrisk.
- Originalni postupak proračuna mapa goriva u rezoluciji od 1 km za područje Europe koje naravno uključuje i područje Hrvatske.
- Prilagodbu postupka za proračun mapa goriva u rezoluciji 100 m za područje Hrvatske.
- Način preračuna FirEUrisk klasa na Scott-Burgan klase koje se uobičajeno koriste kod simulacije širenja požara raslinja.

Sastavni dio ovog izvještaja su i novo izračunate karte goriva za područje Hrvatske u rezoluciji 100 m i originalne FirEUrisk karte u rezoluciji 1 km.

# Abstract

This document is based on research conducted within Work Package 1 of the FirEUrisk project, specifically Task 1.1, which focuses on fire risk assessment, and Activity 1.1.4, dedicated to the development of fuel models. The lead researcher for this task was Elena Aragoneses from the University of Alcalá (UAH). The research results were published in the FirEUrisk report:

- a) (Aragoneses et al, 2023a) Aragoneses, E.; Chuvieco, E., Garcia, M.: **Product User Manual for the FirEUrisk European fuel map**, University of Alcalá, UAH, FirEUrisk Report, 2023.

and in the paper:

- b) (Aragoneses et al., 2023b) 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.

In these documents authors have introduced new fuel models adapted to the European territory and develop a methodology for creating fuel maps based on these models, which they applied across Europe at a resolution of 1 km.

Based on these documents researchers from Faculty of Electrical Engineering, Machine Engineering and Naval Architecture University of Split conducted additional research in order to develop high resolution fuel maps for Croatian territory. Results are published in this document and paper:

- c) (Bugarić et al., 2024.) Bugarić, M., Stipaničev, D., Šerić, Lj., Krstinić, D.: **Calculation and validation of a new high-resolution fuel map of Croatia**, Proceedings for the 7th International Fire Behavior and Fuels Conference, April 15–19, 2024, Boise, Idaho, USA – Tralee, Ireland – Canberra, Australia, Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA, 2024.

This methodology was based on a process developed at the University of Lleida, which was used for creating high-resolution fuel maps for the Pilot Site Barcelona and described in the internal FirEUrisk report:

- a) **FirEUrisk Del.1.1. - Report on methodological frameworks for each danger modelling process**, FirEUrisk Report, 2023.

and in the presentation:

- b) Salis, M., Bugarić, M.: **Cross-Cutting Theme: Fuel maps and parameters & fire propagation potential**, Pre-Plenary Meeting, Dresden, 2022.

This report describes:

- A new approach to defining fuel models in relation to combustion parameters developed within the FirEUrisk project.
- The original procedure for calculating fuel maps at a 1 km resolution for Europe, which naturally includes Croatia.
- The procedure for calculating fuel maps at a resolution of 100 meters for Croatia.
- The method for converting these FirEUrisk maps into the Scott-Burgan categories commonly used in vegetation fire spread simulations.

This report also includes new calculated fuel maps for Croatia at resolutions of 100 meters and original FirEUrisk fuel maps for Croatia in resolution of 1 km.

# Sadržaj

Sažetak .....	ii
Abstract.....	iii
Sadržaj.....	iv
1. Uvod.....	1
2. Postojeći modeli goriva .....	3
2.1. FBPS modeli goriva .....	3
2.1.1. Albini-Andersonov (AA) model .....	3
2.1.2. Scott-Burganov (SB) model.....	7
Parametri vezani uz gorenje.....	10
3. FirEUrisk modeli goriva .....	14
4. FirEUrisk karte goriva .....	17
5. FirEUrisk karte goriva za područje Republike Hrvatske .....	23
6. Zaključak .....	39
7. Literatura .....	40

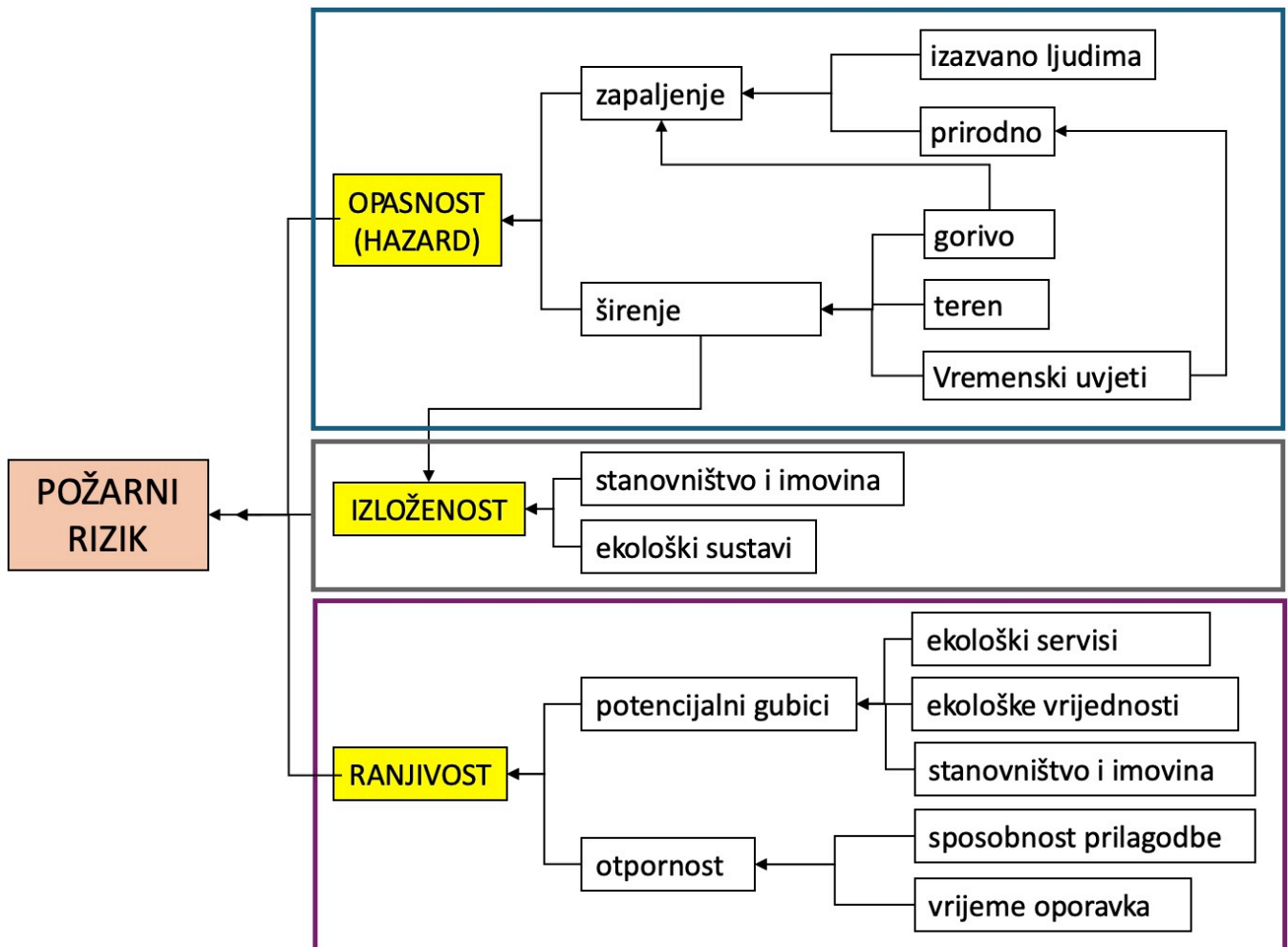
# 1. Uvod

Tri su osnovna faktora koja utječu i na širenje požara, a djelomično i na mogućnost izbijanja požara raslinja i posljedice koje požar može uzrokovati (Countryman, 1972.):

- meteorološki uvjeti (engl. *Weather*)
- karakteristike terena (engl. *Topography*) i
- karakteristike goriva (vegetacije) (engl. *Fuel*).

Sa ciljem smanjenja požarne opasnosti jedini faktor na kojeg možemo utjecati je gorivo (vegetacija), pa je poznavanje gorive materije ključno za procjenu požarnog rizika i planiranju akcija kojima bi se mogao smanjiti, ali isto tako, ako požar izbije za procjenu požarne ugroženosti pojedinog područja i procjenu posljedica požara na temelju predviđanja mogućeg širenja požara.

U okviru projekta FirEUrisk (Slika 1.) gorivo je važan ulazni podatak za proračun opasnosti od požara (hazarda) zato što direktno utječe i na zapaljenje i na širenje požara, a indirektno utječe i na proračun izloženosti od požara preko proračuna intenziteta požarne linije.



Slika 1. Proračun požarnog rizika u okviru projekta FirEUrisk

Dva su važna pojma vezana uz karakteristike goriva (vegetacije) vezane uz gorenje:

- modeli goriva i
- karte goriva.

**Modeli goriva**<sup>1</sup> (engl. *Fuel Models*) definiraju vegetacijske klase<sup>2</sup> u koje smo grupirali vegetaciju prema karakteristikama gorenja. Modeli goriva predstavljaju standardizirani opisi vegetacije i drugih materijala koji mogu gorjeti tijekom požara raslinja. Oni klasificiraju gorivo prema njegovim fizikalnim i kemijskim svojstvima kako bi omogućili modeliranje ponašanja požara, poput brzine širenja, intenziteta, potrošnje goriva i emisije plinova.

**Karte goriva** (engl. *Fuel Maps*) su kartografske ili digitalne reprezentacije (GIS) koje prikazuju raspodjelu, tip i karakteristike goriva na određenom području. Gorivo u ovom kontekstu odnosi se na vegetaciju ili materijal koji može poslužiti kao izvor energije za požare raslinja. Kod rasterskog prikaza svakom pikselu je pridružena pojedina kategorija modela goriva, a kod vektorskog prikaza pojedinom poligonu se pridružuje pojedina kategorija modela goriva. Karte goriva koriste se prvenstveno u upravljanju požarima, modeliranju ponašanja požara i procjeni rizika od požara. Dijelimo ih na karte niske razlučivosti (tipično 1 km) koje su pogodne za analizu događanja na širem području, na primjer na razini države ili kontinenta i karte visoke razlučivosti (tipično 100 m ili manje) koje se koriste za lokalna područja.

U okviru projekta FirEURisk razvijen je novi model goriva prilagođen području Europe, temeljen na novo predloženom hijerarhijskom sustavu klasifikacije. U nastavku, nakon pregleda postojećih modela goriva - sustava za klasifikacije raslinja u odnosu na karakteristike gorenja, predstavljamo novo predloženi FirEURisk model goriva. Iza toga opisan je postupak dobivanja nisko rezolucijskih i visoko rezolucijskih karta goriva na temelju analize satelitskih slika. Na kraju je dan prikaz novih karta goriva za teritorij Republike Hrvatske uz način njihove validacije.

Nadamo se da će ovaj naš prilog doprinijeti većem stupnju zaštite od požara raslinja na području Republike Hrvatske i potaknuti nova istraživanja vezana uz požarne znanosti i požare raslinja.

---

<sup>1</sup> Ponekad se na hrvatskom engleski naziv **Fuel Models** prevode i kao **gorivni modeli** (EUFINET, 2016.), ali ćemo mi u ovom tekstu koristiti ipak izraz **modeli goriva**.

<sup>2</sup> Važno je napomenuti razliku između kategorije i klase. **Kategorija** je širi pojam koji se koristi za grupiranje elemenata prema određenim zajedničkim obilježjima ili sličnostima. Na primjer u našem slučaju kategorizacije vegetacije, kategorija koja nas zanima su značajke vegetacije u odnosu na gorenje. **Klasa** je precizniji pojam koji definira skupinu unutar kategorije s jasnije definiranim karakteristikama. U našem slučaju jednoj klasi će pripadati ona vegetacija koja ima slične značajke važne za gorenje koje su detaljno objašnjeni u ovom dokumentu.

## 2. Postojeći modeli goriva

Postoje različiti načini definiranja modela goriva od kojih su najvažnija tri:

- **FBPS** (Fire Behavior Prediction System) uključuje dva modela. Stariji je **NFFL** (Northern Forest Fire Laboratory) model, poznat kao Albini-Andersonov (AA) model koji ima 13 klasa modela goriva uveden 1982.g. (Anderson, 1982.). Scott i Burgan su 2005.g. unaprijedili model na 42 klase i nazvali ga **FBFMs** (Fire Behavior Fuel Models) model. Ovaj model je poznat i kao Scott-Burgan (SB) model (Scott & Burgan, 2005.) i danas je još uvijek temeljni model za određivanje parametara vezanih uz gorenje, pa su u okviru projekta FirEURisk napravljene korelacijske tablice između FirEURisk modela goriva i Scott-Burganovog modela goriva.
- **NFDRS** (National Fire Danger Rating System) je najstariji predložen još 1972.g. Model ima 20 klasa, a uglavnom se koristi za izračunavanje indeksa rizika od požara raslinja (NFDRS, 2002.).
- **FCCS** (Fuel Characteristic Classification System) razvijen 2007., ovaj sustav nadograđuje postojeće modele goriva kako bi stvorio skup stiliziranih slojeva goriva s kvantitativnim podacima o njihovoj sposobnosti da podrže požare raslinja te o stupnju u kojem bi takav požar potrošio gorivo unutar određenog sloja (Ottmar et al., 2007.). Za razliku od modela Scotta i Burgana, koji se udaljavaju od korištenja vrste vegetacije za definiranje klase goriva unutar modela goriva, FCCS (Fuel Characteristic Classification System) se uvelike oslanja na vrstu vegetacije prilikom formiranja svojih modela.

Za razvoj FirEURisk modela najznačajniji je FBPS model, pa samo njega detaljnije opisujemo.

### 2.1. FBPS modeli goriva

FBPS modeli goriva ima dvije inačice, jednostavniji i stariji NFFL ili Albini-Andersonov (AA) model s 13 klasa goriva i noviji FBFMs ili Scott-Burganov (SB) model s 40 klasa goriva. Oba ova modela goriva ugrađeni su u alate za simuliranje širenja požara (Behave+, Firesite, Flammap).

#### 2.1.1. Albini-Andersonov (AA) model

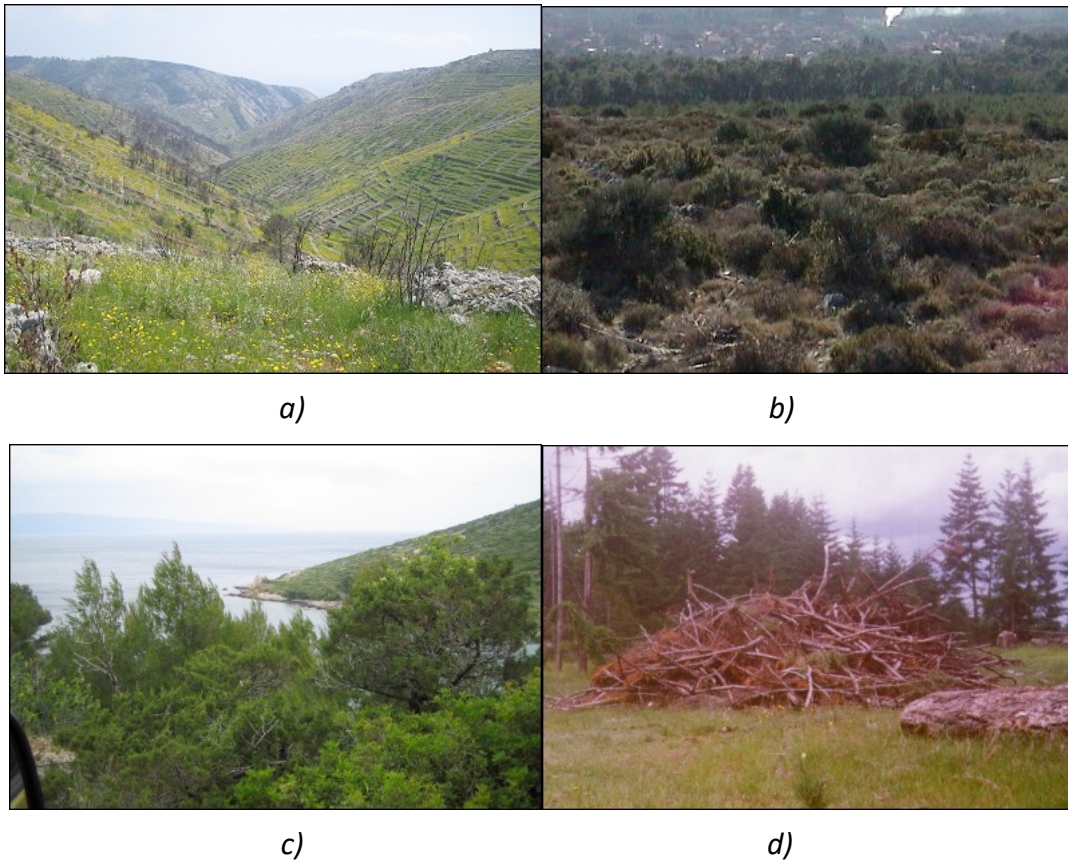
Objavom Rothermelovog modela širenja požara 1972.g. (Rothermel, 1972.) pojavila se potreba za kvantitativnim opisom šumskih goriva pomoću relativno malog broja parametara koji bi omogućili predviđanje površinskog ponašanja požara. Rothermel je definirao gorivi model kao "*cjeloviti skup ulaznih podataka za matematički model širenja požara*" i naveo parametre za 11 gorivih modela. Albini (Albini, 1976.) je dodatno poboljšao te modele goriva i dodao još dva, stvarajući ono što se sada naziva **izvornih 13 modela goriva ponašanja šumskih požara** ili **13 NFFL** (Northern Forest Fire Laboratory) **modela goriva**. Ovaj set, koji se široko koristi diljem svijeta, grupira goriva u 4 osnovne klase (travnata, grmolika, drvenasta i otpadna goriva), prema glavnom vektoru širenja požara, detaljno opisanom u (Andersonu, 1982.), pa se model često zove i **Albini-Anderson (AA) model**. Slika 2. pokazuje tipični izgled krajolika za ove 4 osnovne klase.

U svakoj klasi ima nekoliko modela (pod klasa):

Trave (engl. *Grass*) - 3 modela:

1. Kratka trava (engl. *Short Grass*) - ispod 0,3 m.
2. Stabljikasta trava (engl. *Timber Grass and Undestory*).
3. Visoka trava (engl. *Tall Grass*) – ispod 0,75 m.





Slika 2. Tipični predstavnici osnovnih kategorija: a) trava, b) grmlje, c) stabla i d) posječeni materijal

Grmlje i nisko drveće (engl. *Shrub*) - 4 modela:

4. Nisko drveće drvenaste strukture (engl. *Chaparral*) – ispod 1,8 m.
5. Grmovi (engl. *Brush*) – ispod 0,6 m.
6. Dominantni grmovi s posječenim materijalom (engl. *Dominant Bush, Hardwood Slash*).
7. Južnjački grmoviti teren (engl. *Southern Rough*).

Stabla i otpaci od stabla (engl. *Timber Litter*) - 3 modela:

8. Miješani otpad (engl. *Closed Timber Litter*).
9. Drvenasti otpad (engl. *Hardwood Litter*).
10. Stabla i otpadni materijal (engl. *Timber, Litter and Undestory*).

Posječeni materijal (engl. *Slash*) - 3 modela.

11. Rijetko nabacani materijal (engl. *Light Logging Slash*).
12. Srednje nabacani materijal (engl. *Medium Logging Slash*).
13. Gusto nabacani materijal (engl. *Heavy Logging Slash*).

Svaki je model opisan nizom parametara vezanih uz gorenje:

5. Količinom mrtvog i živog goriva po ha (engl. *Fuel Load*). Kod mrtvog goriva razlikuje se nekoliko kategorije podijeljena prema njihovom "vrijednosnom intervalu sušenja". Vrijednosni interval definira se kao "vrijeme potrebno da gorivo izgubi približno dvije trećine svog početnog sadržaja vlage". U jednostavnim terminima, ako je vlaga gorive čestice u ravnoteži s okolišem, tj. nema

dobitaka ili gubitaka, vrijednosni interval te čestice odgovara prosječnom vremenu koje bi joj trebalo da ponovno postigne tu ravnotežu ako bi došlo do promjene uvjeta okoliša. Kategorije koje se uzimaju u obzir nazvane su prema prosječnom vremenskom intervalu potrebnom za postizanje ravnoteže: 1 sat (1-h) – čestice manje od 6 mm (iglice, lišće, trave), 10 sati (10-h) – čestice veličine 6-25 mm (tanke grane i stabljike grmlja), 100 sati (100-h) – čestice veličine 25-75 mm (grane) i 1000 sati (1000-h) – čestice veće od 75 mm (debele grane i debla). Kod AA modela definiraju se parametri samo za prve tri kategorije

- Debljinom gorivog sloja u m (engl *Depth*).
- Sadržajem vlage u gorivu kod koje gorenje prestaje (engl. *Moisture of Exscintion*)

Vrijednosti parametara su prikazane u Tablici 1.

*Table 1. Parametri gorenja AA modela (Albini, 1976.)*

AA model	opis	količina goriva				dubina gorivog sloja	sadržaj vlage kod kojeg gorenje prestaje
		1 sat mrtvo	10 sati mrtvo	100 sati mrtvo	živo		
		tona/ha				m	%
	<b>trave</b>						
1	kratka trava	1.66	0.00	0.00	0.00	0.30	12
2	stabljkasta trava	4.48	2.24	1.12	1.12	0.30	15
3	visoka trava	6.75	0.00	0.00	0.00	0.76	25
	<b>grmlje i nisko drveće</b>						
4	nisko drveće drvenaste strukture	11.23	8.99	4.48	11.23	1.83	20
5	grmovi	2.24	1.12	0.00	4.48	0.61	20
6	dominantni grmovi s posječenim materijalom	3.36	5.60	4.48	0.00	0.76	25
7	južnjački grmoviti teren	2.53	4.19	3.36	0.83	0.76	40
	<b>stabla i otpaci od stabla</b>						
8	miješani otpad	3.36	2.24	5.60	0.00	0.06	30
9	drvenasti otpad	6.55	91.91	0.34	0.00	0.06	25
10	stabla i otpad	6.75	4.48	11.23	4.48	0.30	25
	<b>posječeni materijal</b>						
11	rijetko nabacani materijal	3.36	10.11	12.35	0.00	0.30	15
12	srednje nabacani materijal	8.99	31.45	37.06	0.00	0.70	20
13	gusto nabacani materijal	7.01	51.65	62.88	0.00	0.91	25

Slika 3. prikazuje primjer Andersonovog predložak opisa modela 10 – stabla i otpadni materijal.



**Fire Behavior Fuel Model 10**

The fires burn in the surface and ground fuels with greater fire intensity than the other timber litter models. Dead-down fuels include greater quantities of 3-inch (7.6-cm) or larger limbwood resulting from overmaturity or natural events that create a large load of dead material on the forest floor. Crowning out, spotting, and torching of individual trees are more frequent in this fuel situation, leading to potential fire control difficulties. Any forest type may be considered if heavy down material is present; examples are insect- or disease-ridden stands, wind-thrown stands, overmature situations with deadfall, and aged light thinning or partial-cut slash.

The 1978 NFDRS fuel model G is represented and is depicted in photographs 28, 29, and 30.

**Fuel model values for estimating fire behavior**

Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre	12.0
Dead fuel load, 1/4-inch, tons/acre	3.0
Live fuel load, foliage, tons/acre	2.0
Fuel bed depth, feet	1.0

Photo 28. Old-growth Douglas-fir with heavy ground fuels.



Photo 29. Mixed conifer stand with dead-down woody fuels.



Photo 30. Spruce habitat type where succession or natural disturbance can produce a heavy downed fuel load.



The fire intensities and spread rates of these timber litter fuel models are indicated by the following values when the dead fuel moisture content is 8 percent, live fuel moisture is 100 percent, and the effective windspeed at midflame height is 5 mi/h (8 km/h):

Model	Rate of spread <i>Chains/hour</i>	Flame length <i>Feet</i>
8	1.6	1.0
9	7.5	2.6
10	7.9	4.8

Fires such as above in model 10 are at the upper limit of control by direct attack. More wind or drier conditions could lead to an escaped fire.

*Slika 3. AA model 10 – stabla i otpadni materijal (Anderson, 1982.)*

## 2.1.2. Scott-Burganov (SB) model

Druga dva istraživača, Scott i Burgan, (Scott & Burgan, 2005.) su proširili ovaj skup na 40 gorivih modela kako bi se eliminirala pretpostavka da je sloj goriva ujednačen tijekom sušne sezone. To se postiže upotrebom dinamičkih slojeva goriva kod zeljastih biljaka, gdje se "*količina gorive materije živih zeljastih biljaka prebacuje u mrtve ovisno o sadržaju vlage u živim biljkama.*" Korištenje koeficijenta sušenja (odumiranja) (engl. *Curing Coefficient*) omogućuje realističnije modeliranje ponašanja požara u slojevima zeljastog goriva. Osim toga, ovi modeli nastoje se udaljiti od korelacije između tipa vegetacije i karakteristika slojeva goriva. Na primjer, izvorni model niskog drveća drvenaste strukture (engl. *Chaparral*) postaje model "teški sloj, visoko grmlje". SB modeli imaju 6 osnovnih klasa, a u svakoj od njih nekoliko pod klasa. Model se službeno zove **FBFMs** (Fire Behavior Fuel Models), ali u praksi se najčešće naziva **SB** (Scott-Burganov) model. Klase FBFMs ili SB modela goriva su:

### 1. Pretežno travnate kategorije (engl. *Grass*) - 9 modela

*Suha i polu-sluha klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je 15%):*

GR1 - Kratka trava (engl. *Short Grass*).

GR2 - Srednja trava (engl. *Moderately coarse continuous grass*) visine oko 0,3 m.

GR4 - Srednja trava (engl. *Moderately coarse continuous grass*) visine oko 0,6 m.

GR7 - Srednja trava (engl. *Moderately coarse continuous grass*) visine oko 0,9 m.

*Polu-vlažna i vlažna klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je od 30% - 40%):*

GR3 – Krupna trava (engl. *Very coarse grass*) – oko 0,6 m.

GR5 – Čvrsta, krupna trava (engl. *Dense, coarse grass*) – oko 0,3 – 0,6 m.

GR6 – Isušena trava (engl. *Dryland grass*) - oko 0,3 – 0,6 m.

GR8 – Jaka, krupna kontinuirana trava (engl. *Heavy, coarse, continuous grass*) - oko 0,9–1,5 m.

GR9 – Vrlo jaka, krupna kontinuirana trava (engl. *Very heavy, coarse, continuous grass*) - oko 1,5 – 2,7 m.

### 2. Mješavina trave i grmlja (engl. *Grass - Shrub*) - 4 modela:

*Suha i polu-sluha klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je 15%):*

GS1 - Nisko grmlje i niska trava (engl. *Shrubs are about 1 foot high, low grass load.*) – grmlje ispod 0,3 m.

GS2 - Nisko grmlje i srednja trava (engl. *Shrubs are 1 to 3 feet high, moderate grass load.*) – grmlje od 0,3 – 0,9 m.

*Polu-vlažna i vlažna klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je od 30% - 40%):*

GS3 – Srednja trava i grmlje (engl. *Moderate grass/shrub load, average grass/shrub depth less than 2 feet.*) – grmlje manje od 0,6 m.

GS4 – Velika trava i grmlje (engl. *Heavy grass/shrub load, depth greater than 2 feet.*) - grmlje veće od 0,6 m.

### 3. Grmlje (engl. *Shrub*) - 9 modela:

*Suha i polu-sluha klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je 15%):*

SH1 – Nisko grmlje s malo trave (engl. *Low shrub fuel load*) – gorivi sloj < 0,3 m.

SH2 – Umjereni sloj grmolike vegetacije bez trave (engl. *Moderate fuel load*) – gorivi sloj oko 0,3 m.

SH5 – Veliki grmoliki sloj (engl. *Heavy shrub load*) – gorivi sloj od 1,2 m do 1,8 m

SH7 – Vrlo veliki grmoliki sloj (engl. *Very heavy shrub load*) - gorivi sloj od 1,2 m do 1,8 m

*Poluvlažna i vlažna klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je od 30% - 40%):*

SH3 – Umjereni sloj grmovite vegetacije uz pojavu borovih stabala i travnate vegetacije (engl. *Moderate shrub load, possibly with pine overstory or herbaceous fuel*) – gorivi sloj od 0,6 – 0,9 m

SH4 – Mali do umjereni sloj grmlja i otpadnog materijala uz pojavu borovih stabala (engl. *Low to moderate shrub and litter load, possibly with pine overstory*) – gorivi sloj oko 0,9 m

SH6 – Bujna grmolika vegetacija bez trave ili s malo trave (engl. *Dense shrubs, little or no herb fuel*) – gorivi sloj oko 0,6 m

SH8 – Bujna grmolika vegetacija bez trave ili s malo trave (engl. *Dense shrubs, little or no herb fuel*) – gorivi sloj oko 0,9 m

SH9 – Bujna grmolika vegetacija finih grana s dosta mrtvog goriva s malo trave (engl. *Dense, finely branched shrubs with significant fine dead fuel*) – gorivi sloj oko 0,2 – 1,8 m

4. Trava ili grmlje miješani s mrtvim materijalom otpalim sa krošnji (engl. *Timber-Understory*) – 5 modela.

*Suha i polusluha klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je 20%):*

TU1 – Gorivi sloj je mali i sastoji se od trave, grmlja i otpadnog materijala (Fuelbed is low load of grass and/or shrub with litter)

TU4 – Gorivi sloj su male četinjače s travom ili mahovinom u podnožju (Fuelbed is short conifer trees with grass or moss understory)

TU5 - Gorivi sloj su velike četinjače s travom ili mahovinom u podnožju (Fuelbed is high load conifer litter with shrub understory)

*Poluvlažna i vlažna klima (vlaga kod kojeg prestaje gorenje je 30%):*

TU2 – Gorivi sloj je umjereni količina otpadnog materijala s grmolikom vegetacijom (Fuelbed is moderate litter load with shrub component).

TU3 – Gorivi sloj je umjereni količina otpadnog materijala s travom i grmolikom vegetacijom (Fuelbed is moderate litter load with grass and shrub components)

5. Mrtva drvenasta vegetacija ispod šumskih krošnji (engl. *Timber Litter*) – 9 modela

*Područje je nedavno izgorjelo, ali još može podržavati gorenje:*

TL1 – Gorivi sloj mali ili umjeren (engl. *Light to moderate load*) – gorivi sloj od 2,5 – 5 cm.

*Područje koje nije nedavno izgorjelo:*

*Gorivi sloj se sastoji od mrtve drvenaste vegetacije tvrdog drva*

TL2 – Mali i kompaktni gorivi sloj (engl. *Low load, compact*).

TL6 – Umjereni i manje kompaktni gorivi sloj (engl. *Moderate load, less compact*).

TL9 – Vrlo veliki, čupavi gorivi sloj (engl. *Very high load, fluffy*)

*Gorivi sloj se sastoji od otapanih iglica borovine*

TL8 – Umjereni i kompaktni gorivi sloj koji uključuje i male količine travnatog goriva (engl. *Moderate load and compactness may include small amount of herbaceous load*)

*Gorivi sloj se ne sastoji od otpada tvrdog drva ili iglica*

*Gorivi sloj uključuje i fino i grubo gorivo*

TL4 – Umjereni gorivi sloj koji uključuje i trupce malog promjera (engl. *Moderate load, includes small diameter downed logs*)

TL7 – Veliki gorivi sloj koji uključuje i trupce velikog promjera (engl. *Heavy load, includes larger diameter downed logs*)

*Gorivi sloj ne uključuje grubo gorivo*

TL3 – Umjereni sloj otpadnog materijala od četinjača (engl. *Moderate load conifer litter*)

TL5 – Umjereni sloj otpadnog materijala od četinjača s malo posječenog materijala ili uginule vegetacije (engl. *High load conifer litter; light slash or mortality fuel*)

TL9 – Vrlo veliki sloj otpadnog materijala od bljelogorice sa slojem rijetkog grmlja (engl. *Very high load broadleaf litter; heavy needle-drape in otherwise sparse shrub layer*)

## 6. Posječeni materijal ili materijal srušen vjetrom (engl. *Slash-Blowdown*) – 4 modela

*Posječeni materijal:*

SB1 – Fino gorivo (engl. *Fine fuel load is 10 to 20 tons/acre, weighted toward fuels 1 to 3 inches diameter class, depth is less than 1 foot*) – količina goriva od 25 do 50 t/ha, dubine do 0,3 m

SB2 – Fino gorivo (engl. *Fine fuel load is 7 to 12 tons/acre, evenly distributed across 0 to 0.25, 0.25 to 1, and 1 to 3 inch diameter classes, depth is about 1 foot*) – količina goriva od 18 do 30 t/ha, jednoliko raspoređenih različitih klasa debljine od 0 do 7,5 cm, dubine gorivog sloja do 0,3 m

SB3 – Fino gorivo (engl. *Fine fuel load is 7 to 12 tons/acre, weighted toward 0 to 0.25 inch diameter class, depth is more than 1 foot*) – količina goriva od 18 do 30 t/ha, male klasa debljine, dubine do 0,3 m

*Materijal srušen vjetrom:*

SB2 – Materijal srušen vjetrom je raštrkan s dosta stabala koja nisu srušena (engl. *Blowdown is scattered, with many trees still standing*).

SB3 – Količina materijala srušenog vjetrom je umjerena (engl. *Blowdown is moderate, trees compacted to near the ground*)

SB4 – Sva su stabla srušena, ali je na stablima lišće još ostalo (engl. *Blowdown is total, fuelbed not compacted, foliage still attached*)

## 7. Područje koje nema dovoljno goriva da podržava gorenje u bilo kakvim uvjetima (engl. *Nonburnable*) – 5 modela

NB1 - Urbano područje (engl. *Urban or suburban development*)

NB2 – Snijeg – led (engl. *Snow/ice*)



NB3 – Poljoprivredno zemljište (engl. *Agricultural field*)

NB8 – Otvorene vode (engl. *Open water*)

NB9 – Ogoljeno zemljište (engl. *Bare land*)

Scott i Burgan su napravili i poveznicu između originalnih 13 AA modela i njihovog SB modela s 40 klasa. U novijim softverima za simulaciju širenja požara originalnih 13 modela uključeni su kao modeli 1–13, a SB modeli su uključeni brojčanim kodom koja kaže i kojoj kategoriji pripadaju. Tablica 2 daje šifre modela za poznate simulacijske softvere (Behave+, Firesite, Flammap).

*Tablica 2. Veza između brojčanog koda modela goriva i oba FBPS modela goriva (AA i SB)*

šifra modela goriva	AA i SB modeli
1 - 13	AA modeli 1 - 13
101 - 109	SB modeli GR1 – GR9
141 - 149	SB modeli SH1 – SH9
161 - 165	SB modeli TU1 – TU5
181 - 189	SB modeli TL1 – TL9
201 - 204	SB modeli SB1 – SB4
91 - 99	SB modeli NB1 – NB9

Od svih ovih SB modela na teritoriju Europe se pojavljuje samo 18 modela: GR2, GR4, GR6, GR7, GR8, GR9, SH2, SH3, SH5, SH7, SH8, SH9, TU1, TU2, TU3, TU5, TL3 i NB modeli koji se stavljaju u istu klasu, pa se u nastavku bavimo samo ovim modelima.

### Parametri vezani uz gorenje

Scott i Burgan su definirali puno više parametara vezanih uz gorenje od AA modela. Parametri se odnose na količinu i visinu goriva, oblik, kemijski sastav, gustoću i sadržaj vlage.

#### Količina i visina goriva

Količina goriva (engl. *Fuel Load*) iskazuje masu zapaljivog biljnog materijala po jedinici površine i obično se izražava u kg/m<sup>2</sup> ili t/ha. Ovisno o potrebama modeliranja ponašanja požara, ovaj se parametar može prikazati kao ukupna vrijednost ili podijeliti prema sloju (podzemni, prizemni, krošnje), veličini čestica (sitne, redovne, srednje i teške) ili vegetacijskom stanju (živo i mrtvo). Količina goriva koja se potroši izravno utječe na učinke požara na vegetaciju i tlo, širenje i intenzitet požara, te na potencijalne emisije požara i utjecaj dima. Kod SB modela količina goriva se iskazuje za mrtvo gorivo različite veličine opisujemo preko intervala sušenja (1-h, 10-h, 100-h) i živo gorivo podijeljeno u drvenasto (engl. *Woody*) i zeljasto (engl. *Herbaceous*).

Visina goriva (engl. *Fuel Height*), koja se ponekad naziva i dubinom (engl. *Depth*), predstavlja procjenu vertikalne dimenzije zone izgaranja.

#### Oblik

Oblik (engl. *Shape*) se najčešće izražava kao omjer površine i volumena (engl. *SAV – Surface area-to-volume*) koji predstavlja omjer između vanjske površine čestice i njezinog volumena, obično u cm<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup> (cm<sup>-1</sup>) ili m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (m<sup>-1</sup>). Omjer površine prema volumenu određuje prikladnost čestice za izgaranje, jer količina energije koju može primiti po jedinici vremena raste s povećanjem izložene površine. Čestice goriva s velikim omjerom SAV brže se zapale od onih s relativno malim omjerom SAV. Na primjer, veliki trupci imaju niske vrijednosti SAV, dok iglice borova ili trave imaju visoke vrijednosti SAV. Svi SB modeli imaju isti SAV za 10-h i 100-h veličinu čestica goriva. Za 10-h gorivo SAV iznosi 357,6 [1/m], a za 100-h gorivo 98 [1/m].

## Kemijski sastav

Proces izgaranja može biti u manjoj ili većoj mjeri pod utjecajem kemijskog sastava goriva, koji može ubrzavati ili usporavati izgaranje. Pri tome su važna tri kemijska svojstva goriva:

- a) Toplinski sadržaj (engl. *Heat Content*) ili energija koju gorivi materijal može osloboditi tijekom izgaranja po jedinici mase goriva. Ovaj parametar je konstantan za sve SB modele i iznosi 18622 kJ/kg.
- b) Ukupni sadržaj minerala (engl. *Total Mineral Content*), koji predstavlja udio mase goriva koji je sastavljen od anorganskih minerala (samo organski minerali mogu održavati izgaranje). Ovaj parametar je konstantan za sve SB modele i iznosi 0,0555 (5,55 %).
- c) Učinkovit sadržaj minerala (engl. *Effective Mineral Content*) ili aktivni mineralni sadržaj u gorivim česticama koji utječe na kemijske procese izgaranja, posebno na oslobađanje hlapljivih plinova. Ovaj parametar je konstantan za sve SB modele i iznosi 0,01 (1 %).

## Gustoća

Gustoća (engl. *Density*) utječe na zapaljenje i brzinu širenja. Zajedno sa sadržajem vlage, snažno utječe na toplinsku vodljivost goriva. Goriva s nižom gustoćom brže se zapale za istu količinu topline ili zahtijevaju manje topline u istom vremenu. Iskazuju se preko parametra koji se zove osušena gustoća čestica (engl. *Ovendry Particle Density*). Za sve SB modele ovaj parametar je konstantan i iznosi 512,59 kg/m<sup>3</sup>.

## Sadržaj vlage

Sadržaj vlage (engl. *Moisture Content*) predstavlja količinu vode po suhoj masi goriva i izravno utječe na mogućnost zapaljenja i izgaranja goriva. U procjeni ponašanja požara potrebno je razlikovati vlagu živog i mrtvog goriva. Vлага mrtvog goriva (engl. *DFMC – Dead Fuel Moisture Content*) uglavnom ovisi o uvjetima okoliša, prije svega o meteorološkim parametrima. Različite kategorije veličina čestica, koje opisujemo preko intervala sušenja (1-h, 10-h, 100-h) mogu imati različit sadržaj vlage u istom trenutku. Kao što se očekuje, brzina širenja požara i vjerojatnost zapaljenja povećavaju se s padom sadržaja vlage u gorivu. Vrlo nizak sadržaj vlage u sitnom mrtvom gorivu (ispod 5-7%) ukazuje na visoku vjerojatnost pojave ekstremnog ponašanja požara (požari u krošnjama, spot požari, vrlo velika brzina širenja i visoki intenzitet linije požara).

Vlaga živog goriva (engl. *LFMC – Live Fuel Moisture Content*) rezultat je interakcije fizičkih i fizioloških procesa, stoga je njihova vremenska varijabilnost vrlo različita od vlage mrtvog goriva. Sadržaj vlage živog goriva općenito je veći od sadržaja vlage mrtvog goriva, u istim uvjetima okoliša, često prelazeći 100%. Posebno važan parametar vezan s vlažnosti goriva je vlažnost izumiranja (engl. *Moisture of Extinction*) koji predstavlja sadržaj vlage u mrtvom gorivom sloju pri kojem se požar prestaje širiti. To je ključni parametar za primjenu Rothermelovog modela, koji je prvotno smatran konstantnim među svim tipovima goriva (30%). Kasnije je utvrđeno da može varirati s obzirom na zbijenost gorivog sloja, veličinu gorivih čestica, brzinu vjetra i nagib ili čak ovisno o mjestu na liniji požara. Vrijednosti vlažnosti izumiranja korištene u modelima goriva ponašanja požara mogu se kretati od 15% do 40%. Važno je napomenuti da je ovaj parametar u originalnim SB vrijednostima prilagođen vegetaciji Amerike, te često ne odgovara vrijednostima koje su primjerene mediteranskom raslinju. To posebno vrijedi za travnatu vegetaciju za koju originalni AA i SB modeli daju vrlo male vrijednosti od 12 – 25%. Međutim ovako male vrijednosti sigurno ne vrijede za vegetaciju Jadrana i Mediterana. Tijekom analize velike vatrogasne nesreće na Kornatima (Stipaničev et al, 2008; Stipaničev & Viegas, 2009.), analizirana travnata vegetacija imala je u prosjeku količinu vlage u mrtvom gorivu od 12 – 14% i bila je izuzetno zapaljiva (odgoda zapaljivosti DI vrlo kratka – oko 2 s), što znači da je vrijednost od 12 - 14% bila daleko od granice na kojoj prestaje gorenje.

Zbog toga smo u analizi parametra gorenja izmijenili ovaj faktor u odnosu na originalne vegetacijske kategorije i postavili ga na vrijednost od 40% koja se spominje u literaturi vezano za travnata goriva (Chuvieco et al. 2004.), a koristili su je i drugi autori (Yebrá et al 2007.). Parametre gorenja za 17 SB modela koji se pojavljuju na području Europe prikazuje Tablica 3. Njima su dodani i parametri AA modela 10 (stabla i otpadni materijal), zato što je ovaj AA model važan kod proračuna širenja požara po krošnjama. Od SB modela nedostaje još NB model za kojeg se stavlja da su sve količine goriva jednake nuli.

*Tablica 3. Parametri gorenja SB modela koji se pojavljuju na području Europe (Aragoneses et al., 2023b) prema (Scott & Burgan, 2005.)*

model	količina goriva					SAV – omjer površine i volumena			visina (m)	vlažnost izumiranja (%)
	mrtvo			živo		mrtvo (1/m)	živo			
	1-h (t/ha)	10-h (t/ha)	100-h (t/ha)	zeljasto (t/ha)	drvenasto (t/ha)		zeljasto (1/m)	drvenasto (1/m)		
GR2	0.22	0	0	2.24	0	6562	5906	4921	0.3	15
GR4	0.56	0	0	4.26	0	6562	5906	4921	0.61	15
GR6	0.22	0	0	7.62	0	7218	6562	4921	0.46	40
GR7	2.24	0	0	12.11	0	6562	5906	4921	0.91	15
GR8	1.12	2.24	0	16.36	0	4821	4265	4921	1.22	30
GR9	2.24	2.24	0	20.18	0	5906	5249	4921	1.52	40
SH2	3.03	5.38	1.68	0	8.63	6562	4921	5249	0.3	15
SH3	1.01	6.73	0	0	13.9	5249	4921	4593	0.73	40
SH5	8.07	4.71	0	0	6.5	2461	4921	5249	1.83	15
SH7	7.85	11.88	4.93	0	7.62	2461	4921	5249	1.83	15
SH8	4.6	7.62	1.91	0	9.75	2461	4921	5249	0.91	40
SH9	10.09	5.49	0	3.47	15.69	2461	5906	4921	1.34	40
TU1	0.45	2.02	3.36	0.45	2.02	6562	5906	5294	0.18	20
TU2	2.13	4.04	2.8	0	0.45	6562	4921	5294	0.3	30
TU3	2.47	0.34	0.56	1.46	2.47	5906	5249	4593	0.4	30
TU5	9.97	8.97	6.73	0	6.73	4921	4921	2461	0.3	25
TL3	1.12	4.93	6.28	0	0	6562	4921	5249	0.09	20
AA10	7.41	4.94	12.36	0	4.94	6562	4921	4921	0.305	25

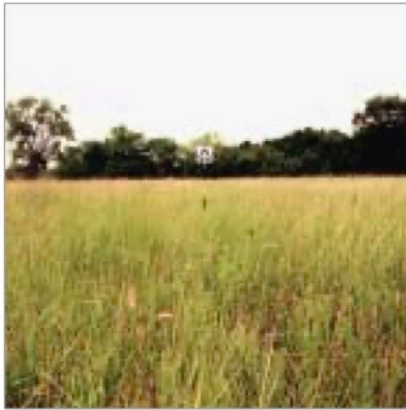
Za sve SB modele Scott i Burgan (Scott & Burgan, 2005.) su također dali i opisne listove na kojima se za različite vrijednosti vlažnosti goriva i brzine vjetera procjenjuje brzina širenja požara i visina plamena. Slika 4 prikazuje izgled predložka opisa modela GR4. Brzina vjetera je parametar koji se standardno mjeri, ali vlažnost goriva nije. O vlažnosti goriva pripremamo poseban diseminacijski dokument FirEURisk projekta, a ovdje ćemo samo napomenuti još jedan značajan doprinos Scotta i Burgana, vrlo važan za praksu. U svom osnovnom dokumentu (Scott & Burgan, 2005.) uveli su pojam scenarija vlažnosti (engl *Moisture Scenarios*). Dali su tablice na temelju kojih se može procijeniti vlažnost mrtvog goriva različite veličine na temelju poznavanja jedne od vrijednosti. Definirali su 4 scenarija vezana uz mrtvo i 4 uz živo gorivo. prikazuje ih Tablica 4.

*Tablica 4. Scenariji vlažnosti u % za različite scenarije vlažnosti (Scott & Burgan, 2005.).*

mrtvo gorivo					živo gorivo				
veličina čestica	D1 vrlo mala	D2 mala	D3 umjerena	D4 velika	tip goriva	L1 vrlo mala	L2 mala	L3 umjerena	L4 velika
1-h	3	6	9	12	zeljasto	30	60	90	120
10-h	4	7	10	13	drvenasto	60	90	120	150
100-h	5	8	11	14	opis	potpuno osušeno lišće	2/3 osušenog lišća	1/3 osušenog lišća	potpuno zeleno – nema osušenog lišća

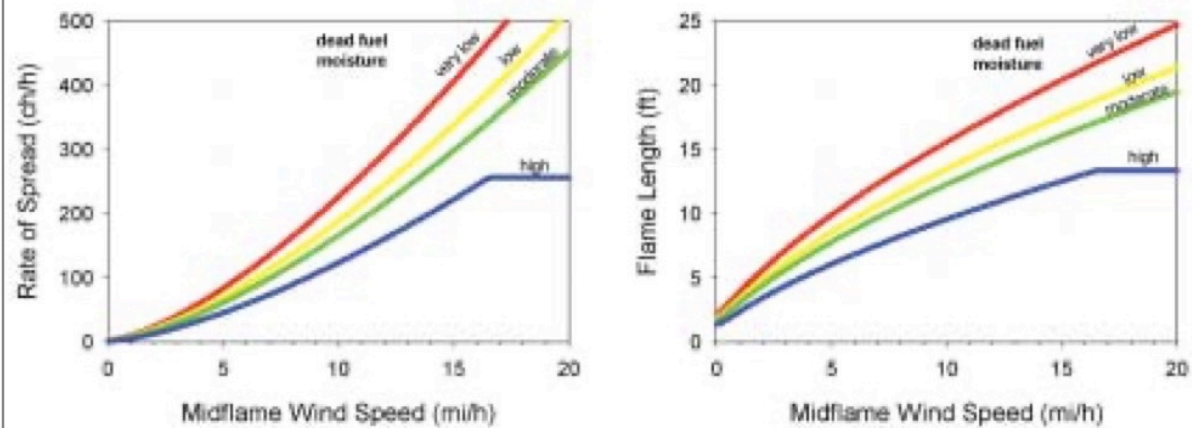
## GR4 (104)

### Moderate Load, Dry Climate Grass (Dynamic)



**Description:** The primary carrier of fire in GR4 is continuous, dry-climate grass. Load and depth are greater than GR2; fuelbed depth is about 2 feet.

Fine fuel load (t/ac)	2.15
Characteristic SAV (ft-1)	1826
Packing ratio (dimensionless)	0.00154
Extinction moisture content (percent)	15



Slika 4. SB model GR4 – Srednja trava (Scott & Burgan, 2005.)

### 3. FirEUrisk modeli goriva

Kako su modeli i karte goriva ključni za procjenu opasnosti od požara, jedna od prvih aktivnosti projekta FirEUrisk je bila predložiti nove modele goriva prilagođene teritoriju Europe. Pokušaja je bilo i prije, poput projekata Prometheus (PROMETHEUS, 2000.), a posebno FUELMAP (FUELMAP, 2011.), koji je razvio klasifikaciju europskih goriva koju danas koristi Europski sustav informacija o šumskim požarima (EFFIS, 2017.), a koristili su je i (Aragoneses & Chuvieco, 2021.) za izradu karata vegetacije Iberijskog poluotoka.

Predloženi FirEUrisk model vegetacije (Aragoneses et al., 2023b) u odnosu na gorenje, razlikuje se od svih ovih pristupa i temelji se na hijerarhijskoj klasifikaciji goriva predložena sa ciljem što boljeg zadovoljavanja tri glavna zahtjeva:

- treba biti prilagođen velikoj raznolikosti europskog okoliša
- treba biti prilagođen uključivanju i površinska goriva i goriva u krošnjama i gornje vrste goriva
- treba biti prikladan za rad u različitim prostornim rezolucijama.

FirEUrisk klasifikacijski sustava modela goriva razvijen je za potrebe modeliranje ponašanja požara, procjenu rizika od požara i procjenu emisije plinova požara. Kod definiranja pojedinih klasa goriva, korišteni su slijedeći podaci:

- zemljišni pokrov i opis vegetacije Copernicus Global Land Cover Map kategorija
- sustav klasifikacije zemljišnog pokrova UN LCCS (United Nations Land Cover Classification System) definiran od UNESC-a i FAO-a
- opisi klasa EU sustava pokrova i korištenja zemljišta CORINE Land Covermi i
- za močvarna područja i tresetišta definicije pokrova preuzeta od International Peatland Society.

FirEUrisk model goriva sadrži ukupno 85 klasa podijeljenih u dvije razine. Na prvoj razini su osnovne, dominantne klase podijeljene u 7 osnovnih tipova goriva:

1. šume
2. grmoliko raslinje
3. travnjaci
4. obradivo zemljište
5. močvarna zemljišta i tresetišta/polu-tresetišta
6. urbana područja
7. područje bez gorive materije.

Na prvoj razini uzima se u obzir još i oblik lista za stabla, debljina pokrova za grmove i travu i tipovi vegetacije na obradivom i močvarnom zemljištu. Tablica 5 prikazuje FirEUrisk hijerarhijski sustav klasifikacije prve razine.

Drugu razinu imaju samo šume i povezana je s podstojnim slojem (donjim slojem šume), a definira se za tri tipa podrasta: travnjake, grmoliku vegetaciju i mrtvu drvenastu vegetaciju, uzimajući u obzir i visinu pokrova. Tablica 6 prikazuje FirEUrisk hijerarhijski sustav klasifikacije druge razine.

Tablica 5. FirEURisk hijerarhijski sustav klasifikacije goriva prve razine, prilagođen teritoriju Europe sa sustavom kodiranja. Prvi broj je osnovna klasa, druga dva broja pripadaju dodatnim opisnicima (oblik lista, debljina pokrova ili vrsta), a četvrti broj gustoći pokrova i definiran je samo za šume. Prilagođeno prema (Aragoneses et al. 2023a).

FirEURisk modeli goriva - prva razina			
osnovno gorivo	oblik lista	gustoća pokrova (%)	
1. šume	11. širokolisni 111. zimzeleno	1111. otvoren [15-70%]	1112. zatvoren [70-100%]
	112. listopadno	1121. otvoren [15-70%]	1122. zatvoren [70-100%]
	12. igličasti 121. zimzeleno	1211. otvoren [15-70%]	1212. zatvoren [70-100%]
	122. listopadno	1221. otvoren [15-70%]	1222. zatvoren [70-100%]
	13. mješovito	1301. otvoren [15-70%]	1302. zatvoren [70-100%]
	<b>debljina pokrova</b>		
2. grmoliko raslinje	21. mala [0-0,5m]		
	22. srednja [0,5-1,5m]		
	23. velika [≥ 1,5m]		
3. travnjaci	31. mala [0-0,3m]		
	32. srednja [0,3-0,7m]		
	33. velika [≥ 0,7m]		
	<b>vrsta</b>		
4. obradivo zemljište	41. zeljasti usjevi		
	42. drvenasti usjevi (grmovi – stabla)		
5. močvare i tresetišta/ polu-tresetišta	51. močvarne šume		
	52. močvarno grmoliko raslinje		
	53. močvarni travnjaci		
6. urbano područje	61. kontinuirano urbano područje s urbanom pokrivenosti [≥ 80%]		
	62. diskontinuirano urbano područje s urbanom pokrivenosti [15-80%]		
7. područje bez goriva	71. voda, led ili snijeg		
	72. golo zemljište ili rijetka vegetacija (< 10%)		

Tablica 6. FirEURisk hijerarhijski sustav klasifikacije goriva druge razine. Definira se samo za šume. Prilagođeno prema (Aragoneses et al. 2023a).

FirEURisk modeli goriva - druga razina	
tip podrasta	debljina podrasta
3. travnjaci	31. mala [0 – 0,3m]
	32. srednja [0,3m – 0,7m]
	33. velika (≥ 0,7m)
2. grmoliko raslinje	21. mala [0 – 0,3m]
	22. srednja [0,3m – 0,7m]
	23. velika (≥ 0,7m)
0. mrtva drvenasta vegetacija	

Tablica 7 prikazuje vezu između hrvatskih i engleskih naziva FirEURisk klasa.



Tablica 7. Nazivi FirEurisk klasa prve razine na hrvatskom i engleskom jeziku.

FirEurisk klasa	naziv na hrvatskom	naziv na engleskom
1111	šuma – širokolisna – zimzelena - otvorena [15-70%]	Forests - Needleleaved - Evergreen - Open [15-70%]
1112	šuma – širokolisna – zimzelena - zatvorena [70-100%]	Forests - Needleleaved - Evergreen - Close [70-100%]
1121	šuma – širokolisna – listopadna - otvorena [15-70%]	Forests - Broadleaf - Deciduous - Open [15-70%]
1122	šuma – širokolisna – listopadna - zatvorena [70-100%]	Forests - Broadleaf - Deciduous - Close [70-100%]
1211	šuma – igličasta – zimzelena - otvorena [15-70%]	Forests - Needleleaved - Evergreen - Open [15-70%]
1212	šuma – igličasta – zimzelena - zatvorena [70-100%]	Forests - Needleleaved - Evergreen - Close [70-100%]
1221	šuma – igličasta – listopadna - otvorena [15-70%]	Forests - Needleleaved - Deciduous - Open [15-70%]
1222	šuma – igličasta – listopadna - zatvorena [70-100%]	Forests - Needleleaved - Deciduous - Close [70-100%]
1301	šuma – miješana - otvorena [15-70%]	Forests - Mixed - Open [15-70%]
1302	šuma – miješana - zatvorena [70-100%]	Forests - Mixed - Close [70-100%]
21	grmoliko raslinje – malo [0-0.5m]	Shrubland - Low [0-0.5m]
22	grmoliko raslinje – srednje [0.5-1.5m]	Shrubland - Medium [0.5-1.5m]
23	grmoliko raslinje – veliko [≥ 1,5m]	Shrubland - High [≥ 1,5m]
31	travnjaci - mali [0-0.3m]	Grassland - Low [0-0.3m]
32	travnjaci – srednji [0,3-0,7m]	Grassland - Medium [0,3-0,7m]
33	travnjaci – veliki [≥ 0,7m]	Grassland - High [≥ 0,7m]
41	obrađivo zemljište - zeljasti usjevi	Cropland herbaceous
42	obrađivo zemljište - drvenasti usjevi (grmovi – stabla)	Cropland woody (shrub-tree)
51	močvare i tresetišta/ polu-tresetišta – močvarne šume	Wet and peat/semi-peat land - Tree
52	močvare i tresetišta/ polu-tresetišta – močvarno grmoliko raslinje	Wet and peat/semi-peat land - Shrubland
53	močvare i tresetišta/ polu-tresetišta – močvarni travnjaci	Wet and peat/semi-peat land - Grassland
61	kontinuirano urbano područje s urbanom pokrivenosti [≥ 80%]	Continuous fabric: urban fabric [80-100%]
62	diskontinuirano urbano područje s urbanom pokrivenosti [15-80%]	Discontinuous fabric: vegetation and urban fabric [15-80%]
71	bez goriva - voda, led ili snijeg	Nonfuel – Water, snow or ice
72	bez goriva - golo zemljište ili rijetka vegetacija (< 10%)	Nonfuel – Bare soil or sparse vegetation (<10 %)

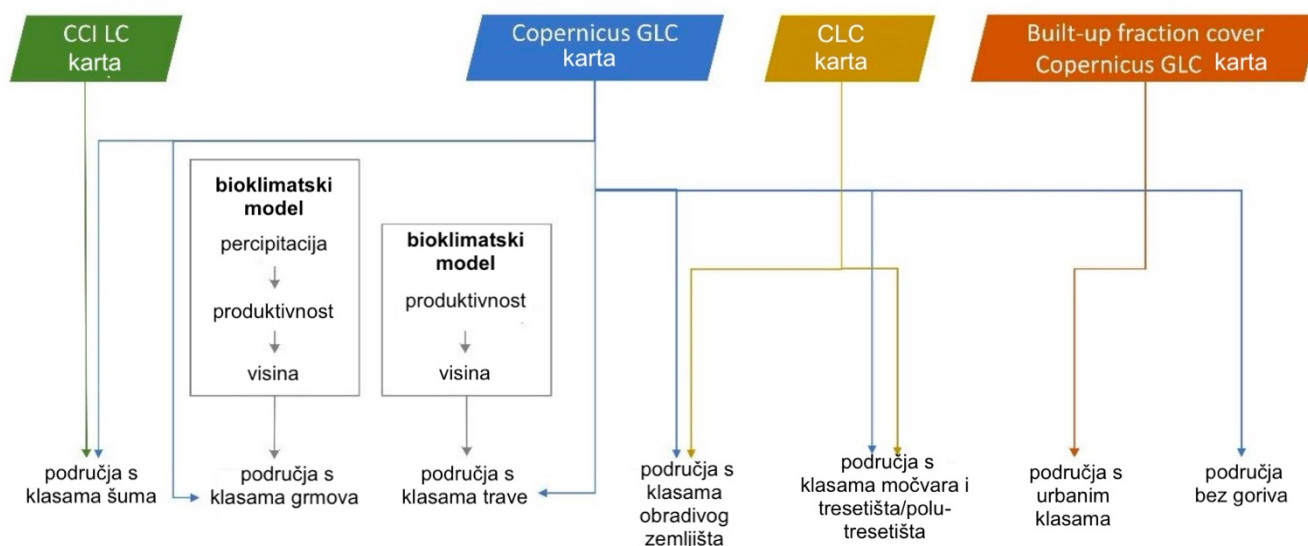
Na temelju FirEurisk modela goriva razrađena je i metodologija za proračun karta goriva, ali samo za klasifikaciju prve razine.

## 4. FirEUrisk karte goriva

Originalna FirEUrisk karta goriva napravljena je za cijelo područje Europe u rezoluciji 1 km na temelju analize satelitskih slika različitih izvora koji pokrivaju područje Europe i bio klimatskih modela. Ulazni podaci su bili:

1. 2019. Copernicus globalna karta pokrova zemljišta - Copernicus GLC (Global Land Cover) map (Buchhorn et al., 2020.).
2. 2020. Copernicus globalna karta inicijative klimatskih promjena rezolucije 300 m - Copernicus Climate Change Initiative Land Cover map (CCI LC map) (Copernicus Climate Change Services, 2020.).
3. 2018. pan- europska Corine Land Cover rasterska karta rezolucije 100 m – pan-European Corine Land Cover (CLC) raster map (European Union Copernicus Land Monitoring Service, 2020.).
4. 2019. karta frakcijskog pokrova izgrađenog zemljišta rezolucije 100 m – Built-up fraction cover Copernicus Global Land Cover (GLC) map) (Buchhorn et al., 2020.).

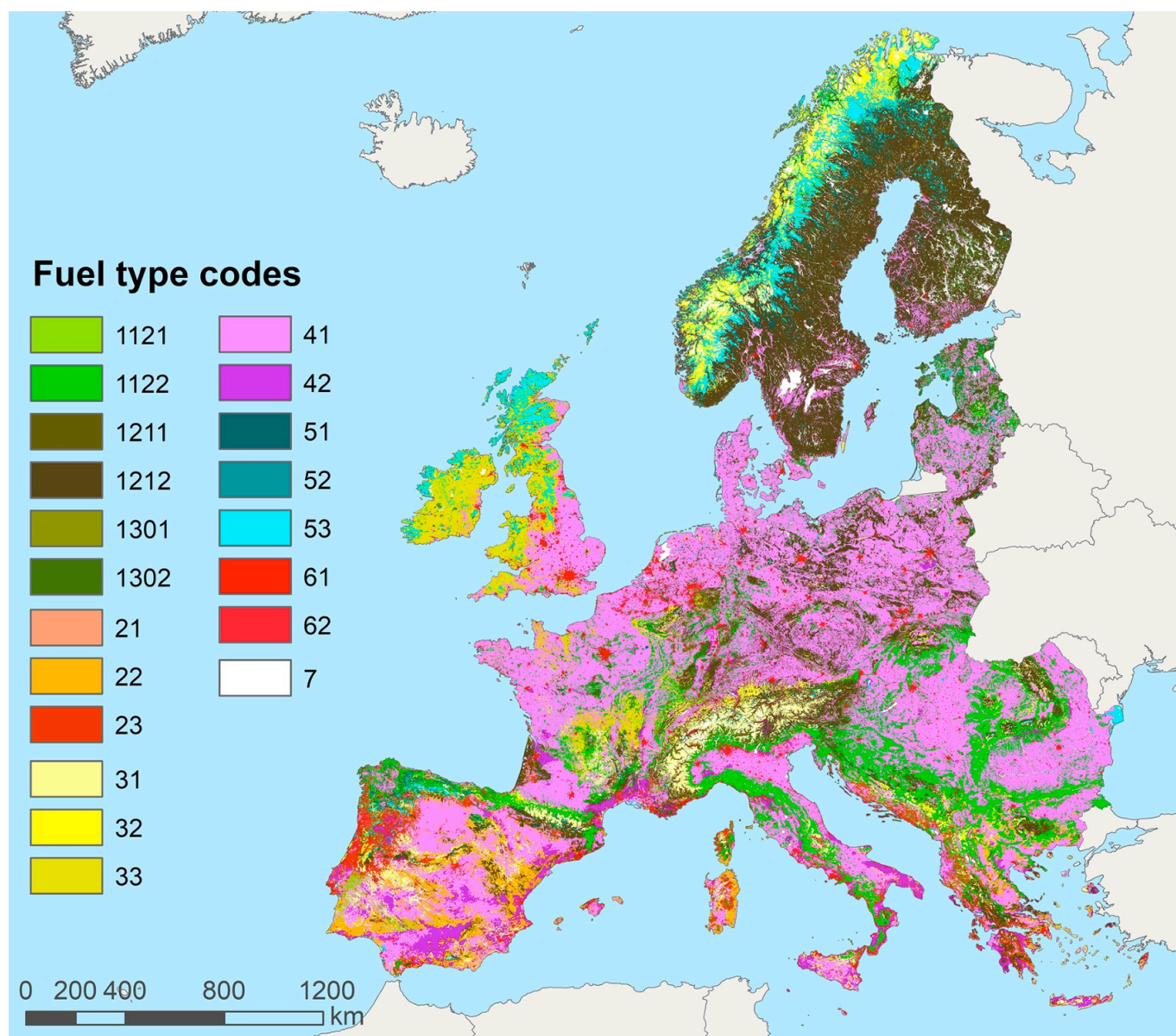
Temeljna karta je bila Copernicus GLC zbog toga što mu je klasifikacija vegetacije bila dosta slična prvoj razini FirEUrisk klasifikacije, ali nije bila dovoljna za klasifikaciju svih FirEUrisk klasa, pa su korišteni i ostali izvori. Osnovni dijagram toka postupka proračuna prikazuje Slika 5.



Slika 5. Dijagram toka postupka proračuna 1 km EU FirEUrisk karte. Prilagođeno prema (Aragoneses et al., 2023a; 2023b).

Posebno je zanimljiv postupak određivanja područja s klasama grmova i trave korištenjem bioklimatski modela. Na primjer kod grmova uzeta je u obzir srednja godišnja količina padalina (percipitacija) (engl. MAP – Mean Annual Percipitation) od 1970.-2000. iz WordClim 2 modela, estimirana je produktivnost grmolike vegetacije korištenjem linearnog modela koji povezuje MAP i produktivnost, te je u završnoj fazi korišten linearni empirijski model koji povezuje visinu pokrova grmolike vegetacije i produktivnosti. Više detalja o postupku proračuna u (Aragoneses et al., 2023b.).

Konačni rezultat je FirEUrisk karta rezolucije 1 km koju prikazuje Slika 6. Od 25 mogućih klasa goriva prema FirEUrisk modelu goriva, na području Europe su bile prisutno samo 20 klasa i to 6 klasa šumskog područja, 3 klase grmolikog područja, 3 klase travnjaka, 2 klase usjeva, 3 klase močvarnog područja i tresetišta, 2 klase urbanog područja i 1 klasa područja bez goriva.



*Slika 6. FirEURisk karta goriva rezolucije 1 km za područje Europe. Karta se može slobodno preuzet na adresi <https://doi.org/10.21950/YABYCN> zajedno s uputama za korištenje.*

Karta je provjerena postupkom validacije u dva koraka. Na prvom koraku je validirano šest glavnih tipova goriva (šuma, grmlje, travnjaci, obradivo zemljište, močvare i tresetišta/polu-tresetišta te urbana područja), kao i klasa ne-gorivih površina, koristeći LUCAS (Land Use and Coverage Area frame Survey) kao referentne podatke. LUCAS točke dobivene su sustavnim terenskim istraživanjem koje se provodi svake tri godine od strane Eurostata kako bi se identificirale promjene u pokrovu i korištenju zemljišta (uključujući fotografije) u Europskoj uniji (Eurostat, 2024.). Mikro-podaci LUCAS iz 2018. godine za Europu preuzeti su (Eurostat, 2018.). Izabrano je 5016 LUCAS validacijskih točaka koji su zadovoljavali određene kriterije, ta napravljena automatska usporedba sa istim lokacijama na FirEURisk kartama goriva. Konverzijska tablica između LUCAS klasa i FirEURisk osnovnih klasa dana je u Tablici 8.

Tablica 8. Korelacijska tablica između LUCAS klasa i FirEURisk osnovnih klasa.

LUCAS_CAT	LUCAS_CAT_TITLE	Osnovne kategorije FirEURisk	FirEURisk opis
A11	Buildings with one to three floors	6	Urban
A12	Buildings with more than three floors	6	Urban
A13	Greenhouses	6	Urban
A21	Non built-up area features	7	Nofuel
A22	Non built-up linear features	7	Nofuel
A30	Other artificial areas	6	Urban
B11	Common wheat	4	Cropland
B12	Durum wheat	4	Cropland
B13	Barley	4	Cropland
B14	Rye	4	Cropland
B15	Oats	4	Cropland
B16	Maize	4	Cropland
B18	Triticale	4	Cropland
B19	Other cereals	4	Cropland
B21	Potatoes	4	Cropland
B22	Sugar beet	4	Cropland
B31	Other root crops	4	Cropland
B32	Rape and turnip rape	4	Cropland
B33	Soya	4	Cropland
B36	Tobacco	4	Cropland
B37	Other non-permanent industrial crops	4	Cropland
B41	Dry pulses	4	Cropland
B43	Other fresh vegetables	4	Cropland
B51	Clovers	4	Cropland
B52	Lucerne	4	Cropland
B53	Other leguminous and mixtures for fodder	4	Cropland
B55	Temporary grasslands	4	Cropland
B71	Apple fruit	4	Cropland
B72	Pear fruit	4	Cropland
B73	Cherry fruit	4	Cropland
B74	Nuts trees	4	Cropland
B75	Other fruit trees and berries	4	Cropland
B77	Other citrus fruit	4	Cropland
B81	Olive groves	4	Cropland
B82	Vineyards	4	Cropland
B83	Nurseries	4	Cropland
B84	Permanent industrial crops	4	Cropland
Bx1	Unknown	4	Cropland
Bx2	Unknown	4	Cropland

C10	Broadleaved woodland	1	Forests
C2	Conifer woodland	1	Forests
C21	Spruce dominated coniferous woodland	1	Forests
C22	Pine dominated coniferous woodland	1	Forests
C23	Other coniferous woodland	1	Forests
C3	Mixed woodland	1	Forests
C31	Spruce dominated mixed woodland	1	Forests
C32	Pine dominated mixed woodland	1	Forests
C33	Other mixed woodland	1	Forests
D	Shrubland	2	Shrubland
D10	Shrubland with sparse tree cover	1	Forests
D20	Shrubland without tree cover	2	Shrubland
E10	Grassland with sparse tree/shrub cover	1	Forests
E20	Grassland without tree/shrub cover	3	Grassland
E30	Spontaneously re-vegetated surfaces	4	Cropland
F10	Rocks and stones	7	Nofuel
F20	Sand	7	Nofuel
F40	Other bare soil	7	Nofuel
G11	Inland fresh water bodies	7	Nofuel
G21	Inland fresh running water	7	Nofuel
G30	Transitional water bodies	7	Nofuel
G40	Sea and ocean	7	Nofuel
H11	Inland marshes	5	Wet and peat/ semi- peat land
H21	Salt marshes	5	Wet and peat/ semi- peat land
H22	Salines and other chemical deposits	5	Wet and peat/ semi- peat land
H23	Intertidal flats	7	Nofuel

Detaljne rezultate možete pronaći u (Aragoneses et al. 2023a), a ovdje ćemo samo napomenuti da je **ukupna točnost** (engl. *Overall Accuracy*)<sup>3</sup> bila 88,40%, a **Cohenov kappa koeficijent** (engl.  $\kappa$  – *Kappa Coefficient*)<sup>4</sup> koji procjenjuje koliko je klasifikacija bila uspješna u usporedbi sa slučajnim dodjeljivanjem vrijednostima klasa bila 0,789. Na drugoj razini validacije odabrano je 20% od 5016 LUCAS kontrolnih točaka slučajnim izborom, te je za njih napravljena vizualna provjera, sada uzimajući u obzir i druge parametre prve razine klasifikacije goriva. Točnost korisnika je u ovom slučaju bila 81,22%, a kappa

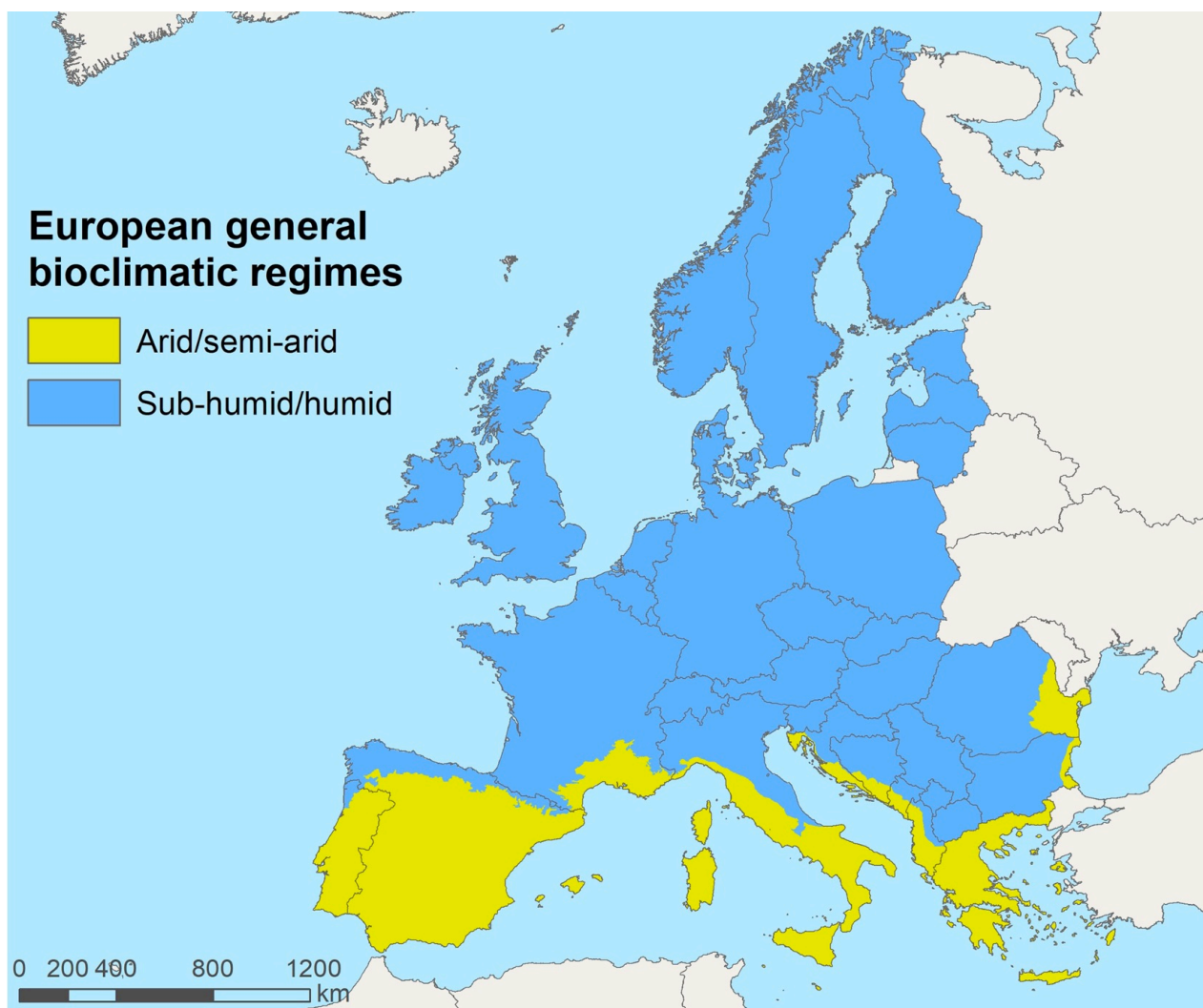
<sup>3</sup> Ukupna točnost se procjenjuje koliko je klasa prikazanih na karti stvarno pogođeno.

<sup>4</sup> Vrijednost Kappa koeficijent može se kretati od -1 do 1. Vrijednost 0 ukazuje na to da klasifikacija nije bolja od slučajne klasifikacije. Negativna vrijednost označava da je klasifikacija znatno lošija od slučajne, a vrijednost blizu 1 ukazuje na to da je klasifikacija znatno bolja od slučajne.



koeficijent 0,718. Iz dobivenih rezultata validacije može se zaključiti da je dobivena 1 km FirEURisk karta goriva zadovoljavajuće točnosti, bar na razini cijele Europe.

Slijedeći korak je određivanje parametara vezanih uz gorenje za FirEURisk klase. Postupak se temeljio na povezivanju FirEURisk klasa i standardnih Scott-Burganovih (FBFMs) klasa za koje postoje razrađeni parametri gorenja (Tablica 3.). Kod izrade korelacijske tablice korištena je i bio-klimatska karta Europe koja dijeli teritorij na dvije regije: sušnu/polu-sušnu (engl. *Arid/Semi-Arid*) i sub-vlažnu/vlažnu (engl. *Sub-Humid/Humid*) regiju. Kartu prikazuje Slika 7.



Slika 7. Podjela Europe na sušnu/polu-sušnu i sub-vlažnu/vlažnu regiju (Aragoneses, 2023b).

Tablica 9 prikazuje korelacijska tablica između FirEURisk i FBFMs (SB) klasa.

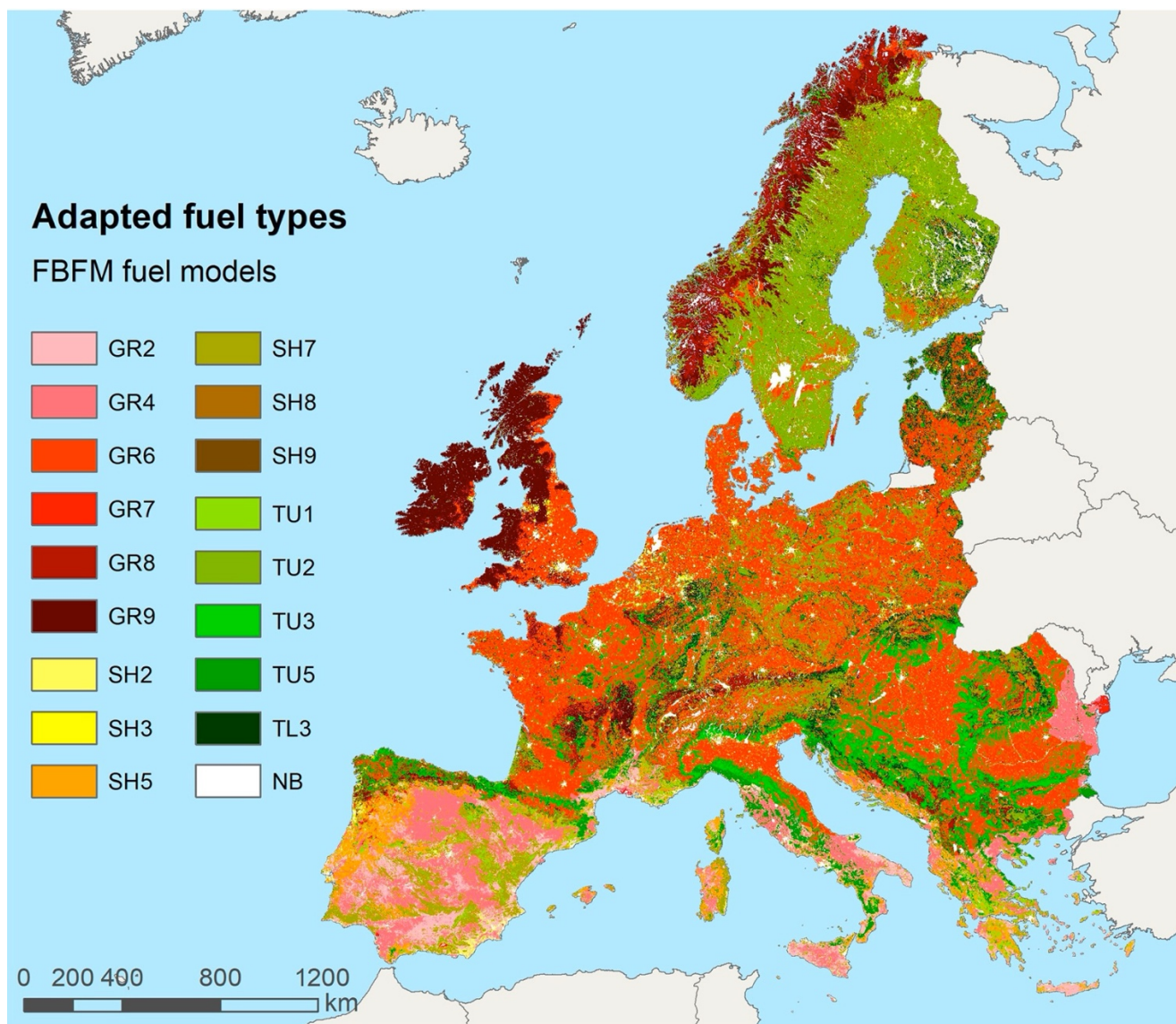
Tablica 9. Korelacija između FirEURisk i FBFMs (SB) klasa. (Aragoneses et al. 2023a).

FirEURisk klase	FBFMs (Scott-Burgan) klase		FirEURisk klase	FBFMs (Scott-Burgan) klase	
	sušno/polu-sušno	sub-vlažno/vlažno		sušno/polu-sušno	sub-vlažno/vlažno
1111	SH7 (147)	SH8 (148)	23	SH5 (145)	SH9 (149)
1112	TU1 (161)	TU2 (162)	31	GR2 (102)	GR6 (106)
1121	SH5 (145)	SH9 (149)	32	GR4 (104)	GR8 (108)
1122	TU5 (165)	TU3 (163)	33	GR7 (107)	GR9 (109)
1211	SH7 (147)	SH8 (148)	41	GR4 (104)	GR6 (106)
1212	TU1 (161)	TU2 (162)	42	GR2 (102)	GR6 (106)
1221	SH5 (145)	SH9 (149)	51	SH7 (147)	SH8 (148)



1222	TU5 (165)	TL3 (183)	52	SH5 (145)	SH9 (149)
1301	SH7 (147)	SH8 (148)	53	GR7 (107)	GR9 (109)
1302	TU5 (165)	TL3 (183)	61	NB (91)	NB (91)
21	SH2 (142)	SH3 (143)	62	SH2 (142)	SH3 (143)
22	SH7 (147)	SH8 (148)	7	NB (91)	NB (91)

FirEURisk karta goriva za područje Europe u rezoluciji 1 km kod koje su FirEURisk klase zamijenjene FBFMs (SB) klasama prikazuje Slika 8. Nakon konverzije 20 FirEURisk klasa se reduciralo na 18 FBFMs (SB) klasa. Parametri gorenja za ova klase dani su u Tablici 3.



Slika 8. FirEURisk karta goriva rezolucije 1 km za područje Europe sa FBFMs (Scott-Burgan) klasama (Aragoneses, 2023b). Ova karta nije na raspolaganju za slobodno preuzimanje.

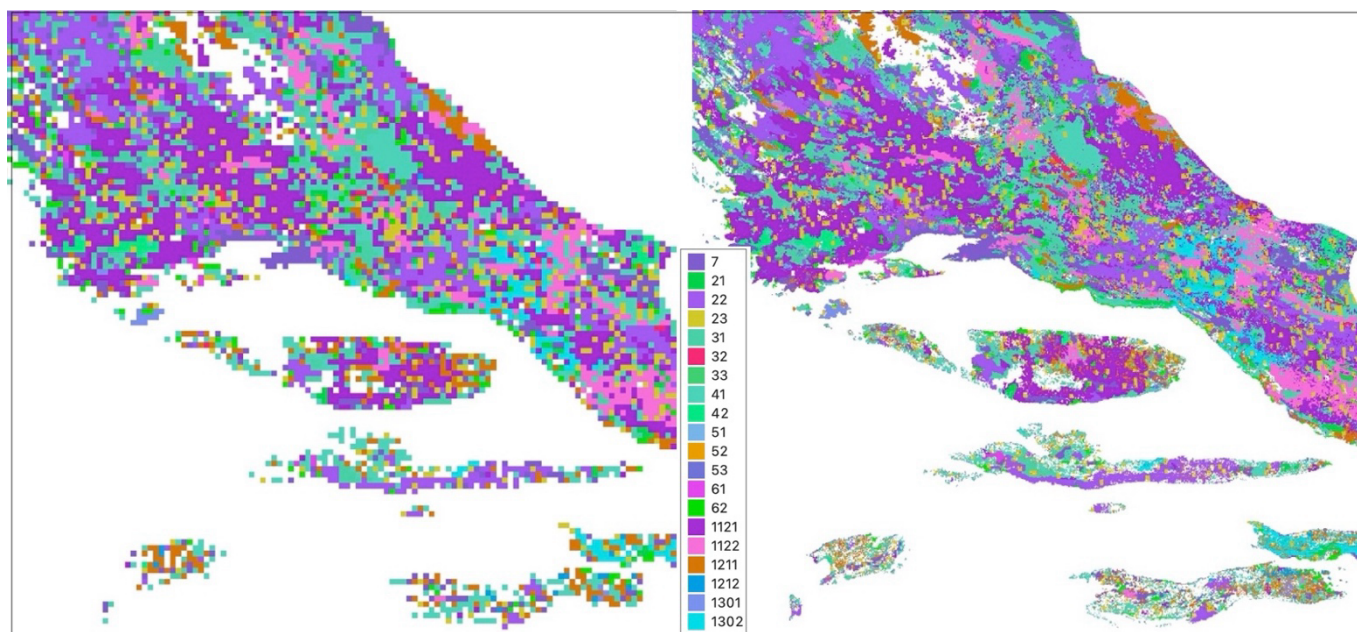
Prema FirEURisk osnovnim klasama u Europi ima 32,67% šumskog zemljišta, 5,42% grmolikog, 11,28% travnatog, 38,70% obradivog, 4,94% močvarnog/tresetišnog, 3,70% urbanog i 3,28% zemljišta bez goriva. Detaljnu analizu po svim FirEURisk klasama i Scott-Burgan klasama možete pronaći u (Aragoneses, 2023b).

## 5. FirEURisk karte goriva za područje Republike Hrvatske

Originalna FirEURisk karta goriva za područje Europe rađena je u rezoluciji od 1 km. Međutim, za lokalne i regionalne primjene, poput onih u Hrvatskoj, potrebna je karta veće razlučivosti kako bi se precizno obuhvatila raznolikost tipova goriva i njihova prostorna distribucija. Karte goriva visoke preciznosti ključne su za učinkovitu procjenu rizika od požara, služeći kao važan alat za planiranje i donošenje odluka. Točnost simulacija širenja i ponašanja požara izravno ovisi o razini detalja karata goriva. Slaba razlučivost karata goriva značajno utječe na pouzdanost procjena rizika i kvalitetu modela širenja požara. Projekt FirEURisk dao je značajan doprinos modeliranju i kartiranju goriva, naglašavajući važnost preciznih i visoko detaljnih podataka za učinkovito upravljanje požarima.

U Hrvatskoj je potreba za kartama goriva visoke rezolucije posebno izražena zbog raznolikosti krajolika i različitog rizika od požara u pojedinim regijama. Obalna područja, karakterizirana mediteranskom vegetacijom, sklona su učestalim požarima, dok kontinentalne regije s drugim tipovima vegetacije imaju specifične izazove. Točne karte goriva ključne su za obje regije kako bi se osigurale učinkovite strategije upravljanja požarima.

Poželjno je da rezolucija karte bude što veća, ali zbog praktičnosti treba se zaustaviti na nekoj rezoluciji. U okviru projekta FirEURisk na razini Europe napravljena je karta rezolucije 1 km, ali na razini pilot područja<sup>5</sup> na kojima su demonstrirani rezultati projekta napravljene su karte rezolucije 100 m, pa smo u toj rezoluciji napravili i karte za Republiku Hrvatskoj. Ilustraciju razlike između karte rezolucije 1 km i 100 m koje će biti predstavljene u ovom poglavlju prikazuje Slika 9. za dio područja Splitsko-Dalmatinske županije.



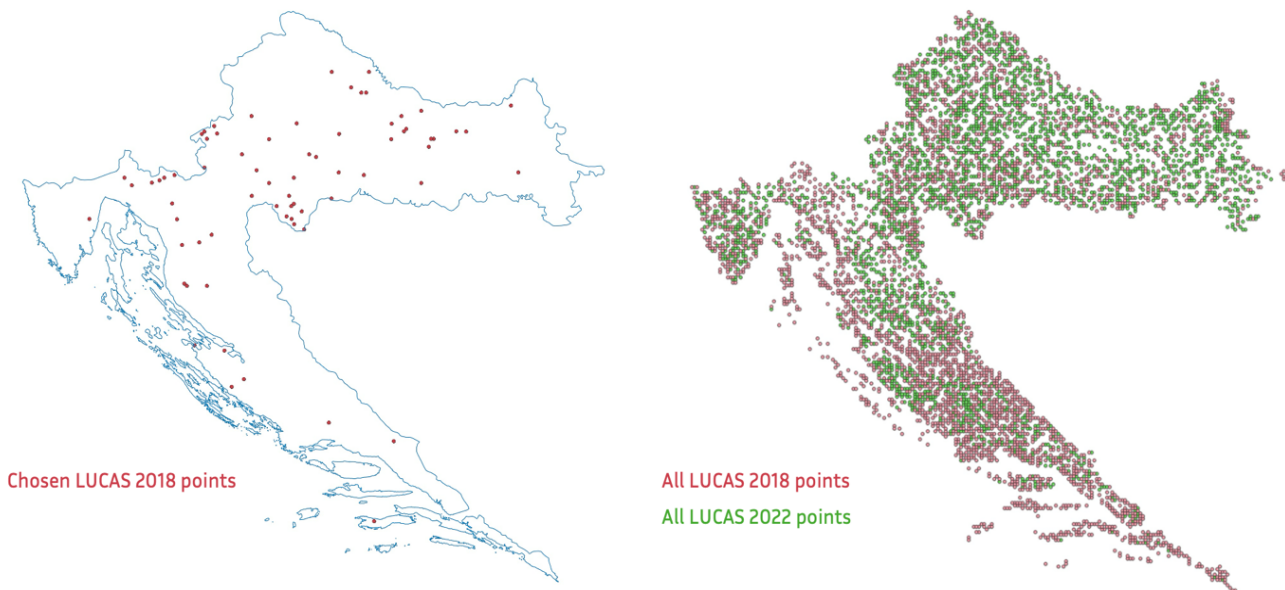
*Slika 9. Usporedba novo izračunatih karti rezolucija 1 km i 100 m za manje područje dijela Splitsko-dalmatinske županije.*

Nadovezujući se na temelje postavljene projektom FirEURisk, istraživači CIPOP-a, a posebno dr.sc. Marin Bugarić, koji je vodio ovaj dio istraživanja, izračunali su i proveli validaciju nove karata goriva Republike Hrvatske s poboljšanom prostornom razlučivošću od 100 metara. Veća razlučivost omogućuje

<sup>5</sup> Projekt FirEURisk je imao 5 pilot područja (engl. *PS – Pilot Sites*): tri na Mediteranu (regija u Portugalu, Španjolskoj i Grčkoj), jedna u centralnom dijelu Europe i jedna na sjeveru u Švedskoj. Više detalja na <https://fireurisk.eu/pilot-sites/>

detaljniji prikaz distribucije goriva u krajobrazu, čime se povećava točnost procjene i upravljanja rizikom od požara. Ovo se poglavlje temelji na radu (Bugarić et al., 2024.) i istraživanjima vezanim uz njega

Izvorna FirEURisk Europska karta goriva ima razlučivost od 1 kilometra. Validirana je pomoću odabranih 5016 LUCAS točaka i drugih resursa, postigavši **točnost korisnika** (UA) od 88,4 % na europskoj razini i 90 % na području Hrvatske. Međutim, samo 70 LUCAS točaka u Hrvatskoj je korišteno za validaciju točnosti te karte (Aragoneses, 2024.), pa smo prije izrade novih karata veće rezolucije proveli detaljniju validaciju za područje Hrvatske. Na području Hrvatske 2018. godine definirano je 4240 LUCAS točaka, a 2022.g. čak 5816 točaka. Slika 10. prikazuje LUCAS točke korištene za validaciju FirEURisk karte, kao i sve LUCAS točke iz 2018. i 2022. dostupne na teritoriju Hrvatske.



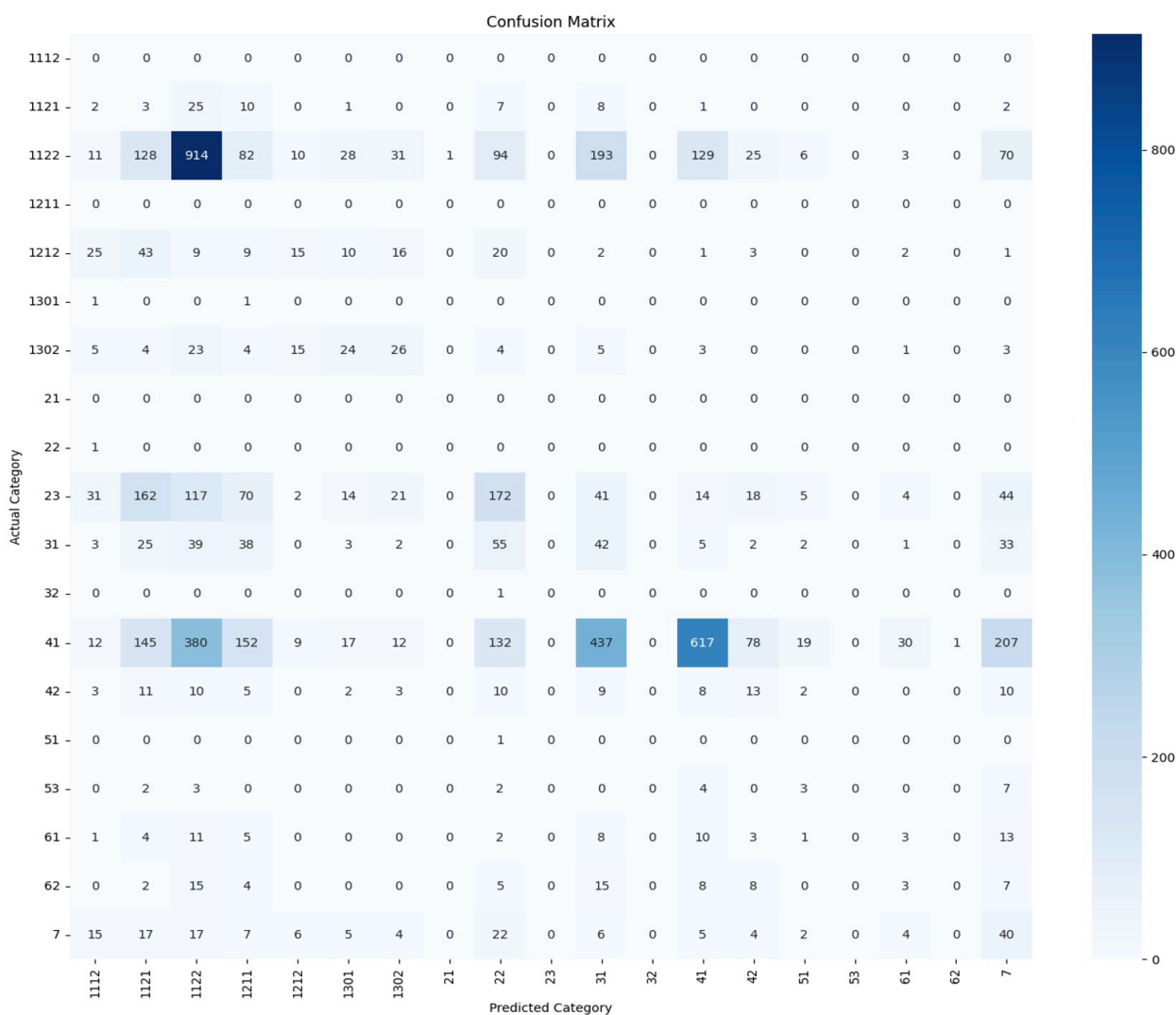
*Slika 10. Lijevo – 70 točaka LUCAS 2018 korištene za validaciju FirEURisk karata goriva. Desno - sve LUCAS točke - 2018 (4240 točaka) i 2022 (5816 točaka) (Bugarić et al., 2024.).*

Najprije je proveden je postupak validacije originalne FirEURisk karte goriva korištenjem svih 4240 točaka iz 2018.g. **Točnost korisnika** (UA) je bila 43,79%, a korištenjem 5816 LUCAS točaka iz 2022. godine samo 29,54 %. Prisjetimo se, točnost korisnika za odabranih 70 točaka je bila 90%. Matrica konfuzije za LUCAS točke iz 2022. godine prikazuje Slika 11.

Analiza rezultata je pokazala da je početna validacija, koja se temeljila samo na ograničenom broju LUCAS točaka, bila previše optimistična, te naglašava potrebu pronalaženja drugačijeg pristupa izrade karti veće rezolucije koje će imati bolju točnost klasifikacije.

U okviru FieEURisk projekta karte veće rezolucije (100 m) računati su za pilot područja (engl. *PS – Pilot Sites*) na kojima su se demonstrirali rezultati projekta. Jedno od tih pilot područja je bilo i područje u okolici Barcelone za koju su partneri projekta sa Sveučilišta u Lleidi (UdL) razvili malo drugačiji postupak za proračun 100 m karti goriva (FirEURisk Del.1.1., 2023.). Kod izračuna 100 m karti Hrvatske korišten je baš njihov postupak uz neke završne dodatke koje smo mi uveli temeljene na strojnom učenju.



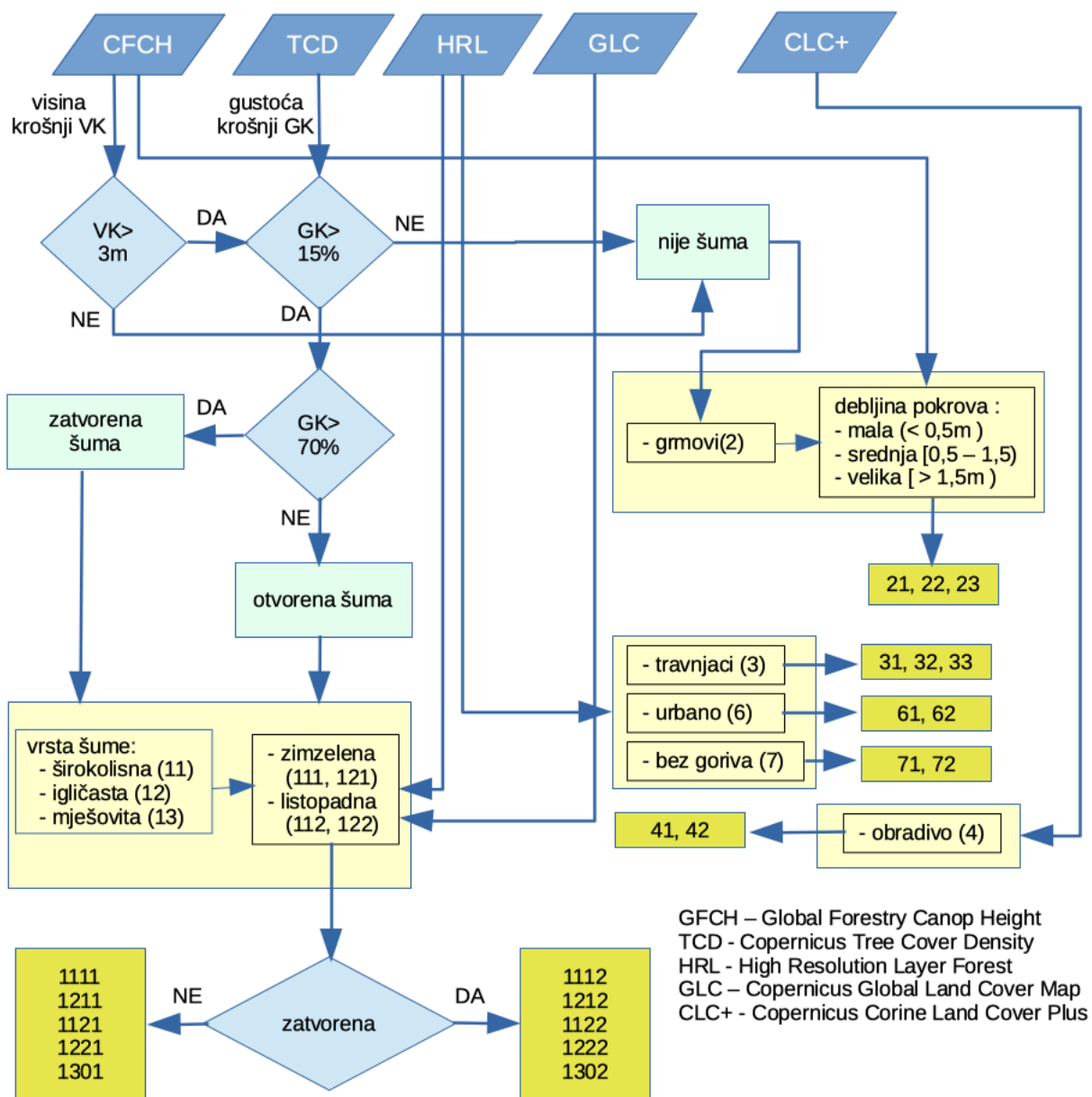


Slika 11. Matrica konfuzije za originalnu FirEUrisk kartu i LUCAS 2022 točke (Bugarić et al., 2024.).

Za izradu novih karata goriva Hrvatske visoke rezolucije korišten je slijedeći skup ulaznih podataka:

- Copernicus gustoća krošnji drveća (pokrivenost) iz 2018. (TCD - Copernicus Tree Cover Density) (Copernicus TCD, 2018.).
- Globalna visina krošnja šuma iz 2019. (GFCH - Global Forest Canopy Height) (Potapov et al., 2020.).
- Copernicus visoko razlučivi sloj sa šumom iz 2018. (HRL - High Resolution Layer Forest Type)(Copernicus HRL, 2018.).
- Copernicus globalna karta pokrova zemljišta iz 2019 - (Copernicus GLC - Global Land Cover Map) (Buchhorn et al., 2020.).
- Copernicus CLC+ backbone (CLC+ - Copernicus Corine Land Cover Plus) (Copernicus CLC+, 2021.).
- De Martonne indeks sušnosti (DeMAI - De Martonne aridity index) (De Martonne, 1926.) koji smo koristili kod prebacivanja FirEUrisk kategorija u FBFMs (Scott-Burgan) kategorije.

Svaki od ovih izvora podataka pridonosi jedinstvenim informacijama koje omogućuju cjelovit pregled distribucije goriva diljem Hrvatske. Dijagram toka postupka prikazuje Slika 12.



Slika 12. Dijagram toka postupka proračuna 100 m FirEURisk karte Hrvatske. Prilagođeno prema (FirEURisk Del.1.1., 2023.).

Dodatna podešavanja izvedena su usporedbom s 5816 LUCAS točaka iz 2022. godine, koristeći optimiziranu konverzijsku tablicu prikazanu u Tablici 10. Kod izrade konverzijske tablice korišteno je ekspertno znanje, veliki jezični modeli i postupak optimizacije temeljen na strojnom učenju.

Tablica 10. Optimizirana korelacijska tablica između LUCAS klasa i FirEURisk osnovnih klasa.

LUCAS_CAT	LUCAS_CAT_TITLE	FirEURisk_CAT	FirEURisk_CAT_TITLE
A11	Buildings with one to three floors	61	Continuous fabric: urban fabric [80-100%]
A12	Buildings with more than three floors	61	Continuous fabric: urban fabric [80-100%]
A13	Greenhouses	62	Discontinuous fabric: vegetation and urban fabric [15-80%]
A21	Non built-up area features	7	Nonfuel

A22	Non built-up linear features	7	Nonfuel
A30	Other artificial areas	61	Continuous fabric: urban fabric [80-100%]
B11	Common wheat	41	Cropland herbaceous
B12	Durum wheat	41	Cropland herbaceous
B13	Barley	41	Cropland herbaceous
B14	Rye	41	Cropland herbaceous
B15	Oats	41	Cropland herbaceous
B16	Maize	41	Cropland herbaceous
B18	Triticale	41	Cropland herbaceous
B19	Other cereals	41	Cropland herbaceous
B21	Potatoes	41	Cropland herbaceous
B22	Sugar beet	41	Cropland herbaceous
B31	Other root crops	41	Cropland herbaceous
B32	Rape and turnip rape	41	Cropland herbaceous
B33	Soya	41	Cropland herbaceous
B36	Tobacco	41	Cropland herbaceous
B37	Other non-permanent industrial crops	41	Cropland herbaceous
B41	Dry pulses	41	Cropland herbaceous
B43	Other fresh vegetables	41	Cropland herbaceous
B51	Clovers	41	Cropland herbaceous
B52	Lucerne	41	Cropland herbaceous
B53	Other leguminous and mixtures for fodder	41	Cropland herbaceous
B55	Temporary grasslands	41	Cropland herbaceous
B71	Apple fruit	42	Cropland woody (shrub-tree)
B72	Pear fruit	42	Cropland woody (shrub-tree)
B73	Cherry fruit	42	Cropland woody (shrub-tree)
B74	Nuts trees	42	Cropland woody (shrub-tree)
B75	Other fruit trees and berries	42	Cropland woody (shrub-tree)
B77	Other citrus fruit	42	Cropland woody (shrub-tree)
B81	Olive groves	42	Cropland woody (shrub-tree)
B82	Vineyards	42	Cropland woody (shrub-tree)
B83	Nurseries	42	Cropland woody (shrub-tree)
B84	Permanent industrial crops	42	Cropland woody (shrub-tree)
Bx1	Unknown	41	Cropland herbaceous
Bx2	Unknown	41	Cropland herbaceous
C10	Broadleaved woodland	1122	Forests - Broadleaf - Deciduous - Close [70-100%]



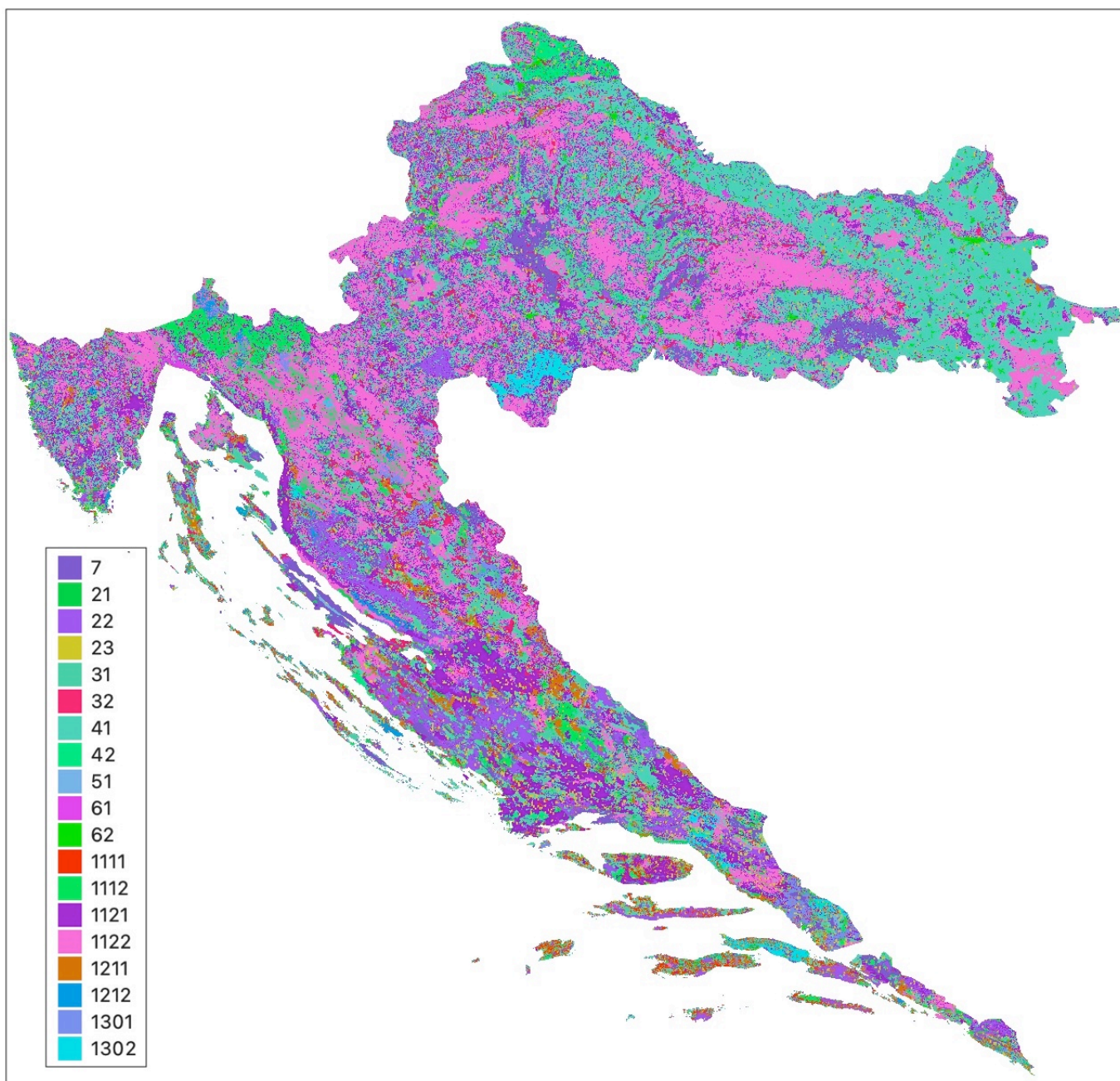
C2	Conifer woodland	1212	Forests - Needleleaved - Evergreen - Close [70-100%]
C21	Spruce dominated coniferous woodland	1212	Forests - Needleleaved - Evergreen - Close [70-100%]
C22	Pine dominated coniferous woodland	1112	Forests - Needleleaved - Evergreen - Close [70-100%]
C23	Other coniferous woodland	1112	Forests - Needleleaved - Evergreen - Close [70-100%]
C3	Mixed woodland	1302	Forests - Mixed - Close [70-100%]
C31	Spruce dominated mixed woodland	1302	Forests - Mixed - Close [70-100%]
C32	Pine dominated mixed woodland	1302	Forests - Mixed - Close [70-100%]
C33	Other mixed woodland	1301	Forests - Mixed - Open [15-70%]
D	Shrubland	21	Shrubland - Low [0-0.5m]
D10	Shrubland with sparse tree cover	1121	Forests - Broadleaf - Deciduous - Open [15-70%]
D20	Shrubland without tree cover	22	Shrubland - Medium [0.5-1.5m]
E10	Grassland with sparse tree/shrub cover	1211	Forests - Needleleaved - Evergreen - Open [15-70%]
E20	Grassland without tree/shrub cover	31	Grassland - Low [0-0.3m]
E30	Spontaneously re-vegetated surfaces	41	Cropland herbaceous
F10	Rocks and stones	7	Nonfuel
F20	Sand	7	Nonfuel
F40	Other bare soil	7	Nonfuel
G11	Inland fresh water bodies	7	Nonfuel
G21	Inland fresh running water	7	Nonfuel
G30	Transitional water bodies	7	Nonfuel
G40	Sea and ocean	7	Nonfuel
H11	Inland marshes	51	Wet and peat/ semi- peat land grassland
H21	Salt marshes	51	Wet and peat/ semi- peat land grassland
H22	Salines and other chemical deposits	51	Wet and peat/ semi- peat land grassland
H23	Intertidal flats	7	Nonfuel

Kao konačan rezultat, izrađene su tri karte u rezoluciji od 100 m:

1. Karta goriva za Hrvatsku s razlučivošću od 100 m s originalnim FirEurisk kategorijama (Slika 13.). Karti Hrvatske sa podjelom na suha/polu-suha i sub-vlažna/vlažna područja prikazuje Slika 14. Karta je računata korištenjem De Martonne indeksa sušnosti (DeMAI - De Martonne aridity index) (De Martonne, 1926.). Za detalje pogledajte tekst ispod Slike 13.
2. Karta goriva za Hrvatsku s razlučivošću od 100 m gdje vegetacijske kategorije u suhim područjima imaju oznaku minusa (Slika 15.).

3. Karta goriva za Hrvatsku s razlučivošću od 100 m gdje su FirEURisk kategorije konvertirane u FBFMs (Scott-Burgan) klase koristeći konverzijsku tablicu prikazanu na slici 5 za sušne (aridne - A) i vlažne (humidne - H) zone (Slika 16.).

Sve tri karte su dostupne na stranicama CIPOP-a (<https://cipop.fesb.hr>).

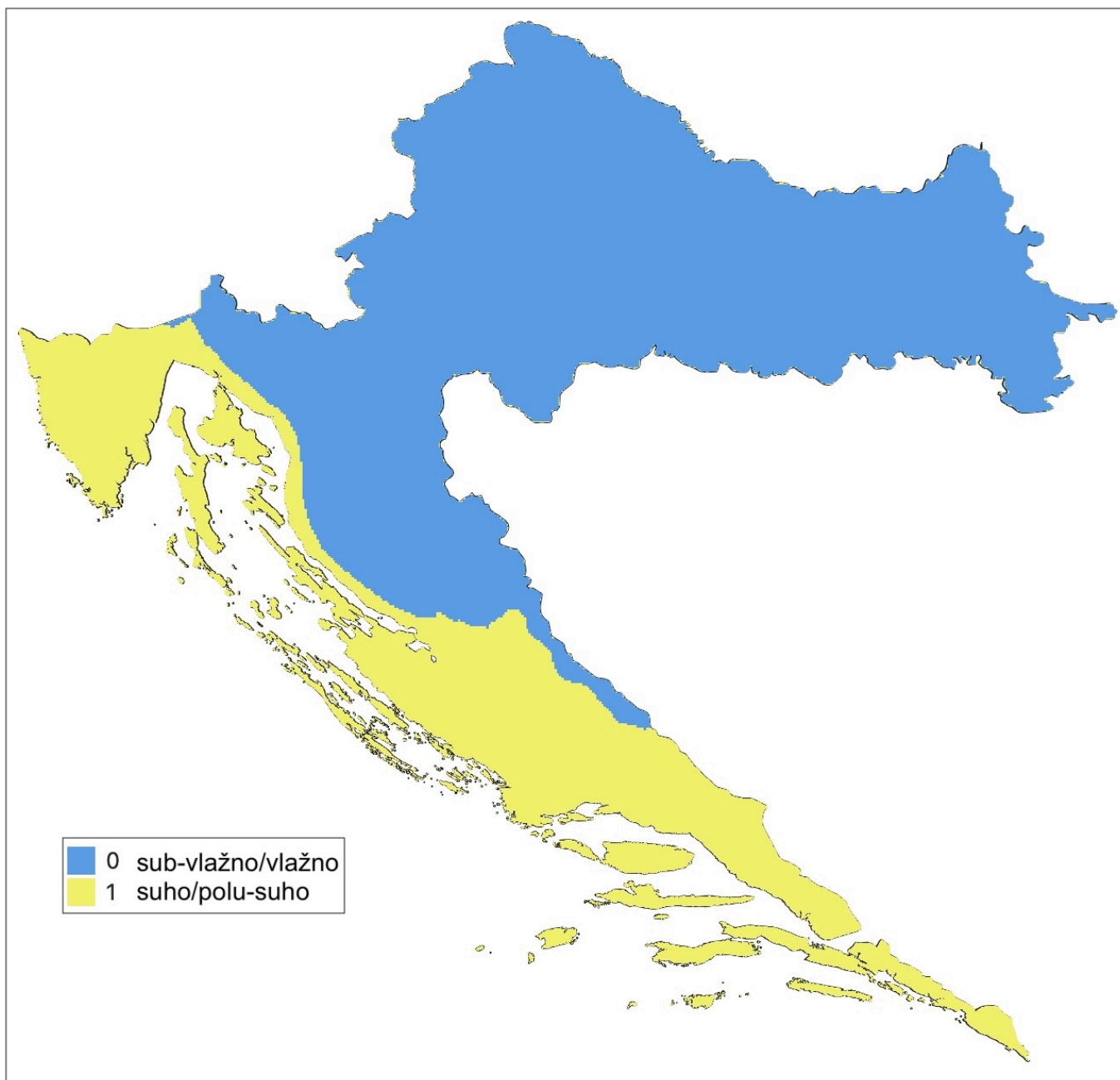


Slika 13. FirEURisk karte Hrvatske u razlučivosti 100 m.

Sušne/polu-sušne i sub-vlažne/vlažne zone se određuju pomoću De Martonne indeksa, koji je prvi put uveden 1926. godine (De Martonne, 1926.), ali se i dalje koristi za detekciju vlažnih/sušnih zona (Pellicone et al., 2019.). De Martonne indeks aridnosti ( $I_{DM}$ ) vrlo je jednostavno definiran kao:

$$I_{DM} = P / (T_a + 10)$$

gdje je P godišnja količina padalina u mm, a  $T_a$  srednja godišnja temperatura zraka u °C.



Slika 14. Karta Hrvatske s podjelom na suha/polu-suha i sub-vlažna/vlažna područja.

Prema De Martonne-u, tip klime (vlažna ili sušna) definira se prema vrijednostima u Tablici 11.

Tablica 11. Definicija De Martonne-ovog tipa klime prema indeksu sušnosti (aridnosti).

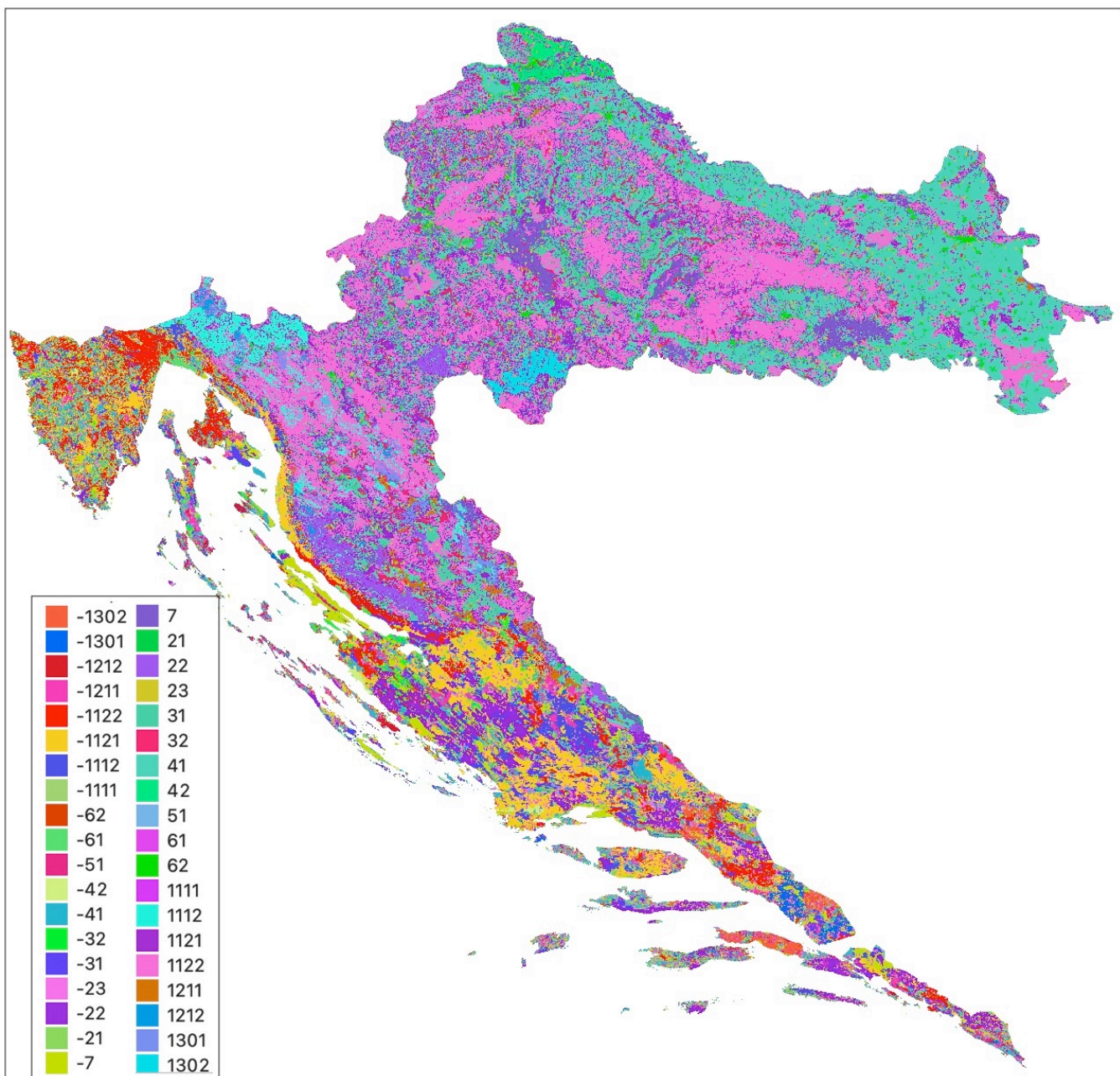
tipovi klime	vrijednost
polu-suha (engl. <i>Semi-arid</i> )	$15 \leq I_{DM} < 24$
umjereno suha mediteranska (engl. <i>Moderately-arid Mediterranean</i> )	$24 \leq I_{DM} < 30$
malo suha (engl. <i>Slightly-arid</i> )	$30 \leq I_{DM} < 35$
umjereno vlažna (engl. <i>Moderately-humid</i> )	$35 \leq I_{DM} < 40$
vlažna (engl. <i>Humid</i> )	$40 \leq I_{DM} < 50$
vrlo-vlažna (engl. <i>Very-humid</i> )	$50 \leq I_{DM} < 60$
prekomjerno vlažna (engl. <i>Excessively-humid</i> )	$60 \leq I_{DM} < 187$

Za konverziju između novih FirEurisk kategorija goriva za EU i Scott-Burgan FBFMs kategorija potrebno je razlikovati samo dvije zone:

- **Sušna/polu-sušna zona** ako je  $I < 35$ ,
- **Sub-vlažna/vlažna zona** ako je  $I \geq 35$ .

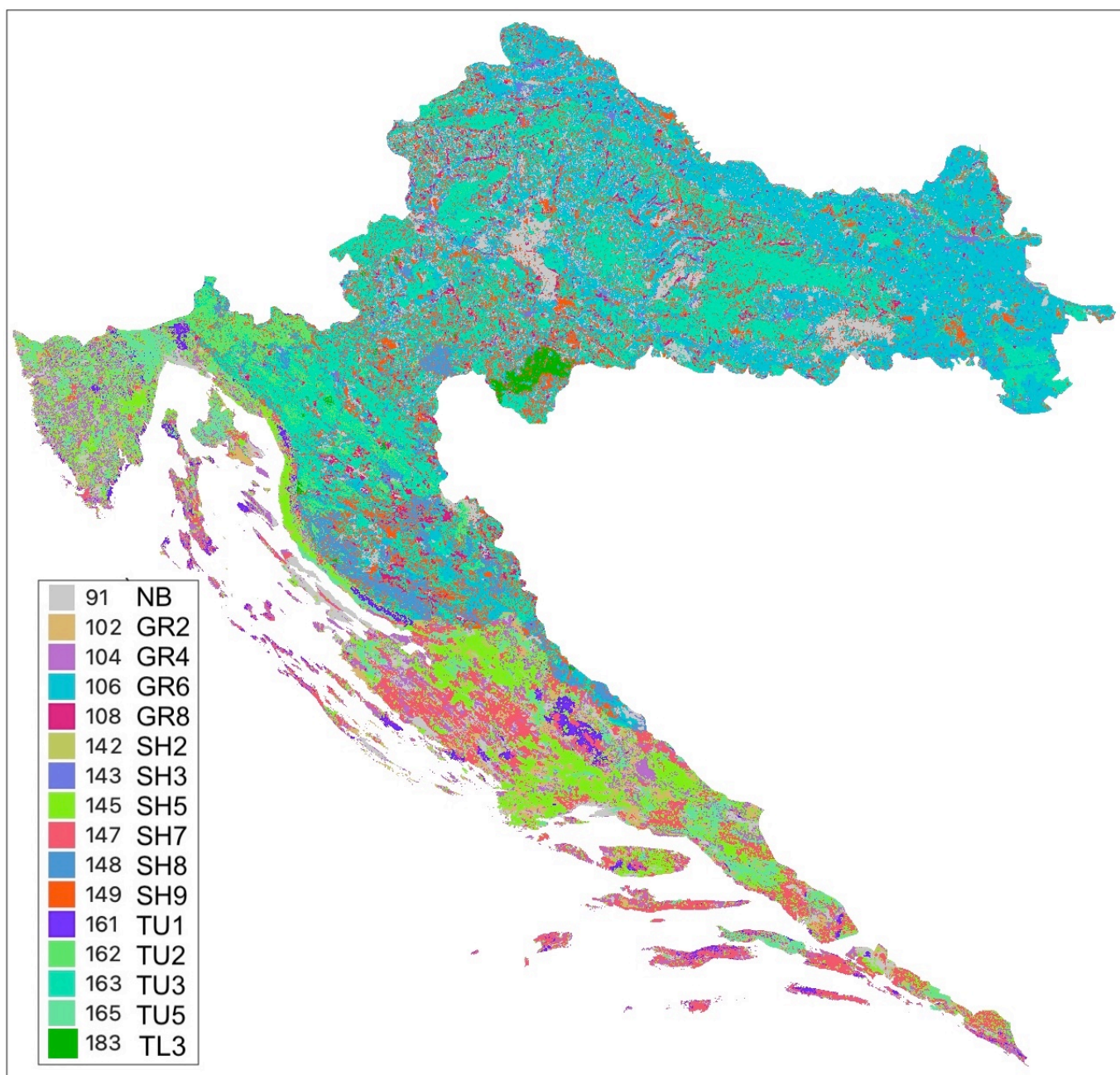
Varijable **P** (godišnja količina padalina u mm) i **T<sub>a</sub>** (srednja godišnja temperatura zraka u °C) mogu se pronaći na web stranici **WorldClim** (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>), gdje se nalazi GeoTIFF datoteka s prosječnim bioklimatskim varijablama za razdoblje 1970.–2000. (Fick & Hijmans, 2017.). Za De Martonne indeks potrebne su sljedeće varijable:

- **BIO1** – Srednja godišnja temperatura (Annual Mean Temperature)
- **BIO12** – Godišnje padaline (Annual Precipitation).



Slika 15. FirEurisk karte Hrvatske u razlučivosti 100 m kod koje klase u suhim područjima imaju predznak minus.





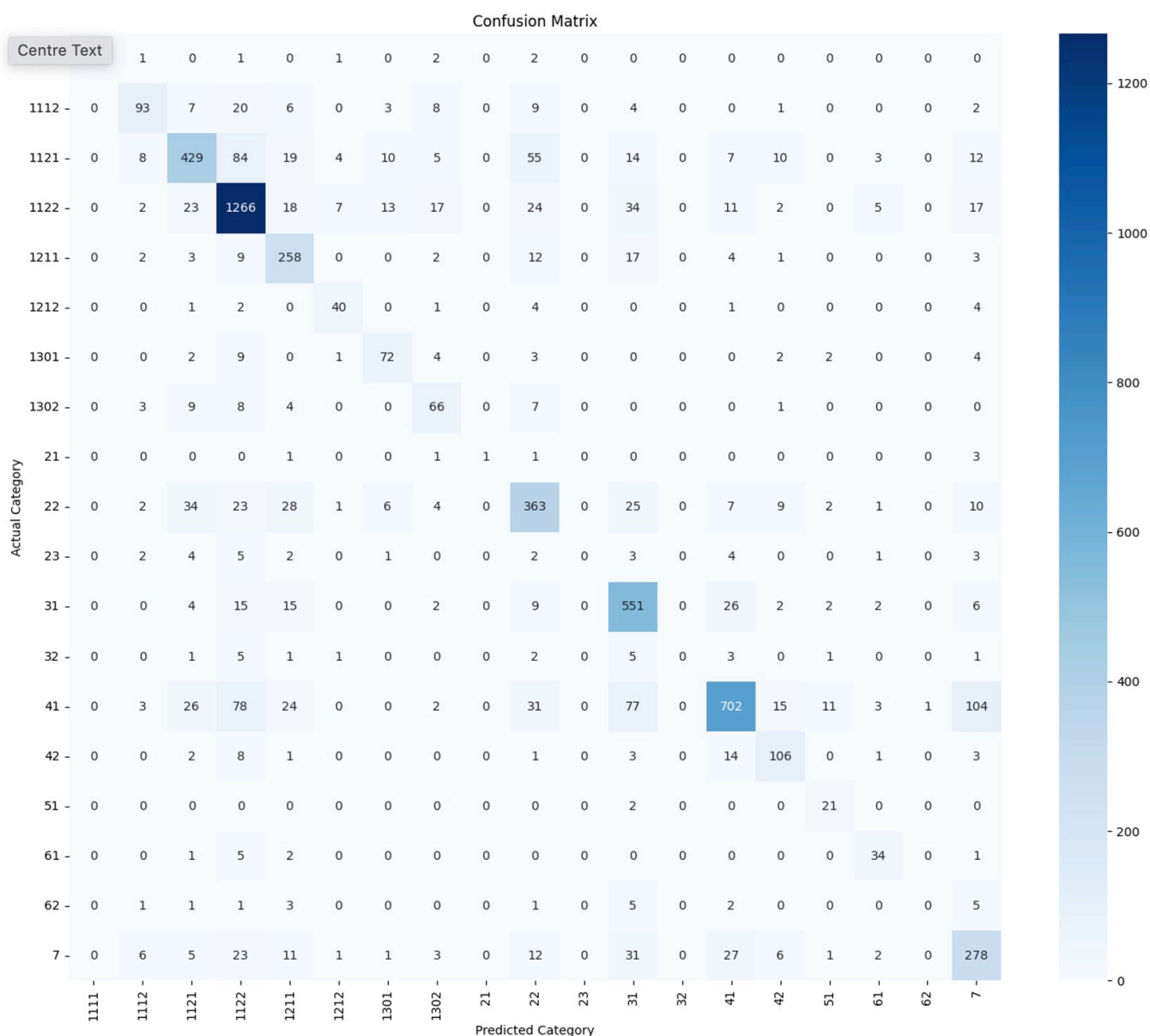
Slika 16. FirEUrisk karte Hrvatske u razlučivosti 100 m s FBFMs (Sott-Burgan) klasama (Bugarić et al., 2024.).

Proces validacije uključivao je podatke specifične za regije kako bi se osiguralo da nove karte visoke rezolucije točno prikazuju lokalne uvjete i varijacije u vegetaciji i pokrovu tla. Validacija je provedena koristeći najnovije dostupne izvore podataka, a novije LUCAS točke iz 2022. godine poslužile su kao referentni skup podataka za usporedbu. Validacija je provedena za sve tipove goriva korištenjem korelacijske Tablice 10. za povezivanje LUCAS i FirEUrisk klasa. Rezultate prikazuje Tablica 12. u kojoj smo usporedili ukupnu točnost novih 100 m karti Hrvatske i originalnih 1 km karti na 5816 točaka LUCAS 2022.

Tablica 12. Mjere novih 100m FirEUrisk karata i usporedba s originalnim 1km mapama.

karte	100m HR NOVA	1km HR originalna
ukupna točnost	74,68%	29,54%

Matrica konfuzije za LUCAS točke iz 2022. godine prikazuje Slika 17. Rezultati su sada puno bolji. Na dijagonali koja odgovara dobro klasama koje se poklapaju s referentnim točkama je najviše ispitanih točaka, kako bi i trebalo biti. Slika 18. prikazuje mjere kvalitete<sup>6</sup> za pojedine klase.



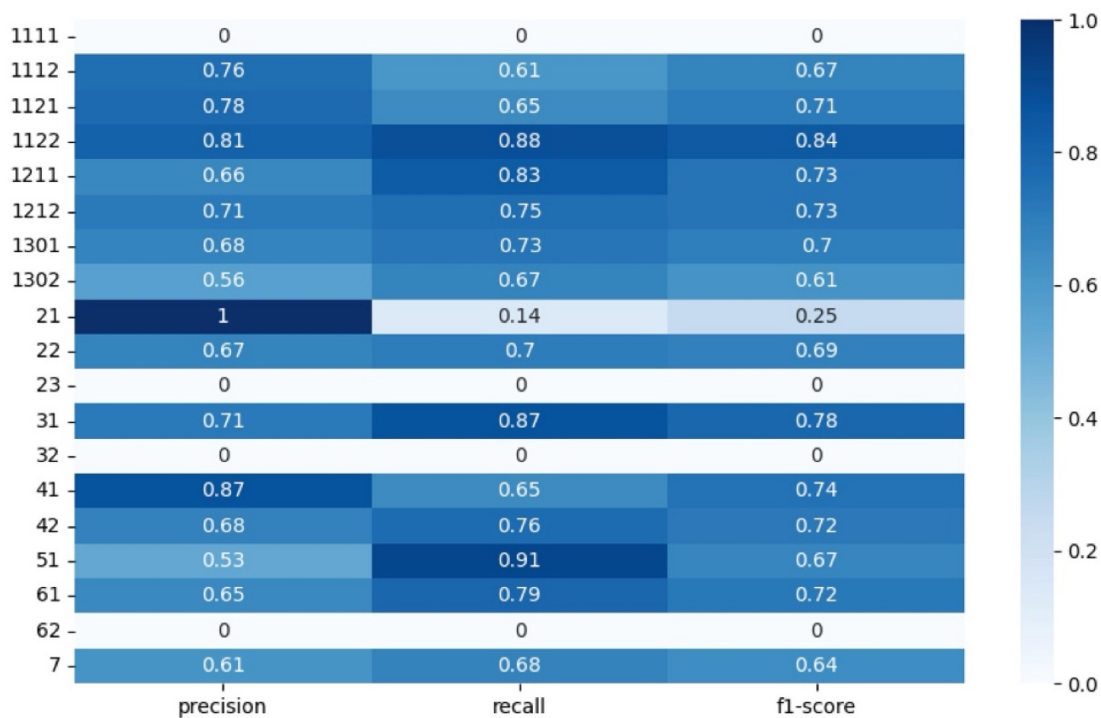
Slika 17. Matrica konfuzije za novo izračunatu 100 m FirEURisk kartu i LUCAS 2022 točke (Bugarić et al., 2024.).

<sup>6</sup> **Preciznost** (engl. *Precision*) mjeri točnost pozitivnih klasifikacija. Ako su TP – pravilno klasificirane klase (engl. *True Positive*), FP – pogrešno klasificirane klase (engl. *False Positive*), TN – pravilno ne-klasificirane klase (engl. *True Negative*), FN – pogrešno ne-klasificirane klase (engl. *False Negative*), preciznost se računa izrazom  $preciznost = TP/(TP+FP)$ .

**Osjetljivost** (engl. *Recall*) mjeri sposobnost ispravnih klasifikacija. Računa se izrazom  $osjetljivost = TP/(TP+FN)$ .

**f1-score** kombinira precision i odziv u jednu vrijednost:  $f1-score = 2(preciznost \cdot odziv)/(preciznost + odziv)$ .





Slika 18. Mjere kvalitete za sve klase novo izračunate 100 m FirEURisk kartu u odnosu na LUCAS 2022.

Novе karte nisu idealne. Sustav klasifikacije još uvijek griješi posebno za neke klase, što se najbolje vidi iz matrice konfuzije na Slici 17. Na primjer klasa 1121 (otvorene listopadne širokolisne šume) se u 84 slučaja miješala s klasom 1122 (zatvorene listopadne širokolisne šume) ili klasa 41 (obradivo zemljište – zeljasti usjevi) je u 104 slučaja detektirana kao zemljište bez goriva. To ostavlja prostor za daljnja unaprjeđenja kojih će, nadamo se, u budućnosti svakako biti, a posebno na način da se provede i postupak ručne validacije korištenjem što više LUCAS fotografija i Google Street View pogleda. Primjer usporedbe LUCAS 2022. fotografija i Google Street View prikazuje Slika 19.



Slika 19. Završna ručna validacija usporedbom LUCAS 2022 fotografija (lijevo) i Google Street View (desno).

Posebno bi bilo važno raditi redovite provjere kada izađu novi LUCAS podaci. Upravo zbog toga, kao posebni dokument, izradili smo vodič indirektnе vizualne metode za klasifikaciju vegetacije u odnosu na karakteristike gorenja temeljene na fotografskim tehnikama (Stipaničev et al., 2024.). Vodič se temeljio na internom FirEURisk izvještaju nastalom tijekom rada na novim FirEURisk modelima (Bacciu et al., 2022.),

te radova suradnika CIPOP-a, posebno tijekom izrade magistarskog rada Marka Krište: „Sustav za generiranje sintetičkih slika vegetacijskih klasa prema karakteristikama gorenja“ (Krišto, 2024.)

Statistička analiza novo dobivenih karti Hrvatske prikazana je u Tablicama 13. i 14.

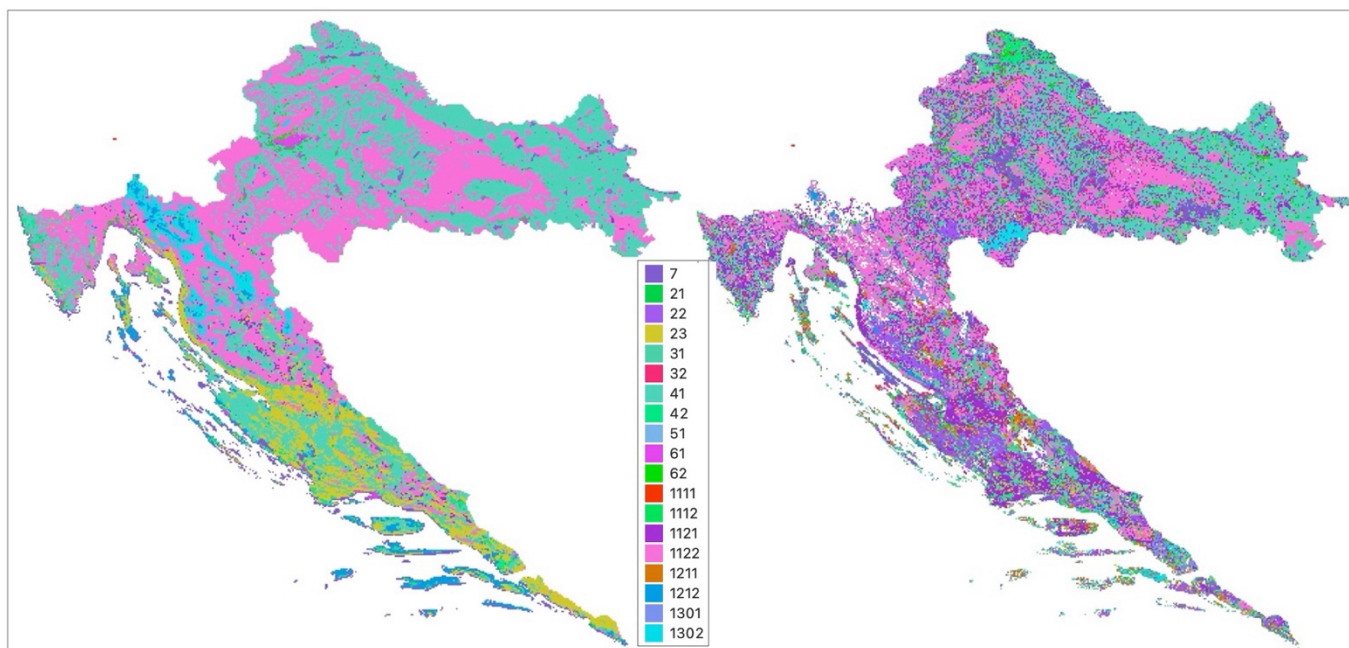
*Tablica 13. Statistička analiza FirEUrisk klasa novo izrađene 100 m karte Hrvatske.*

FirEUrisk klasa	naziv klase	postotak (%)	površina (km <sup>2</sup> )
1111	šuma – širokolisna – zimzelena - otvorena [15-70%]	1,20%	682,7
1112	šuma – širokolisna – zimzelena - zatvorena [70-100%]	2,95%	1679,4
1121	šuma – širokolisna – listopadna - otvorena [15-70%]	15,52%	8842,61
1122	šuma – širokolisna – listopadna - zatvorena [70-100%]	22,25%	12681,98
1211	šuma – igličasta – zimzelena - otvorena [15-70%]	2,21%	1257,36
1212	šuma – igličasta – zimzelena - zatvorena [70-100%]	0,60%	342,24
1301	šuma – miješana - otvorena [15-70%]	0,75%	429,99
1302	šuma – miješana - zatvorena [70-100%]	1,02%	579,76
21	grmoliko raslinje – malo [0-0.5m]	0,44%	251,31
22	grmoliko raslinje – srednje [0.5-1.5m]	4,12%	2345,85
23	grmoliko raslinje – veliko [≥ 1,5m]	3,33%	1894,95
31	travnjaci - mali [0-0.3m]	4,07%	2317,08
32	travnjaci – srednji [0,3-0,7m]	2,58%	1469,98
41	obradivo zemljište - zeljasti usjevi	26,70%	15216,69
42	obradivo zemljište - drvenasti usjevi (grmovi – stabla)	0,86%	491,29
51	močvare i tresetišta/ polu-tresetišta – močvarne šume	0,05%	29,65
61	kontinuirano urbano područje s urbanom pokrivenosti [≥ 80%]	0,28%	157,87
62	diskontinuirano urbano područje s urbanom pokrivenosti [15-80%]	2,48%	1412,17
7	bez goriva	8,61%	4904,5

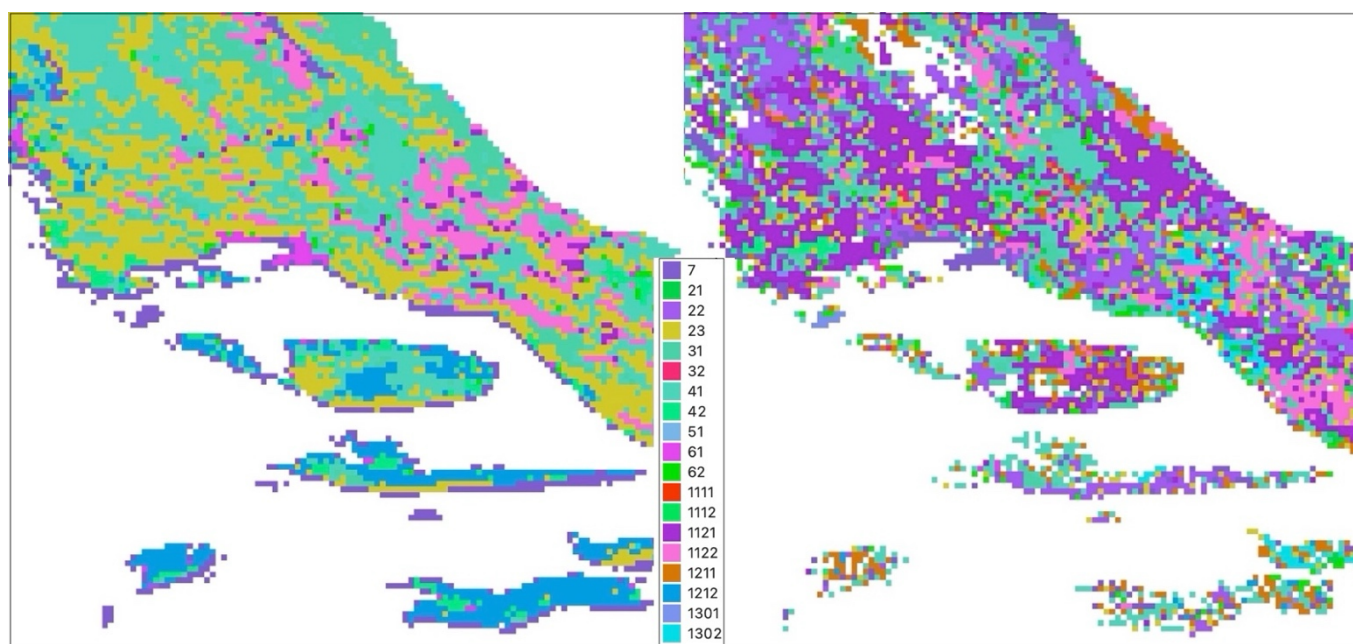
*Tablica 14. Statistička analiza Scott-Burgan klasa novo izrađene 100 m karte Hrvatske.*

SB klasa	šifra	postotak (%)	površina (km <sup>2</sup> )
GR2	102	1,91%	1086,38
GR4	104	5,64%	3206,22
GR6	106	24,65%	14006,35
GR8	108	2,00%	1137,91
SH2	142	1,28%	724,68
SH3	143	1,63%	927,39
SH5	145	8,03%	4563,03
SH7	147	5,99%	3403,22
SH8	148	2,34%	1327,24
SH9	149	10,84%	6161,09
TU1	161	1,34%	763,72
TU2	162	2,20%	1251,78
TU3	163	19,00%	10791,55
TU5	165	3,80%	2158,60
TL3	183	0,53%	302,39
NB	91	8,80%	4998,88

Zanimljiva je i usporedba originalne FirEUrisk karte i nove karte Hrvatske. Da bi se usporedba mogla provesti, prvo je bilo potrebno 100 m katu prebaciti u rezoluciju 1 km. Slika 20. prikazuje rezultat u usporedbi s originalnom 1 km kartom FirEUrisk. Razlika je jasno uočljiva, a još više na Slici 21. koja prikazuje samo Splitsko – dalmatinsku županiju. Prisjetimo se da je točnost korisnika originalne kate za 5816 LUCAS točaka iz 2022. godine bila samo 29,54%, dok je za novo izrađenu kartu u rezoluciji od 1 km 70%, a za novo izrađenu kartu rezolucije 100 m 74,68%.



Slika 19. Originalna 1km FirEURisk karta goriva Hrvatske (lijevo) i nova 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).



Slika 20. Originalna 1km FirEURisk karta goriva Splitsko-dalmatinske županije (lijevo) i nova 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

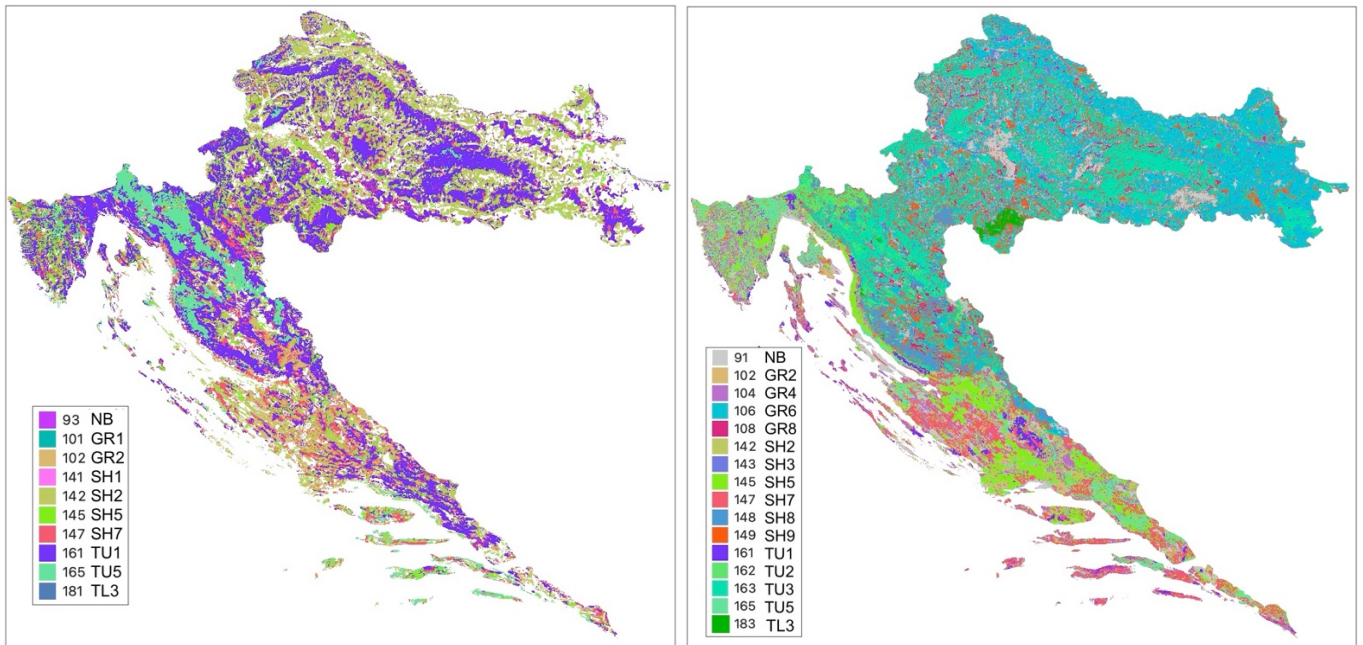
Na kraju pokažimo i razliku do sada korištenih karata goriva dobivene primjenom jednostavne korelacijske tablice između Corine Land Cover Land Use (CLC) klasa i FBFMs (Scott-Burgan) klasa (Bugarić et al., 2018.) prikazanom u Tablici 15. Usporedba ne možemo napraviti sa FirEURisk klasama, zato što konverzijska tablica (Tablica 9.) sa FBFMs klasa na FirEURisk klase nije jednoznačna. Na primjer klasa SH7 odgovara čak pet FirEURisk klasa (1111, 1211, 1301, 22, 51), pa je konverzija sa FBFMs na FirEURisk klase nemoguća.



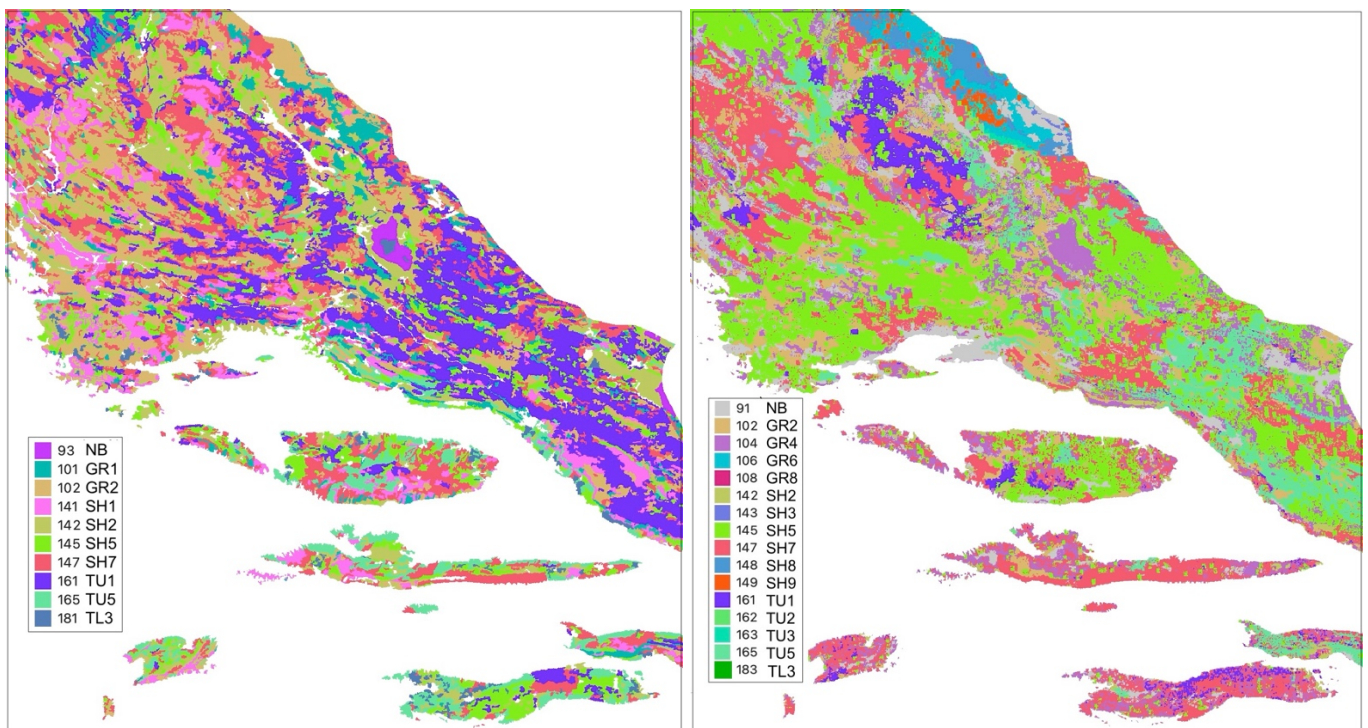
Tablica 15. Korelacijska tablica između CLC klasa i FBFMs klasa koja se koristila u izradi postojećih karti goriva Hrvatske (Bugarić et al., 2018.).

CLC klase	CLC opis	FBFMs (Scott-Burgan) klasa	FBFMs opis
111 do 142	izgrađene površine	NB1 (91 )	urbano područje
211 do 213	oranice	NB3 (93 )	poljoprivredno zemljište
221	vinogradi	SH2( 142)	umjereni sloj grmolike vegetacije bez trave
222	voćnjaci	TL1 (181 )	mrtva drvenasta vegetacija ispod šumskih krošnji – gorivi sloj mali ili umjeren
223	maslinici	TL1 (181 )	mrtva drvenasta vegetacija ispod šumskih krošnji – gorivi sloj mali ili umjeren
231	pašnjaci	GR1 (101)	kratka trava u suhoj klimi
241	miješane godišnje i višegodišnje kulture	GR1 (101)	kratka trava u suhoj klimi
242	miješane kulture	SH2 (142)	umjereni sloj grmolike vegetacije bez trave
243	miješano poljoprivredne kulture i prirodna vegetacija	SH5 (145)	veliki grmoliki sloj
244	agro-šumarstvo	TL1 (181)	mrtva drvenasta vegetacija ispod šumskih krošnji – gorivi sloj mali ili umjeren
311	šume - bjelogorica	TU1 (161)	trava ili grmlje miješani s mrtvim materijalom otpalim sa krošnji - gorivi sloj je mali i sastoji se od trave, grmlja i otpadnog materijala
312	šume - crnogorica	TU5 (165)	trava ili grmlje miješani s mrtvim materijalom otpalim sa krošnji - gorivi sloj su velike četinjače s travom ili mahovinom u podnožju
313	šume - miješovite	TU5 (165)	trava ili grmlje miješani s mrtvim materijalom otpalim sa krošnji - gorivi sloj su velike četinjače s travom ili mahovinom u podnožju
321	livade	GR2 (102)	srednja trava u suhoj klimi
322	grmlje	SH2 (142)	umjereni sloj grmolike vegetacije bez trave
323	makija (sklerofilna vegetacija)	SH1 (141)	nisko grmlje s malo trave
324	degradirana šuma	SH7 (147)	vrlo veliki grmoliki sloj
331 do 332	površine bez vegetacije (plaže, dine, kamenjar)	NB9 (99)	ogoljeno zemljište
333	površine s rijetkom vegetacijom	GR1 (101)	kratka trava u suhoj klimi
334	opožarene površine	NB2 (92)	snijeg / led
335	ledenjaci i trajni snijeg	NB8 (98)	otvorene vode
411 do 523	močvarne i vodene površine	NB8 (98)	otvorene vode

Slika 21. prikazuje novu FirEURisk kartu sa FBFMs (SB) klasama u usporedbi sa starom kartom temeljenom samo na korelaciji prema CLC klasama. Nove karte kao ulaz koriste puno više različitih slojeva (vidi Sliku 12.). Razlika je vidljiva, od toga da se u starim kartama pojavljuje manje FBFMs klasa, pa do drugačijeg rasporeda pojedinih klasa. Povećani dio obje karte za Splitsko – dalmatinsku županiju prikazuje Slika 22. Boje regija za iste klase su na obje karte iste.



Slika 21. Stara 100 m karta goriva Hrvatske temeljena samo na pretvorbi Corine Land Cover (CLC) klasa(lijevo) i nova 100 m FirEUrisk karta za FBFMs (Scott-Burgan) klase (desno).



Slika 22. Stara 100 m karta goriva Splitsko-dalmatinske županije temeljena samo na pretvorbi Corine Land Cover (CLC) klasa(lijevo) i nova 100 m FirEUrisk karta za FBFMs (Scott-Burgan) klase (desno).

## 6. Zaključak

Poboljšana točnost karata visoke rezolucije ima nekoliko praktičnih implikacija:

- Omogućuje precizniju alokaciju resursa za gašenje požara, osiguravajući da visokorizična područja dobiju potrebnu pažnju.
- Poboljšava točnost simulacija širenja požara, koje su ključne za pravovremeni odgovor i dugoročno planiranje.
- Pruža pouzdaniju osnovu za planiranje zaštite okoliša i očuvanje, osiguravajući da strategije upravljanja požarima budu usklađene sa širim ciljevima zaštite okoliša.

Pružajući detaljniji i točniji prikaz distribucije goriva, nove karte goriva Republike Hrvatske rezolucije 100 m predstavljaju značajan napredak u preciznosti i primjenjivosti strategija procjene rizika i upravljanja požarima u Hrvatskoj. Ovi napori pridonose održivijem i sigurnijem suživotu s uvijek prisutnom prijetnjom požara. Napomenimo i to da su do sada za potrebe procjene rizika i simulacije širenja požara korištene karte goriva dobivene primjenom jednostavne korelacijske tablice između Corine Land Cover Land Use (CLC) klasa i Scott-Burgan klasa (Bugarić et al., 2018.). Kod novih karata CLC je samo jedan od ulaznih podataka.

Nova karta goriva visoke rezolucije FirEUrisk za Republiku Hrvatsku slobodno dostupne na našem portalu, pružajući vrijedan resurs istraživačima, donositeljima odluka i stručnjacima za upravljanje požarima. Karte Hrvatske se mogu slobodno skinuti s našeg Web portala, a u slučaju njihovog korištenja molimo postupanje u skladu s Copyrightom.

Kako nove karte nisu idealne zato što sustav automatske klasifikacije još uvijek griješi posebno za neke klase, što se najbolje vidi iz matrice konfuzije na Slici 17. To ostavlja prostor za daljnja unaprjeđenja kojih će, nadamo se, u budućnosti svakako biti, a posebno na način da se intenzivira postupak ručne validacije korištenjem LUCAS fotografija i Google Street View. Posebno bi bilo važno raditi redovite provjere kada izađu novi LUCAS podaci.

Upravo zbog toga, kao posebni dokument, izradili smo vodič indirektno vizualne metode za klasifikaciju vegetacije u odnosu na karakteristike gorenja temeljene na fotografskim tehnikama. Vodič se temeljio na internom FirEUrisk izvještaju nastalom tijekom rada na novim FirEUrisk modelima (Bacciu et al., 2022.), te radova suradnika CIPOP-a, posebno tijekom izrade magistarskog rada Marka Krište: „Sustav za generiranje sintetičkih slika vegetacijskih klasa prema karakteristikama gorenja“ (Krišto, 2024.). Nadamo se da će to potaknuti i druge istraživače na unaprjeđenje karti goriva za teritorij Republike Hrvatske, te da će i te karte svima biti javno dostupne kao i ove karte koje smo izradili tijekom rada na projektu FirEUrisk.

Istraživanje u ovom radu financirano je iz programa Obzor 2020 Europske unije za istraživanje i inovacije (ugovor br. 101003890 – projekt FirEUrisk). Ovo je jedan od diseminacijskih dokumenata koji smo napravili na temelju istraživanja provedenih tijekom projekta FirEUrisk. Posebna zahvala Fermínu Alcaseni i Pereu Joanu Gelabertu Vadillu na njihovoj pomoći pri izradi karata goriva.



## 7. Literatura

- (Albini & Forest, 1976.) Albini, Frank A, & Forest, Intermountain. (1976.) Estimating wildfire behavior and effects. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, Utah: Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 p.
- (Anderson *et al.*, 1982.) Anderson, DH, Catchpole, EA, De Mestre, NJ, & Parkes, T. (1982.) Modelling the spread of grass fires. The Journal of the Australian Mathematical Society. Series B. Applied Mathematics, 23(04.), 451–466.
- (Anderson, 1982.) Anderson, Hal E. (1982.) Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. The Bark Beetles, Fuels, and Fire Bibliography, 143.
- (Aragoneses & Chuvieco, 2021.) Aragoneses, E., Chuvieco, E. (2021.) Generation and Types (FBFT); Iberian Peninsula; FirEURisk; Sentinel-3 Synergy Mapping of Fuel Types for Fire Risk Assessment. Fire 2021, 4, 59. <https://doi.org/10.3390/fire4030059>
- (Aragoneses et al., 2023a.) Aragoneses E., Chuvieco E., Garcia M. (2023.) Product User Manual for the FirEURisk European fuel map, University of Alcalá, UAH, FirEURisk Report
- (Aragoneses et al., 2023b.) Aragoneses, E., García, M., Salis, M., Ribeiro, L. M., and Chuvieco, E. (2023.) 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>
- (Aragoneses, 2024.) Aragoneses, E., (2024.) Personal communication about validation of FirEURisk new fuel maps (Stipaničev)
- (Bacciu et. al., 2022.) Bacciu, V., Pellizzaro, G., Salis, M., Arca, B., Ventura, A., Scarpa, C., Del Giudice, L., Duce, P., (2022.) Fuel sampling and classification approaches, FirEURisk Internal Report, 01.08.2022.
- (Barnes-Dummond, 2005.) Community Wildfire Protection Plan for the Towns of Barnes and Drummond (2005.), The Northwest Regional Planning Commission  
<http://www.nwrpc.com/DocumentCenter/View/126/CWPP-Update-Documents-Final-LRES?bidId=>
- (Buchhorn et al., 2020.) Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N.-E., Herold, M., & Fritz, S. (2020.). Copernicus, Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe. Zenodo. <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>
- (Bugarić et al., 2018.) Bugarić, Marin; Stipaničev, Darko; Jakovčević, Toni, (2018) AdriaFirePropagator and AdriaFireRisk: user friendly Web based wildfire propagation and wildfire risk prediction software, Advances in Forest Fire Research 2018, Viegas, Domingos X. (ur.), Coimbra, 2018. str. 890-899
- (Bugarić et al., 2024.) Bugarić, M., Stipaničev, D., Šerić, Lj., Krstinić, D.: Calculation and validation new high resolution fuel map of Croatia, Proceedings for the 7<sup>th</sup> International Fire Behavior and Fuels Conference, April 15-19, 2024, Boise, Idaho, USA – Tralee, Ireland – Canberra, Australia, Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA, 2024.
- (Chuvieco et al, 2004.) Chuvieco, E., I. Aguado, and others (2004.). Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. Canadian Journal of Forest Research-*Revue Canadienne de Recherche Forestiere* 34 (11.): 2284-2293.
- (Countryman, 1972.) Countryman, C. M., (1972.) The fire environment concept, USDA For-est Service, Pacific Southwest Range and Experiment Station, Berkeley, California, USA, 12 pp., 1972.

- (CIPOP – HR Fuel Maps, 2024.) High Resolution FirEUrisk Fuel Maps for Croatia (in Croatian), <https://cipop.fesb.hr>
- (Copernicus TCD, 2018.) Copernicus Tree Cover Density 2018 – 100m resolution (2018.) <https://doi.org/10.2909/c7bf34ea-755c-4dbd-85b6-4efc5fd302a2>
- (Copernicus HRL, 2018.) High Resolution Layer Forest Type 2018 (2018.) <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-forest-type>
- (Copernicus GDCL, 2019.) Global Dynamic Land Cover (2019.) <https://land.copernicus.eu/en/products/global-dynamic-land-cover>
- (Copernicus Climate Change Services, 2020.) Copernicus Climate Change Services. (2020.). *Land cover classification gridded maps from 1992 to present derived from satellite observations*. European Commission. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/satellite-land-cover?tab=overview>
- (Copernicus CLC+, 2021.) Copernicus CLC+ Backbone 2021 (raster 10 m), Europe, <https://doi.org/10.2909/71fc9d1b-479f-4da1-aa66-662a2fff2cf7>
- (De Martonne, 1926.) De Martonne, E. (1926.). Aerisme, et indices d'aridite. *Comptesrendus de L'Academie des Sciences*, 182, 1395–1398.
- (EFFIS, 2017.) EFFIS - European Forest Fire Information System - European Fuel Map, (2017.), based on JRC Contract Number 384347 on the “Development of a European Fuel Map”, European Commission. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/fuels>
- (EUFINET, 2016.) Europski pojmovnik za požara raslinja i šumske požara, EUFINET, (2016.) (Urednik: Vedrana Čemerin, Veleučilište Velika Gorica, ISBN 978-953-7716-67-7)
- (Eurostat, 2018.) Eurostat: LUCAS micro data 2018, Eurostat, [data set], <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/primary-data/2018>
- (Eurostat, 2024.) Eurostat: LUCAS Data Base (2006-2022.), <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas>
- (European Union Copernicus Land Monitoring Service, 2020.) European Union Copernicus Land Monitoring Service. (2020.). *Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 2020\_20u1*. European Environment Agency (EEA). <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- (FirEUrisk Del.1.1., 2023.) FireEUrisk Del.1.1.- Report on methodological frameworks for each danger modelling process (2023.) – FirEUrisk Delivery Report.
- (Fick & Hijmans, 2017.) Fick, S.E. and R.J. Hijmans, (2017.) WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12.): 4302-4315. - <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>
- (FUELMAP, 2011.) FUELMAP Project. (2011.). *Final Classification and Mapping of EU Fuel Complexes. Deliverable 2*. FUELMAP Project: Development of a European Fuel Map Based on a Novel Classification Suited to EU Environments -The Fuelmap Project.
- (Krišto, 2023.) Krišto, Marko, (2023.) Sustav za generiranje sintetičkih slika vegetacijskih klasa prema karakteristikama gorenja, magistarski rad FESB Split (mentor prof.dr.sc.Darko Stipaničev), rad obranjen 8.09.2023.
- (NFDRS, 2002.) Gaining an Understanding of the National Fire Danger Rating System, (2002.) A publication of the NWCG Fire Danger Working Team, Compiled by Paul Schlobohm and Jim Brain, [https://gacc.nifc.gov/rmcc/predictive/nfdrs\\_gaining\\_understanding.pdf](https://gacc.nifc.gov/rmcc/predictive/nfdrs_gaining_understanding.pdf)

- (Ottmar et al., 2007.) Roger D.Ottmar, R.D. Ottmar, David V.Sandberg, D.V. Sandberg, Cynthia L.Riccardi, C.L. Riccardi, and Susan J.PrichardS.J. Prichard. (2007.). An overview of the Fuel Characteristic Classification System — Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research*. 37(12.): 2383-2393. <https://doi.org/10.1139/X07-077>
- (Pellicone et al., 2019.) Gaetano Pellicone, Tommaso Caloiero, Ilaria Guagliardi, The De Martonne aridity index in Calabria (Southern Italy), *Journal of Maps*, Volume 15, 2019 - Issue 2, Pages 788-796 - <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2019.1673840>
- (Potapov et al., 2020.) Potapov, P. et al. (2020.) Mapping and monitoring global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>
- (PROMETHEUS, 2000.) PROMETHEUS Project. (2000.). *Management techniques for optimization of suppression and minimization of wildfire effects. System Validation. European Commission - Contract number ENV4-CT98-0716.*
- (Rothermel, 1972.) Rothermel, R. C. (1972.). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Research Paper INT-115.* Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- (Salis & Bugarić, 2022.) Michele Salis, Marin Bugaric: Cross-Cutting Theme: Fuel maps and parameters & fire propagation potential, PrePlenary Meeting, Dresden, (2022.)
- (Scott & Burgan, 2005.) Scott, J. H.; Burgan, R. E. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model, *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153.* U.S. Department of Agriculture, 72 p. (2005.)
- (Scott, 2012.) Scott, Joe H. Introduction to Wildfire Behavior Modeling, National Interagency Fuels, Fire, & Vegetation Technology Transfer, (2012.) [http://www.wfmrda.nwcg.gov/docs/NIFTT/Reference%20Materials/Intro to Fire Behavior Modeling Guide 2012.06.25.pdf](http://www.wfmrda.nwcg.gov/docs/NIFTT/Reference%20Materials/Intro%20to%20Fire%20Behavior%20Modeling%20Guide%202012.06.25.pdf)
- (Stipaničev et al., 2008.) Stipaničev, D., Španjol, Z., Vučetić, M., Vučetić, V., Rosavec, R., Bodrozić, Lj. (2008.) The Kornati Fire Accident Facts and Fig.s – Configuration, Vegetation and Meteorology”, *Int.Conference Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires - ForestFires 2008* (ed. J.de la Heras, C.A.Brebbia, D.Viegas, V.Leone) Sept. 2008, Toledo, Spain, WIT Press, pp. 387 - 387
- (Stipaničev & Viegas, 2009.) Stipaničev, D., Viegas, D.X., (2009.) The Accident of Kornati (Croatia), published in book “Fire Related Accidents in Europe” (ed. D.X.Viegas), JRC Press, 2009.
- (Stipaničev et al., 2024.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M., (2024.) Foto vodič za klasifikaciju vegetacije prema parametrima gorenja, Diseminacijski izvještaj, H2020 FirEUrisk projekt, CIPOP Web portal – <https://cipop.fesb.hr>
- (Yebra et al., 2007.) Yebra, M., Aguardo, I., Garcia, M., Nieto, H., Chuvieco, E. end Salas, J. (2007.) Fuel moisture estimation for fire ignition mapping, *Wildfire 2007.* Sevilla, Espania, 2007.