



FirEURisk karte goriva u krošnjama za područje Republike Hrvatske



2025.



CIPOP - CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE
POŽARA OTVORENOG PROSTORA

FIREURISK – RAZVOJ HOLISTIČKE STRATEGIJE ZA UPRAVLJANJE POŽARNIM RIZICIMA

Broj ugovora: 101003890

Identifikator poziva: H2020-LC-CLA-2018-2019-2020

Tema:	LC-CLA-15-2020 Smanjenje rizika od požara raslinja: korak prema pristupu integriranog upravljanja požarima raslinja u EU
Instrument:	RIA

FirEURisk karte goriva u krošnjama za područje Republike Hrvatske

Identifikator dokumenta:	Diseminacija rezultata projekta FirEURisk za području Republike Hrvatske.
Rok za izradu dokumenta:	31/03/2025
Datum izrade dokumenta:	15/01/2025
Verzija:	1.0
Glavni dokument:	
Autor glavnog dokumenta i glavni partner ovih istraživanja:	
Prijevod, obrada karata i prilagodba za Hrvatsku:	Darko Stipanićev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, Split, Hrvatska
Radni paket:	WP1 - Procjena rizika od požara radi poboljšanja zaštite
Zadatak:	Zadatak 1.1: Procjena rizika od požara Aktivnost A1.1.4. Razvoj modela goriva
Razina širenja:	<input checked="" type="checkbox"/> PU: Javno <input type="checkbox"/> CO: Povjerljivo, samo za članove Konzorcija (uključujući Službe Komisije)



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



CIPOP - CENTAR ZA ISTRAŽIVANJE
POŽARA OTVORENOG PROSTORA

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

Grant Agreement Number: 101003890

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

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

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

Deliverable Identifier:	FirEURisk fuel models and fuel maps for the territory of the Republic of Croatia
Deliverable Due Date:	31/03/2025
Deliverable Submission Date:	15/01/2025
Deliverable Version:	1.0
Main Document:	
Author of Main Deliverable and Lead Partner of this work:	
Translation, Map preparation and Adaptation for Croatia:	Darko Stipanićev, Marin Bugarić, Damir Krstinić, Ljiljana Šerić, Maja Braović Faculty of Electrical Engineering, Machine Engineering and Naval Architecture, University of Split, Split, Croatia
Work Package:	WP1 - Fire risk assessment to improve prevention
Task:	Task 1.1 Fire Danger Assessment A1.1.4 Risk-wise landscape and fuel models development
Dissemination Level:	<input checked="" type="checkbox"/> PU: Public <input type="checkbox"/> CO: Confidential, only for members of the Consortium (including the Commission Services)



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

Odricanje od odgovornosti

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

Copyright poruka

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

Reprodukcijski i korištenje karata rezolucije 1 km je dopušteno uz navođenje izvora:

*Aragoneses, E., García, M., Ruiz-Benito, P., Chuvieco,E., (2024.) **Mapping forest canopy fuel parameters at European scale using spaceborne LiDAR and satellite data**, Remote Sensing of Environment, Volume 303, 2024, 114005, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114005>.*

a za 100 m karte uz navođenje izvora:

*Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M.: **FirEURisk karte goriva u krošnjama za područje Republike Hrvatske**, FirEURisk Dissemination Report, 2024. - <https://cipop.fesb.hr/index.php/fireurisk/fireurisk-karte-goriva-u-krosnjama-za-podrucje-republike-hrvatske>*



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 karata goriva u krošnjama. Rezultati istraživanja objavljeni su u FirEURisk radu:

- a) (Aragoneses et al, 2024.) Aragoneses, E., García, M., Ruiz-Benito, P., Chuvieco,E., (2024.) **Mapping forest canopy fuel parameters at European scale using spaceborne LiDAR and satellite data**, Remote Sensing of Environment, Volume 303, 2024, 114005, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114005>.

U ovom radu autori su razvili metodu mapiranja karti goriva u krošnjama na temelju satelitskih slika i LiDAR podataka prilagođene teritoriju Europe, te je primijenili na razini cijele Europe u rezoluciji od 1 km za izradu tri osnovne karte:

- visina krošnji (engl. *CH - Canopy Height*)
- pokrov krošnji (engl. *CC - Canopy Cover*)
- visina baze krošnji (engl. *CBH - Canopy Base Height*)

Paralelno s ovim istraživanjima istraživači s Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu proveli su istraživanja vezana uz proračun propagacijskog potencijala u pilot područjima za koja su trebale karte goriva u krošnjama rezolucije 100 m. Rezultati su objavljeni u FirEURisk izvještaju:

- b) (Bugarić et al, 2023) Bugarić, M., Alcasena, F., Mimbrero, M.R., Stipaničev, D. (2023.) **D1.1.5 - Del.1 Propagation potential - calculation methodology for Pilot Sites (PS)**, FirEURisk Report, 2023.

Uz proračun tri osnovne karte CH, CC i CBH, računata je i četvrta karta:

- volumetrijska gustoća krošnji (engl. *CBD - Canopy Bulk Density*)

Polazište je bio postupak razvijen na University of Lieda (Alcasena, 2023.) korištenjem konverzijskih tablica. Na temelju ovih postupaka izračunali smo i sve četiri karte goriva u krošnjama za područja Hrvatske u rezoluciji 100 m, koje javno objavljujemo uz ovaj izvještaj zajedno s originalnim 1 km kartama razvijenim di prema metodi (Aragoneses et al, 2024.) s tim da smo za 1 km rezoluciju izračunali i četvrtu kartu za CBD koristeći isti postupak razvijen na University of Lieda.

Abstract

This document was created based on research conducted within **Work Package 1** of the FirEURisk project, **Task 1.1**, dedicated to wildfire risk assessment, specifically **Activity 1.1.4**, which focused on the development of canopy fuel maps. The research results have been published in the FirEURisk study:

- a) (Aragoneses et al., 2024) Aragoneses, E., García, M., Ruiz-Benito, P., Chuvieco, E., (2024). *Mapping forest canopy fuel parameters at the European scale using spaceborne LiDAR and satellite data*, Remote Sensing of Environment, Volume 303, 2024, 114005, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114005>.

In this study, the authors developed a method for mapping canopy fuel maps based on satellite imagery and LiDAR data tailored to the European territory. This method was applied at the European scale at a resolution of 1 km to produce three fundamental maps:

- Canopy Height (CH)
- Canopy Cover (CC)
- Canopy Base Height (CBH)

In parallel with this research, researchers from the Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering, and Naval Architecture at the University of Split conducted studies related to calculating propagation potential in pilot areas that required canopy fuel maps with a resolution of 100 m. The results were published in the FirEURisk report:

- b) (Bugarić et al., 2023) Bugarić, M., Alcasena, F., Mimbrero, M.R., Stipaničev, D. (2023). *D1.1.5 - Del.1 Propagation potential - calculation methodology for Pilot Sites (PS), FirEURisk Report, 2023*.

In addition to calculating the three basic maps (CH, CC, and CBH), a fourth map was computed:

- Canopy Bulk Density (CBD)

The starting point for this was the methodology developed at the University of Lleida (Alcasena, 2023.) using conversion tables. Based on these procedures, we also calculated all four canopy fuel maps for Croatian areas at a 100 m resolution, which are publicly published with this report along with the original 1 km maps developed according to the method described in (Aragoneses et al., 2024) with the addition that we calculated a fourth map for CBD at a 1 km resolution using the same procedure developed at the University of Lleida.

Sadržaj

Sažetak.....	ii
Abstract.....	iii
Sadržaj.....	iv
1. Uvod	1
2. FirEURisk karte goriva u krošnjama u rezoluciji 1 km	4
3. FirEURisk karte goriva u krošnjama u rezoluciji 100 m	9
3. Analiza i usporedba 100 m i 1 km karata Hrvatske	17
3.1. Usporedba karata visine krošnji (CH)	17
3.2. Usporedba karata pokrova krošnji (CC).....	18
3.3. Usporedba karata visine baze krošnji (CBH).....	19
3.4. Usporedba karata volumetrijske gustoće krošnji (CBD)	21
6. Zaključak	23
7. Literatura	24

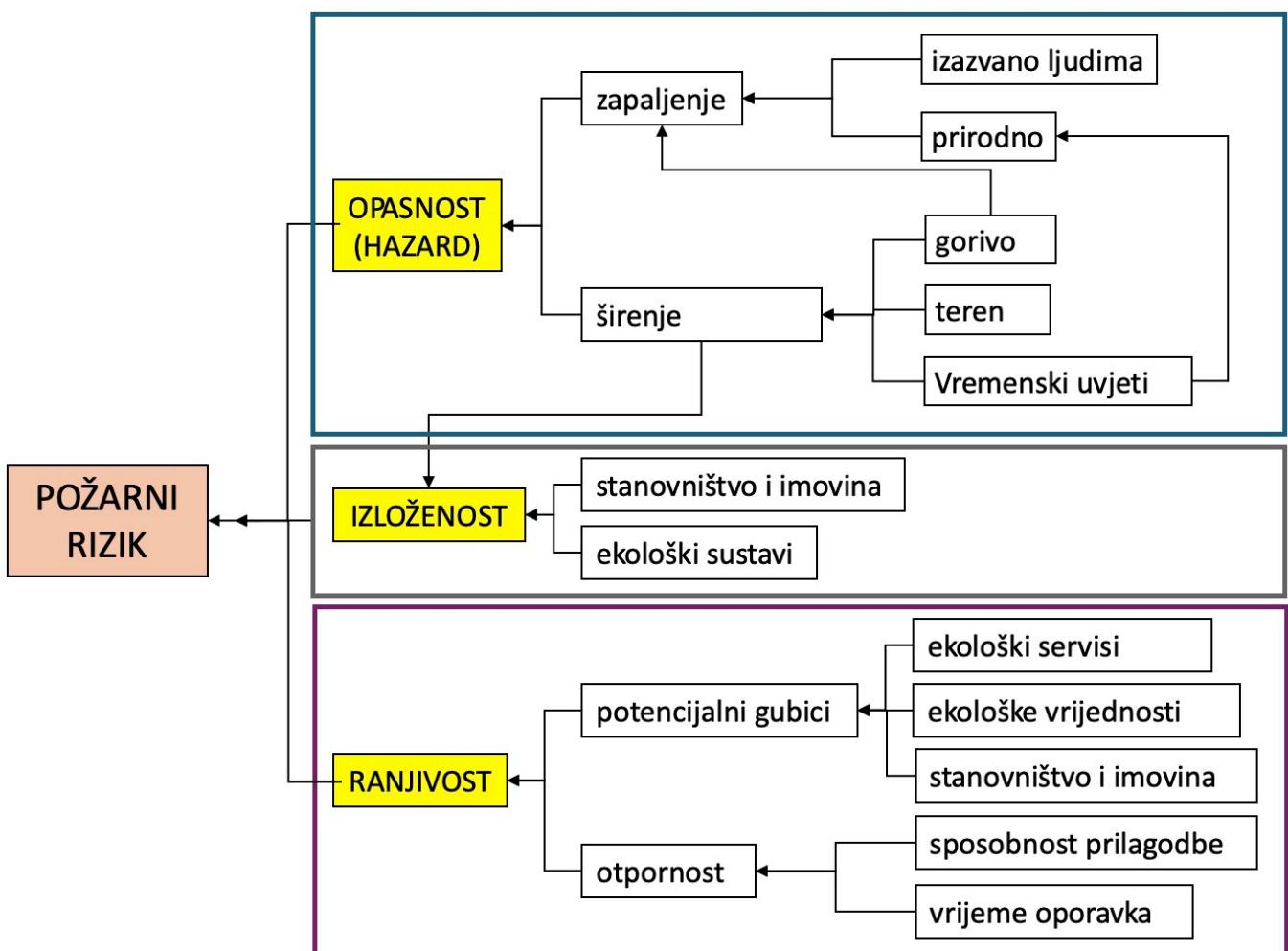
1. Uvod

Tri su osnovna faktora koja utječu i na širenje požara, a djelomično i na mogućnost izbjanja 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 izbjije 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

Prema slojevima vegetacijskog pokrova u kojima se požari šire, razlikujemo sljedeće vrste požara:

1. **Podzemni požari** – požari koji se šire obično bez plamena ispod površine tla, trošeći organski materijal prisutan u sloju humusa ili treseta.
2. **Prizemni požari (površinski požari)** – požari koji se šire obično s plamenim požarnim frontom, trošeći goriva koja se nalaze iznad tla, poput lišća, trave, grmlja i malih stabala.
3. **Požari u krošnjama (visoki požari)** – požari koji se šire trošeći lišće krošanja stabala, obično uz podršku prizemnih požara ispod krošanja te se šireći s jednog stabla na drugo.
4. **Iskrenje (spot požari)** – požari koji se šire pomoću žarećih čestica ili iskrica koje su ispušteni iz nekih od prethodnih tipova požara, a koje vjetar, bilo atmosferski ili izazvan požarom, može prenijeti na zapaljiv materijal, uzrokujući nove upale.

U suvremenim simulatorima širenja požara uobičajeno je simuliranje širenja prizemnih požara i požara u krošnjama, a ponekad i iskrenje.

Kod simuliranja širenja prizemnih požara vegetacijski ulazni podaci su karte goriva koje smo za područje Hrvatske opisali i objavili uz izvještaj (Stipaničev et al., 2024.).

Kod simulacije požara u krošnjama dodatni ulazni podaci su vezani uz gorivo u krošnjama:

- visina krošnji
- pokrov krošnji
- visina baze krošnji
- volumetrijska gustoća krošnji.

Visina krošnje (engl. *CH - Canopy Height*) [m] je mjera vertikalne udaljenosti između površine tla i vrha vegetacijske krošnje. Visina krošnje opisuje prosječnu visinu stabala unutar sastojine. U modelima širenja prizemnih požara, visina krošnje utječe na izračun faktora prilagodbe vjetra (engl. *WAF - Wind Adjustment Factor*). U modelima širenja požara krošnji, visina krošnje množi se s volumetrijskom gustoćom krošnji kako bi se dobila masa krošnje, koja se koristi za izračun duljine plamena krošnje. U modelima širenja požara iskrenjem, visina krošnje koristi se za izračun udaljenosti iskrice od aktivnog požara krošnje. Visina krošnje obično se izračunava korištenjem tehnika daljinskog istraživanja, poput LIDAR (mjerjenje svjetlosnim impulsima) ili radara, koji omogućuju vrlo precizna mjerjenja strukture i visine vegetacije. Visina krošnje može značajno varirati ovisno o vrsti i gustoći vegetacije.

Pokrov krošnje (engl. *CC - Canopy Cover*) [udio ili %] je mjera gustoće krošnje. Drveće s gušćim krošnjama ima veću vjerojatnost da će omogućiti širenje vatre s jedne krošnje na drugu, stvarajući kontinuirani put kojim se vatra može širiti. Odnosi se na količinu područja na određenoj lokaciji koje je prekriveno vegetacijom kada se gleda odozgo. Pokrov krošnje obično se izražava kao postotak ukupne površine i može značajno varirati ovisno o vrsti i gustoći prisutne vegetacije.

Visina baze krošnje ((engl. *CBH - Canopy Base Height*) [m]) označava vertikalnu udaljenost od tla do najnižih grana krošnje stabla. Visina baze krošnje pojedinog stabla definira se kao visina na kojoj postoji dovoljna gustoća goriva da podrži zapaljenje krošnje. Visina baze krošnje uzima u obzir i glavni sloj krošnje i ljestvičasta goriva u podrstu koja se odnose se na vegetaciju između tla i krošnji stabala te omogućuju vatri da se širi s tla prema krošnjama. CGH je važan parametar za rizik od požara krošnji. Visina baze krošnje i sadržaj vlage u lišću koriste se za izračunavanje kritičnog intenziteta požara potrebnog za prijelaz s požara površine na požar krošnji. Stabla s nižim visinama baze krošnje imaju veću vjerojatnost da će omogućiti požarima na tlu da se popnu u krošnje, potencijalno zapalivši krošnje i dovodeći do požara krošnji. Visina baze krošnje može se značajno razlikovati ovisno o vrsti, starosti i uvjetima staništa stabla,

a može biti pod utjecajem praksi upravljanja poput prorjeđivanja ili orezivanja. Obično se mjeri korištenjem tehnika temeljenih na terenskim podacima ili daljinskom istraživanju te se često koristi zajedno s drugim parametrima, poput visine krošnje i pokrova krošnji, za procjenu strukture šume i količine biomase koja može sudjelovati u gorenju. Na slici 1 prikazana je razlika između visine krošnje (CH) i visine baze krošnje (CBH).



Slika 1. Uz definiciju visine krošnje (CH) i visine baze krošnje (CBH).

Volumetrijska gustoća krošnje (engl. *CBD - Canopy Bulk Density*) [kg/m^3] je mjera mase krošnje stabla po jedinici volumena krošnje. Ona opisuje težinu goriva krošnje po jedinici volumena krošnje. Koristi se za izračun ulaznih podataka o masi goriva krošnje za generiranje topline po jedinici površine tijekom aktivnog požara krošnje. Volumetrijska gustoća krošnje također se koristi za izračunavanje kritične brzine širenja požara krošnje, što određuje prag potreban za prijelaz na aktivni požar krošnje. Izračunava se dijeljenjem suhe mase krošnje njezinim volumenom. Volumetrijska gustoća krošnje može pružiti informacije o strukturi i stanju krošnje stabla, kao i o njegovom potencijalu za rizik od požara. Veća volumetrijska gustoća krošnje može ukazivati na kompaktnije i potencijalno zapaljivije lišće, dok manja volumetrijska gustoća krošnje može ukazivati na otvorenije i manje zapaljivo lišće.

U ovom diseminacijskom izvještaju opisujemo:

- Načina dobivanja prve tri karte (CH, CC, CBH) u okviru FirEURisk projekta za područja Europe u rezoluciji 1 km.
- Alternativni način dobivanja sve četiri karte (CH, CC, CBH, CBD) za područje Hrvatske u rezoluciji 100 m.

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

2. FirEURisk karte goriva u krošnjama u rezoluciji 1 km

U radu (Aragoneses et al, 2024.) autori su razvili metodu mapiranja karti goriva u krošnjama na temelju satelitskih slika i LiDAR podataka prilagođene teritoriju Europe, te je primijenili na razini cijele Europe u rezoluciji od 1 km za izradu tri osnovne karte:

- visina krošnji (engl. *CH - Canopy Height*)
- pokrov krošnji (engl. *CC - Canopy Cover*)
- visina baze krošnji (engl. *CBH - Canopy Base Height*)

LiDAR promatranja omogućuju precizno dobivanje vertikalne strukture vegetacije, što ih čini izvrsnom alternativom za karakterizaciju struktura goriva u krošnjama. U većini slučajeva parametrizacija goriva temeljila se na promatranjima pomoću zračnog laserskog skeniranja (ALS), koje je skupo i najbolje prilagođeno za lokalna istraživanja. Senzori LiDAR-a iz svemira nadilaze ograničenu prostornu i vremensku pokrivenost zračnih sustava, budući da mogu pokriti mnogo šira geografska područja. Međutim, oni ne pružaju kontinuirane geografske podatke, što zahtijeva korištenje metoda prostorne interpolacije. Autori (Aragoneses et al, 2024.) su razvili dvostupanjsku, lako ponovljivu metodologiju za procjenu parametara goriva u krošnjama šuma za cijeli europski teritorij, temeljem podataka sa senzora Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI), smještenog na Međunarodnoj svemirskoj postaji (ISS). Više detalja u radu (Aragoneses et al, 2024.).

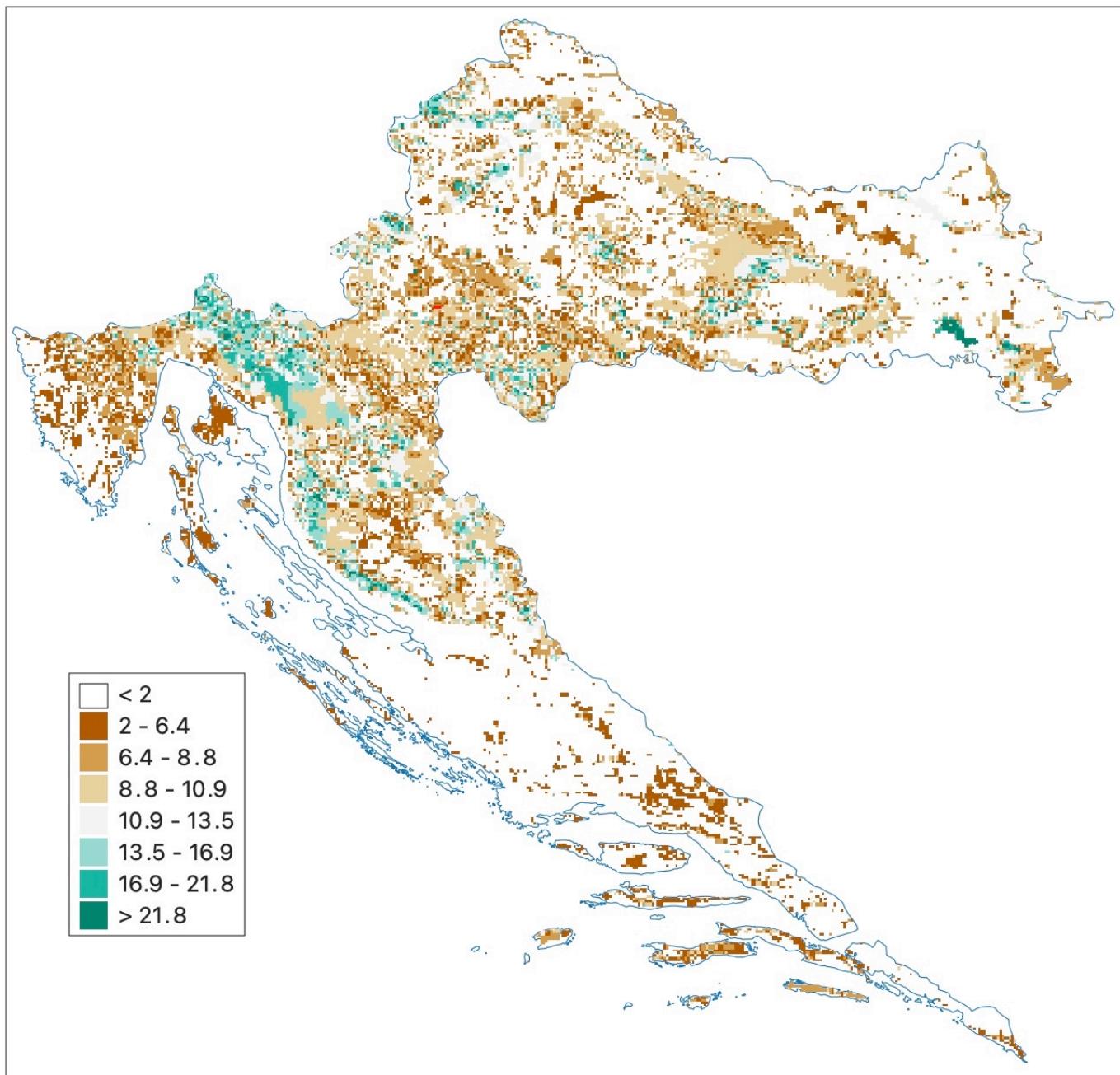
Konačni rezultat su kontinuirane karte koje sadrže podatke za svaku točku ili piksel unutar područja analize (engl. *wall-to-wall maps*) rezolucije 1 km za područje cijele Europe. Karte su kalibrirane korištenjem referentnih podataka prikupljeni s 6587 parcela smještenih u šumskim područjima na sedam lokacija u tri zemlje (Njemačka, Španjolska, Slovenija), uz širok raspon europske raznolikosti goriva i bioklimatskih uvjeta.

Iz tih EU karti izvukli smo karte Hrvatske u 1 km rezoluciji. Prikazuju ih Slike 2. do 4. Karte su i sastavni dio ovog izvještaja i mogu se slobodno skinuti i koristiti u skladu s Copyright porukom uz navođenje izvora (Aragoneses et al, 2024.).

Za karte rezolucije 1 km dodatno smo izračunali i četvrtu kartu volumetrijske gustoće krošnji (CBD) na temelju postupka razvijenog na University of Lleida (Alcasena, 2022.). Postupak je testiran samo na području Barcelone, što je posebno potrebno naglasiti. Kako je Barcelona mediteranska regija na sličnim geografskim širinama kao i Hrvatska, pretpostavljamo da vrijedi i za područje Hrvatske, što bi svakako trebalo posebno provjeriti. Nadamo se da će ovaj naš izvještaj potaknuti i druge istraživače da se posvete i ovim istraživanjima.

Za proračun volumetrijske gustoće krošnji (CBD) potrebna su tri ulazna podatka:

- FirEURisk klasa šumskog goriva za osnovnih 6 klasa (1111, 1112, 1121, 1122, 1211, 1212) prikazanih u Tablici 1. Klase 1301 (šuma – miješana - otvorena [15-70%]) i 1302 (šuma – miješana - zatvorena [70-100%]) nisu uključene u konverzijsku tablicu, pa ih se treba pridružiti nekoj od 6 klasa. Njihov udio u vegetacijskim kartama goriva Hrvatske je 1,77% (Stipaničev et al., 2024.), pa greška nije velika.
- vrsta klime: sušna/polu-sušna ili sub-vlažna/vlažna
- pokrov krošnji (CC) u %.



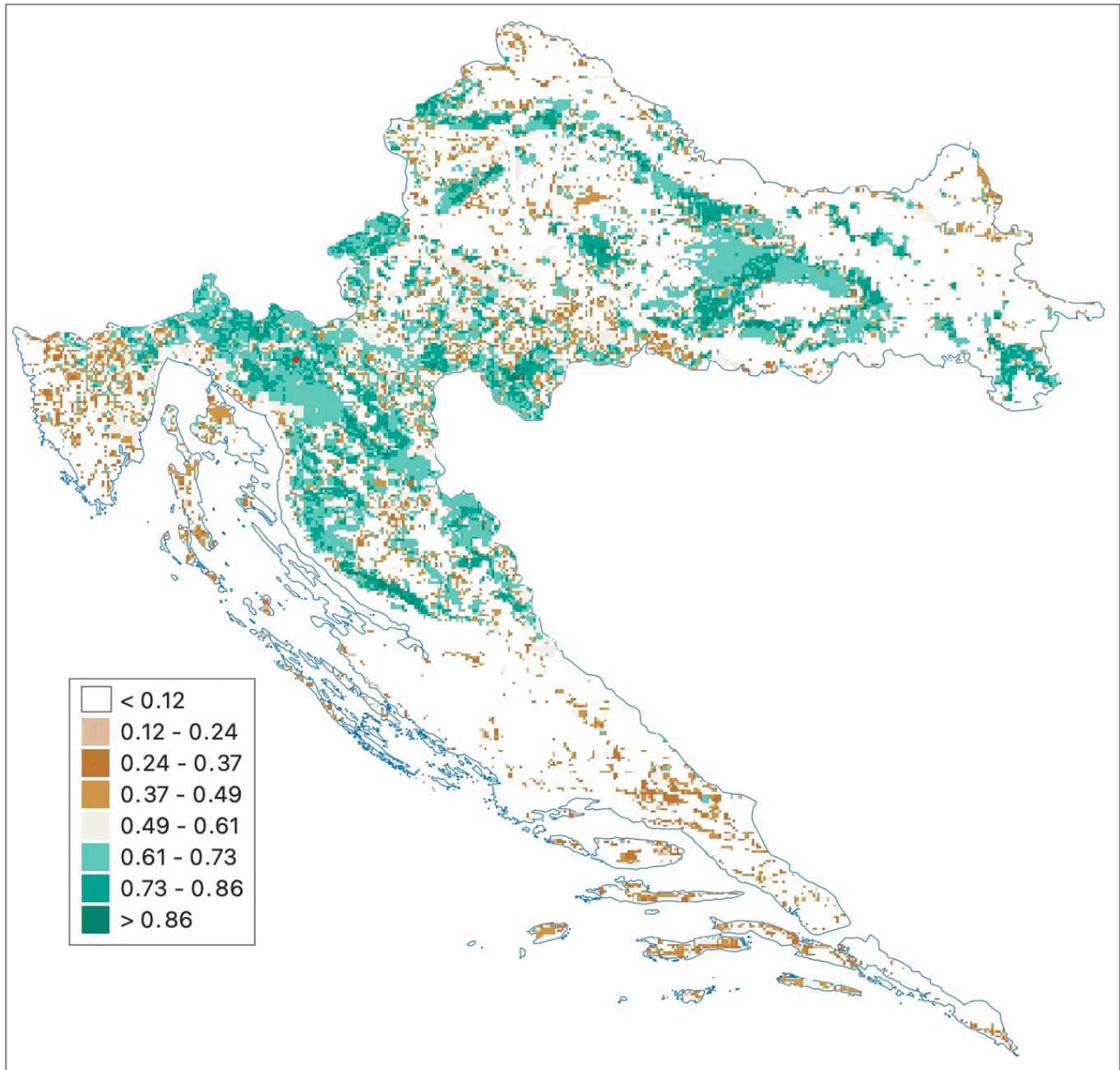
Slika 2. Karta visine krošnji (CH) u rezoluciji 1 km izdvojena iz karte Europe (Aragoneses et al, 2024.).

Tablica 1. Klase šuma u FirEURisk modelima goriva.

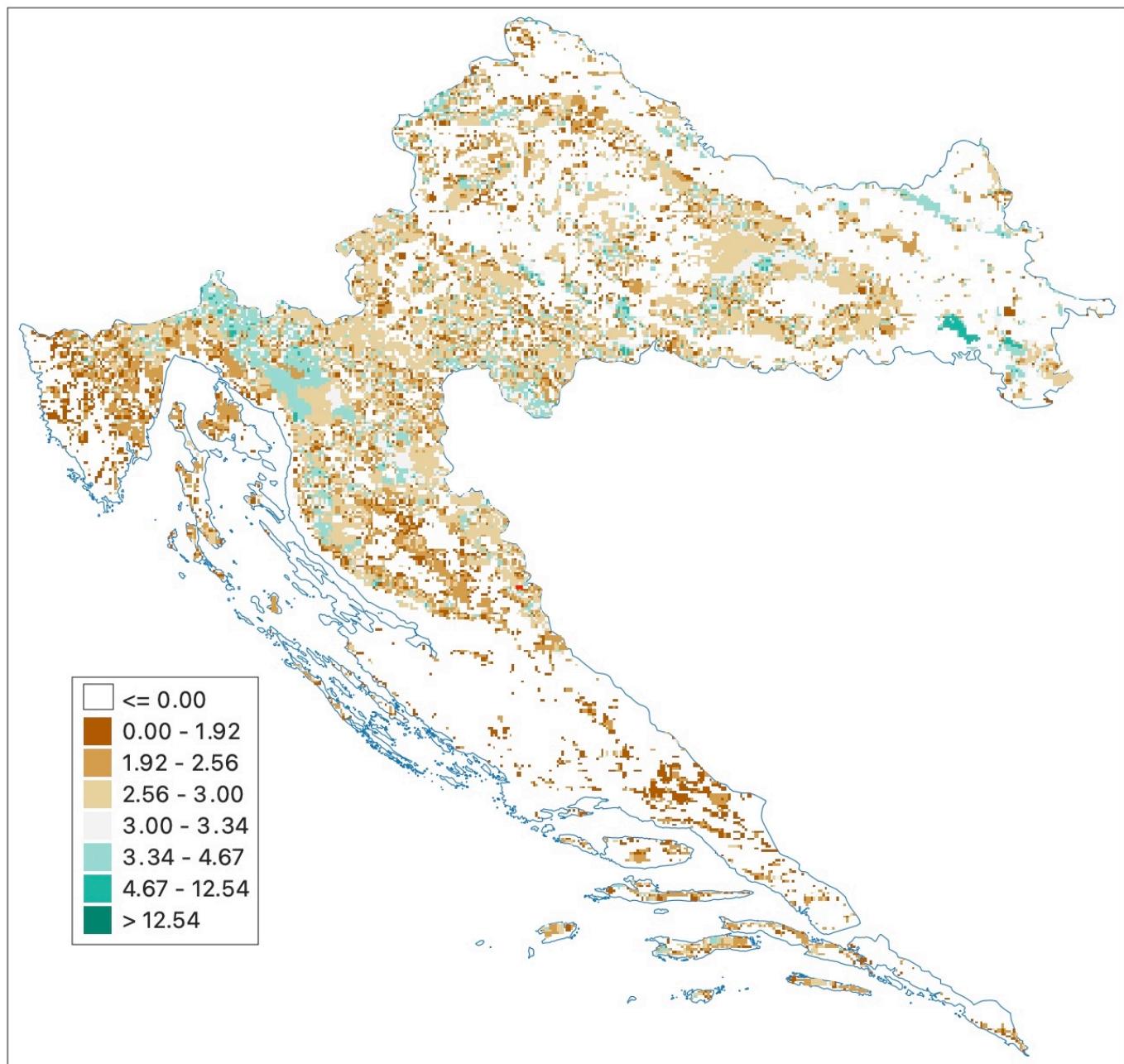
FirEURisk klasa	naziv klase
1111	šuma – širokolisna – zimzelena - otvorena [15-70%)
1112	šuma – širokolisna – zimzelena - zatvorena [70-100%)
1121	šuma – širokolisna – listopadna - otvorena [15-70%)
1122	šuma – širokolisna – listopadna - zatvorena [70-100%)
1211	šuma – igličasta – zimzelena - otvorena [15-70%)
1212	šuma – igličasta – zimzelena - zatvorena [70-100%)

Tablica za proračun CB [kg/m³] dana je u Tablicama 2. i 3.

Da li je klima sušna/polu-sušna ili vlažna/polu-vlažna računa se De-Martonne indeksom. Karta je dan uz Granična linija dijeli Hrvatsku u dva dijela. Karta je dana uz izvještaj (Stipaničev et al., 2024.) i može se slobodno skinuti sa stranica <https://cipop.fesb.hr>.



Slika 3. Karta pokrova krošnji (CC) u rezoluciji 1 km izdvojena iz karte Europe (Aragoneses et al, 2024.).



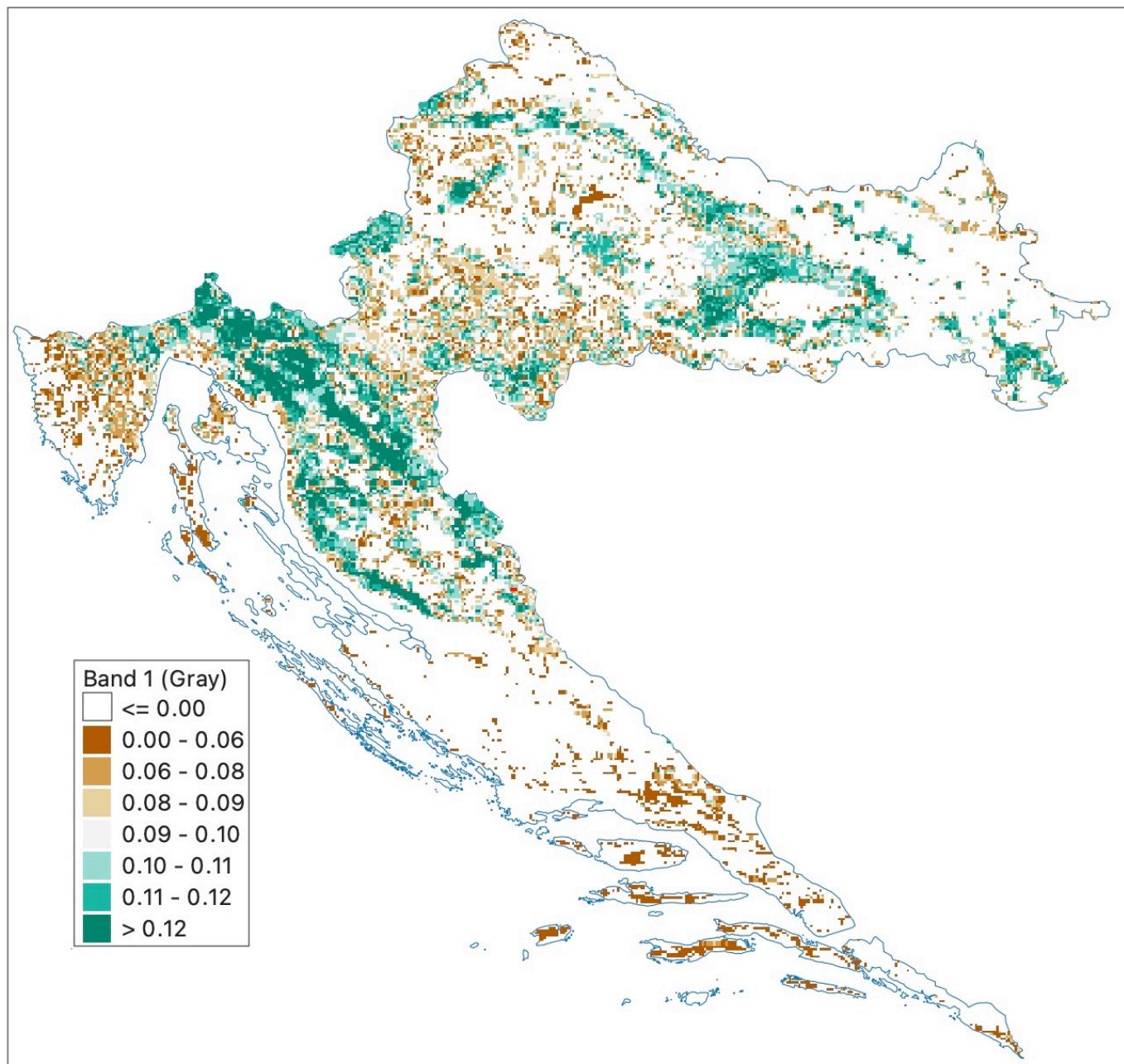
Slika 4. Karta visine baze krošnji (CBH) u rezoluciji 1 km izdvojena iz karte Europe (Aragoneses et al, 2024.).

Tablica 2 . Tablica za proračun volumetrijske gustoće krošnji (CBD) za sušnu/polu-sušnu klimu.

CBD (kg m^{-3})	CC - pokrov krošnji [%]					
	15 - 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 90	90 - 100
1111_A	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.16
1112_A	0.05	0.09	0.12	0.15	0.17	0.17
1121_A	0.04	0.08	0.10	0.12	0.15	0.16
1122_A	0.04	0.07	0.09	0.11	0.14	0.15
1211_A	0.06	0.10	0.13	0.15	0.17	0.17
1212_A	0.05	0.09	0.14	0.16	0.19	0.21

Tablica 3. Tablica za proračun volumetrijske gustoće krošnji (CBD) za sub-vlažnu/vlažnu klimu.

CBD (kg m^{-3})	CC - pokrov krošnji [%]					
	15 - 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 90	90 - 100
1111_H	0.05	0.09	0.12	0.15	0.17	0.17
1112_H	0.05	0.09	0.13	0.16	0.18	0.18
1121_H	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.13
1122_H	0.04	0.07	0.08	0.10	0.11	0.10
1211_H	0.06	0.09	0.12	0.16	0.18	0.19
1212_H	0.06	0.09	0.12	0.14	0.18	0.20



Slika 5. Karta volumetrijske gustoće krošnji (CBD) u rezoluciji 1 km izračunata postupkom (Alcasena, 2022.).

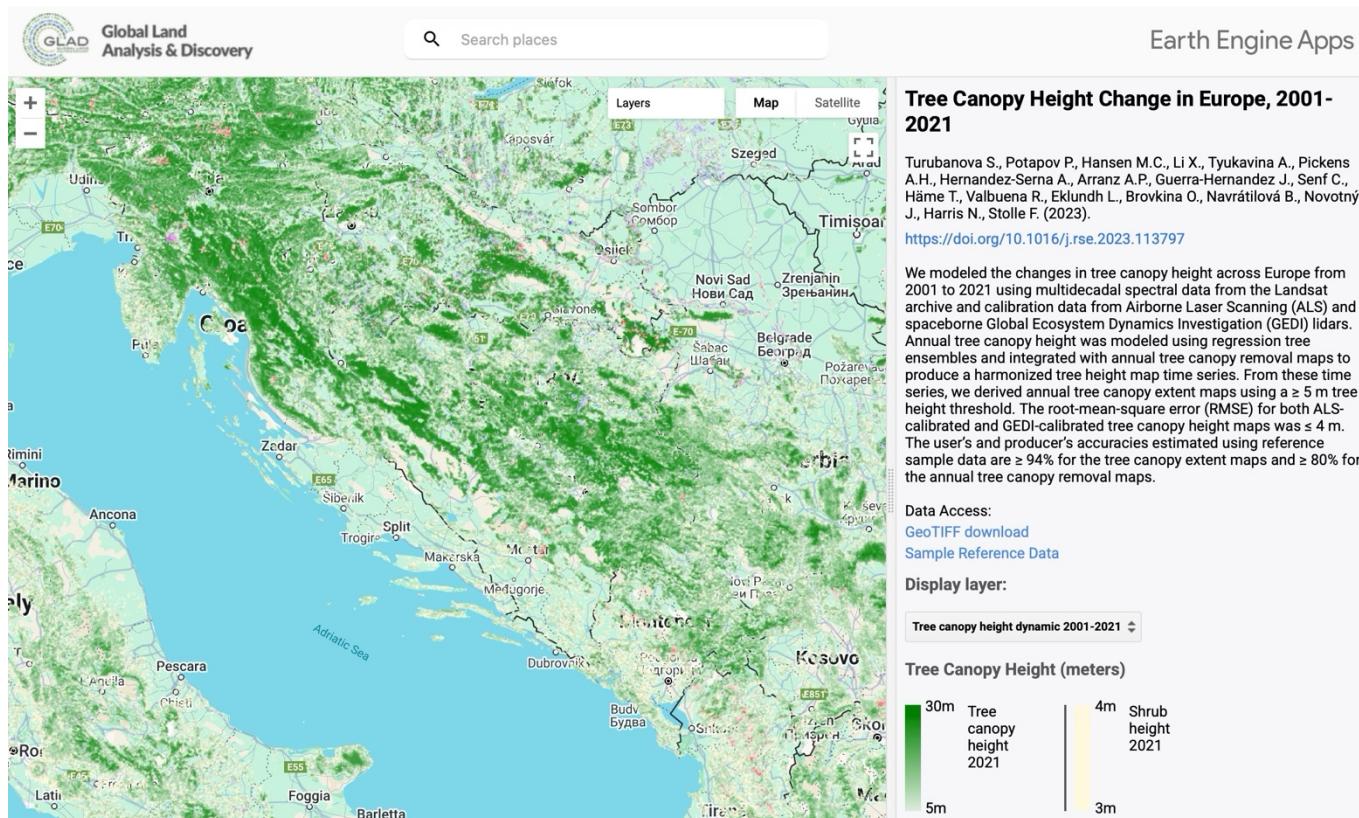
3. FirEURisk karte goriva u krošnjama u rezoluciji 100 m

Za potrebe demonstracije rezultata projekta FirEURisk na području 5 pilot područja¹ bilo je potrebno izraditi i sve karte goriva, uključujući i gorivo u krošnjama u rezoluciji 100 m. Karte rezolucije 1 km rađena za područje cijele Europe nije odgovarala traženim zahtjevima.

Postupak izrade 100 m karti goriva u krošnjama se razlikovao od postupka izrade 1 km karti i maksimalno se oslanjao na dostupne podatke.

Visina krošnji (CH) za Hrvatsku može se dobiti iz nekoliko izvora:

- Karte Europe **Europe Tree Canopy Dynamics**² (Turubanova et al., 2023.) u 30 m rezoluciji za 2021.g. (Slika 6.).
- Global karte **A high-resolution canopy height model of the Earth**³ (Lang et al. 2022) u 10 m rezoluciji za 2020.g. (Slika 7.)



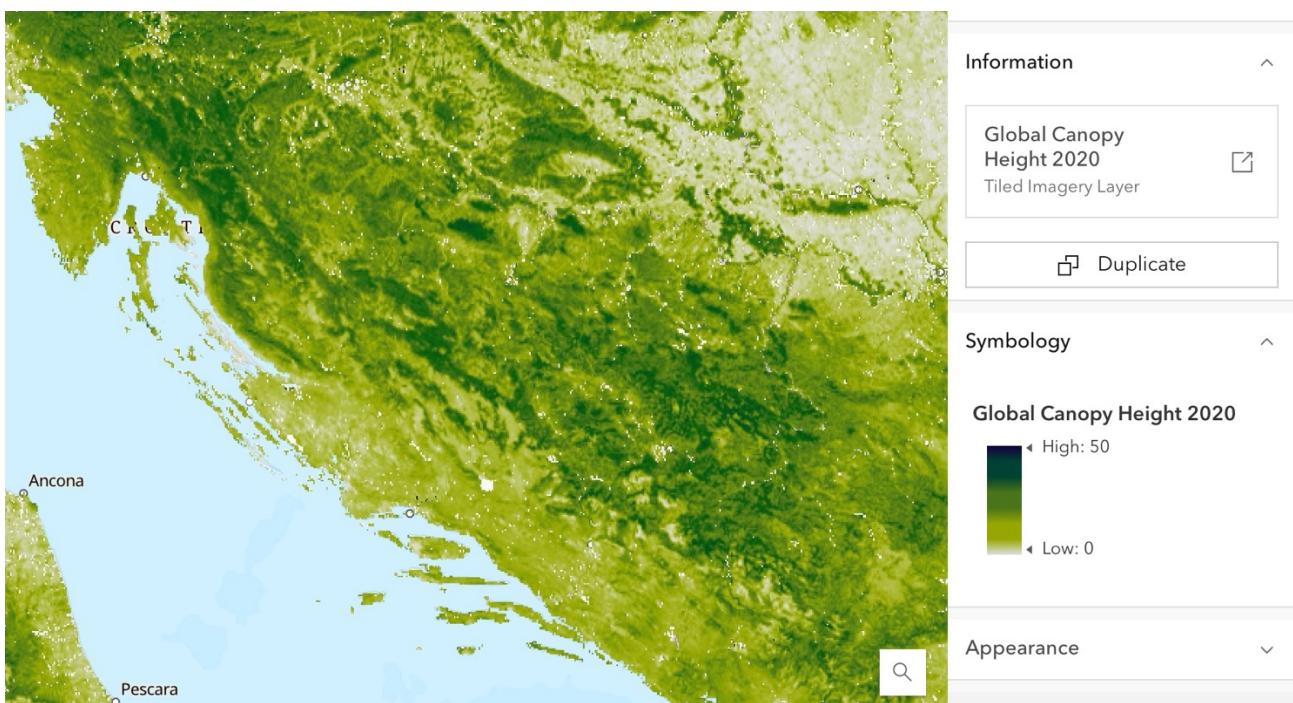
Slika 6. Područje Hrvatske na karti visine krošnji (CH) u rezoluciji od 30 m za 2021.g.
(Turubanova et al., 2023.)

Kartu Hrvatske za visinu krošnji (CH) u 100 m rezoluciji dobivenu preuzorkovanjem iz 10 m karte za 2020.g. (Lang et al. 2022) prikazuje Slika 9., a kartu rezolucije 100 m dobivenu preuzorkovanjem iz 30m karte za 2021.g. (Turubanova et al., 2023.) prikazuje Slika 10.

¹ 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/>

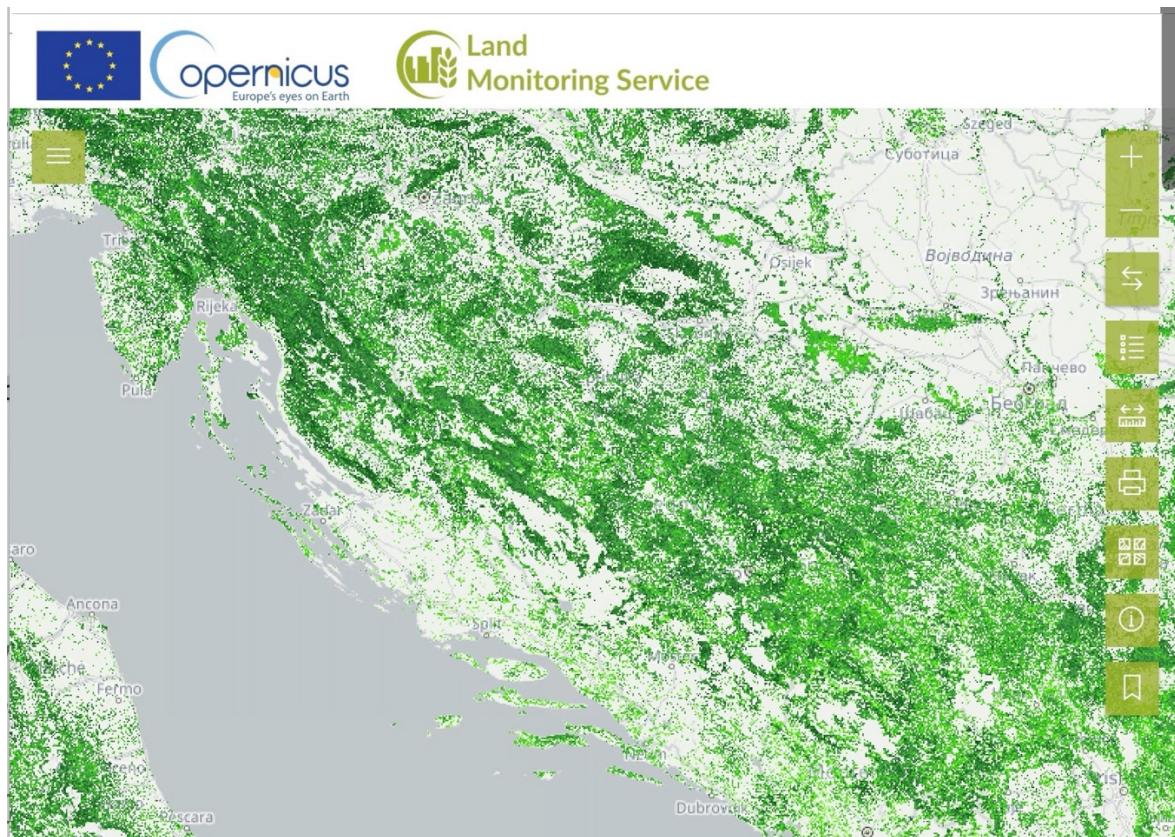
² <https://glad.earthengine.app/view/europe-tree-dynamics>

³ <https://langnico.github.io/globalcanopyheight/>



Slika 7. Područje Hrvatske na karti visine krošnji (CH) u rezoluciji od 10 m za 2020.g. (Lang et al. 2022)

Pokrov krošnji (CC) također je globalno dostupan ali samo za 2018.g. na Copernicus stranicama Tree Cover Density 2018⁴ u rezoluciji od 10 m i 100 m. (Slika 8.). (TCD-100m, 2020.)



Slika 8. Područje Hrvatske na karti pokrova krošnji (CC) za 2018.g. (TCD-100m, 2020.)

⁴ <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-tree-cover-density/tree-cover-density-2018>

Kartu pokrova (CC) iz 2018.g. u rezoluciji 100 m prikazuje Slika 11.

Za **visinu baze krošnji** (CBH) i **volumetrijsku gustoću krošnji** (CBD) ne postoje globalni podaci, pa je izradu 100 m karti korišten postupak razvijen na University of Lleida (Alcasena, 2022.) i testiran na području Barcelone. Temelji se na tri ulazna podatka (FirEURisk klasa šumskog goriva, vrsti klime i pokrovu krošnji) kako smo već spomenuli. Za proračun volumetrijske gustoće krošnji (CBD) koristi se Tablice 2. i 3., a za proračun visine baze krošnji (CBH) Tablice 4. i 5.

Tablica 4 . Tablica za proračun visine baze krošnji (CBH) za sušnu/polu-sušnu klimu.

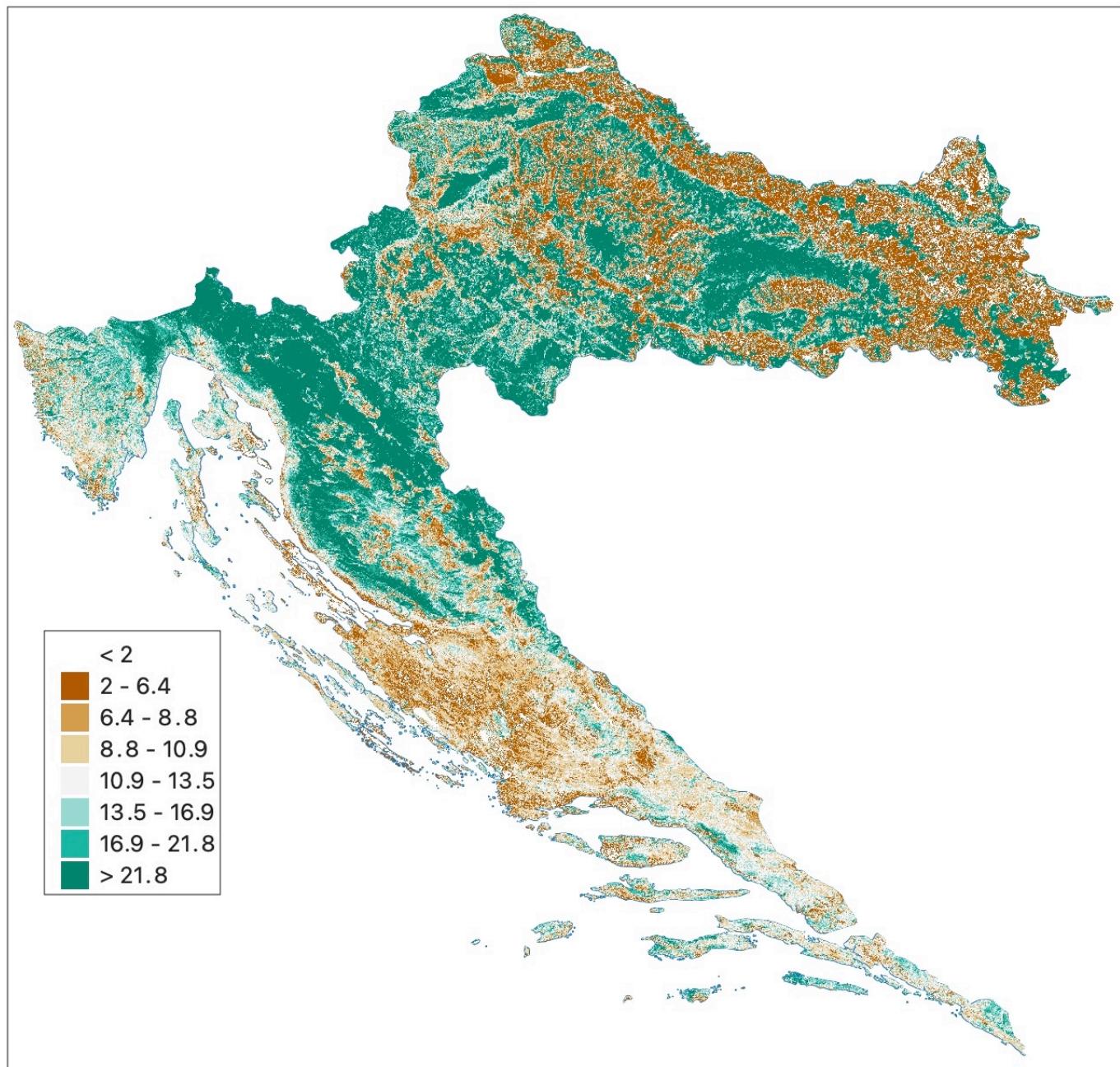
CBH (m)	CC - pokrov krošnji [%]					
	15 - 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 90	90 - 100
1111_A	3.33	3.77	4.01	4.23	4.63	5.23
1112_A	2.84	3.55	4.16	4.51	4.73	4.98
1121_A	3.87	4.02	4.53	4.90	5.11	5.30
1122_A	4.12	3.99	4.94	5.13	5.62	5.62
1211_A	2.80	3.29	3.60	4.18	4.66	4.88
1212_A	2.46	3.18	3.34	3.57	3.91	3.90

Tablica 5 . Tablica za proračun visine baze krošnji (CBH) za sub-vlažnu/vlažnu klimu.

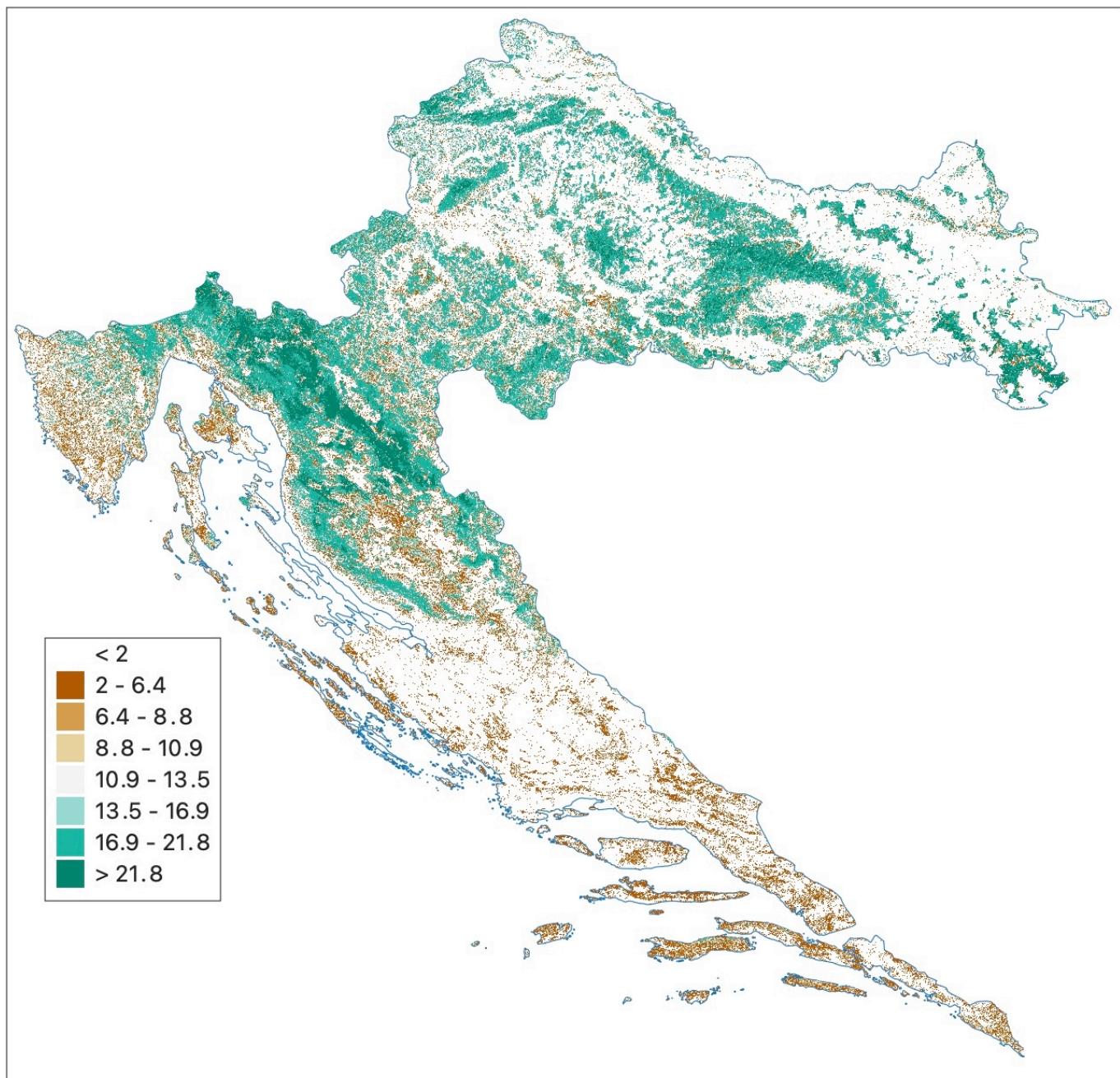
CBH (m)	CC - pokrov krošnji [%]					
	15 - 30	30 - 45	45 - 60	60 - 75	75 - 90	90 - 100
1111_H	3.55	3.99	4.24	4.41	4.60	4.79
1112_H	3.30	4.14	4.66	4.81	4.89	5.00
1121_H	3.75	4.05	4.20	4.36	4.52	4.80
1122_H	3.87	4.36	4.62	4.75	4.85	5.17
1211_H	2.92	3.05	3.27	3.34	3.44	3.54
1212_H	2.73	3.05	3.24	3.42	3.49	3.53

Kartu visine baze krošnji (CBH) u rezoluciji 100 m izračunatu postupkom (Alcasena, 2022.) prikazuje Slika 12.

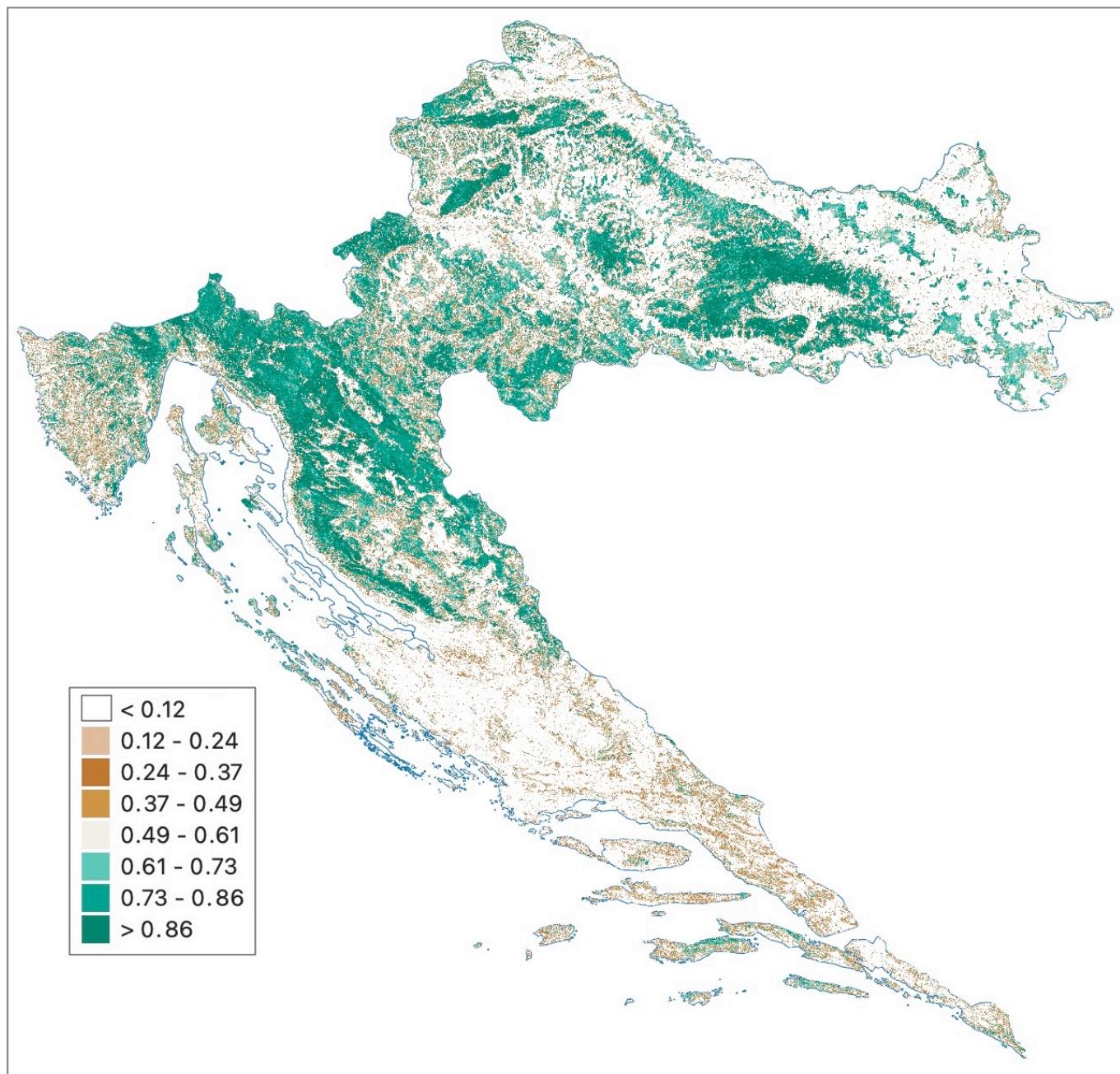
Kartu volumetrijske gustoće krošnji (CBD) u rezoluciji 100 m izračunatu postupkom (Alcasena, 2022.) prikazuje Slika 13.



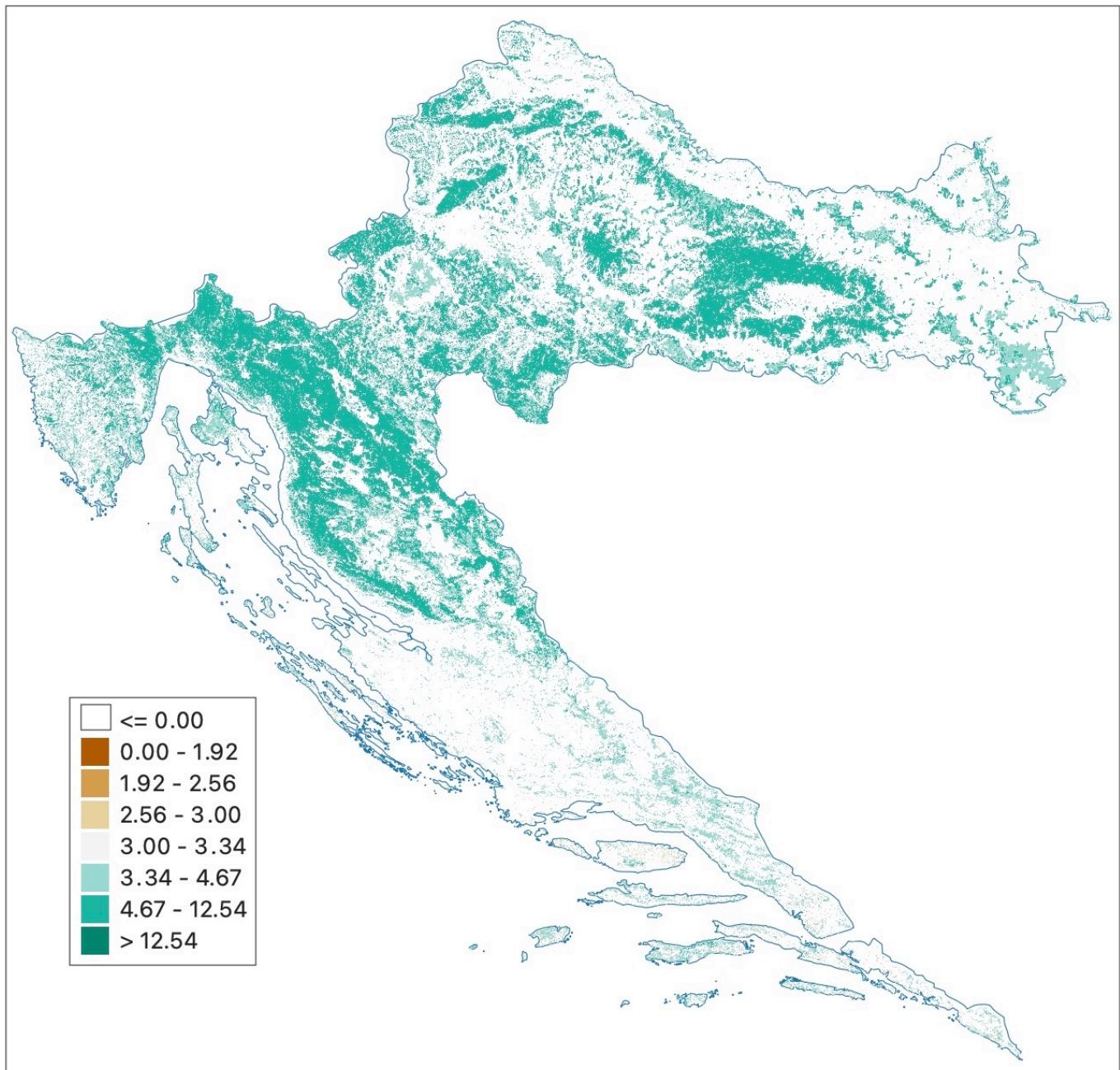
Slika 9. Karta visine krošnji (CH) [m] Hrvatske u rezoluciji od 100 m dobivena preuzorkovanjem iz 10 m karte za 2020.g. (Lang et al. 2022)



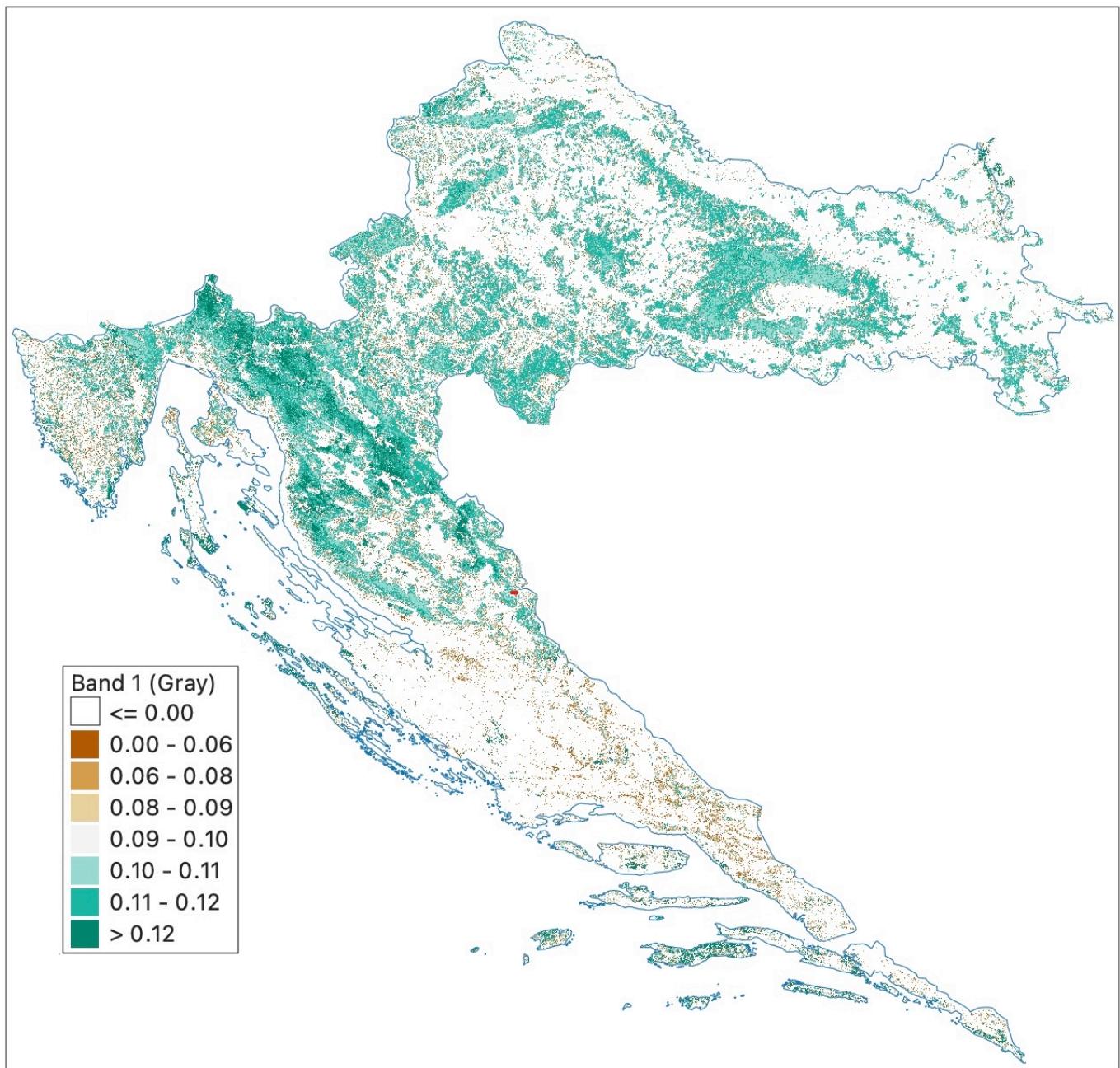
Slika 10. Karta visine krošnji (CH) [m] Hrvatske u rezoluciji od 100 m dobivena preuzorkovanjem iz 30 m karte za 2021.g. (Turubanova et al., 2023.)



Slika 11. Karta pokrova krošnji (CC) [omjer] Hrvatske u rezoluciji od 100 m za 2018.g. izdvojena iz 100 m karte Europe sa stranica EEA Geospatial Dana Catalogue (TCD-100m, 2020.).



Slika 12. Karta visine baze krošnji (CBH) [m] Hrvatske u rezoluciji od 100 m izračunatu postupkom (Alcasena, 2022.)



Slika 13. Karta volumetrijske gustoće krošnji (CBD) [kg/m^3] Hrvatske u rezoluciji od 100 m izračunatu postupkom (Alcasena, 2022.)

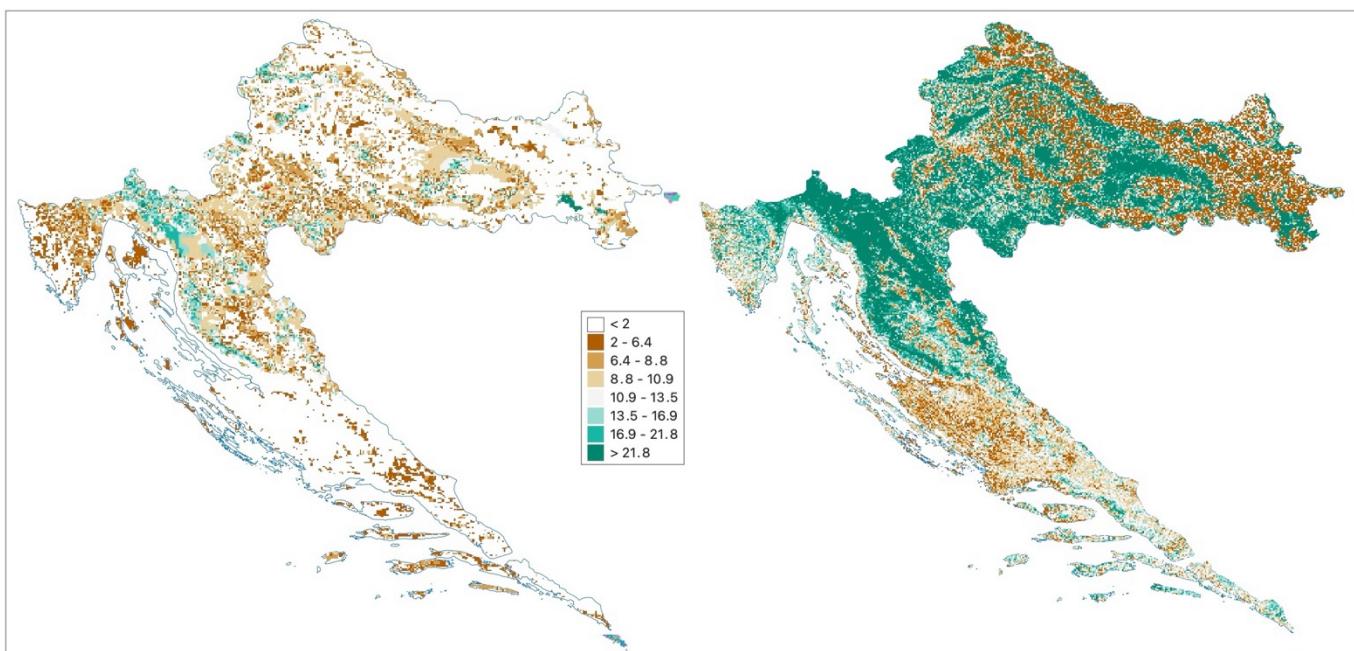
3. Analiza i usporedba 100 m i 1 km karata Hrvatske

Karte rezolucije 1 km dobivene novo razvijenim postupkom (Aragoneses et al, 2024.) i 100 m karte izvedene iz postojećih globalnih karata i izračunate postupkom (Alcasena, 2022.) razlikuju se već na prvi pogled.

Kako bismo mogli detaljnije usporediti rezultate, 100 m karte smo prebaciti u rezoluciju 1 km i napravili usporedbe.

3.1. Usporedba karata visine krošnji (CH)

Slika 14. prikazuje usporedbu originalne 1 km FirEURisk karte visine krošnje s 1 km kartom dobiveno iz 100 m karte.



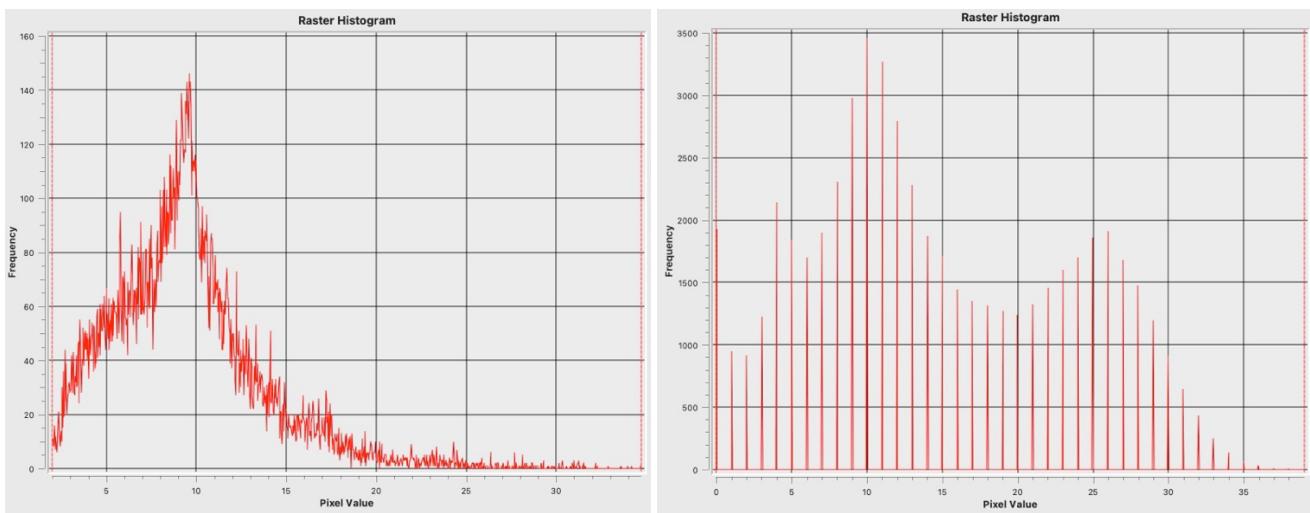
Slika 18. Originalna 1km FirEURisk karta visine baze krošnji (CBH) Hrvatske (lijevo) i nova 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Razlika je jasno uočljiva. Originalna FirEURisk karta daje globalno manje visine. Karte se razlikuju i po osnovnim statističkim pokazateljima. Tablica 6. prikazuje statističke podatke za obje karte. Obje karte su bile iste veličine 466 x 461 piksela.

Tablica 6. Statistički podaci za originalna 1km FirEURisk karta visine krošnji (CH) Hrvatske i novu 1km karta dobivena iz nove 100m karte.

statistički pokazatelj	originalna 1km karta	nova 1km karta
minimalna vrijednost	2,01	0
maksimalna vrijednost	34,71	39
srednja vrijednost	9,48	14,68
standardna devijacija	4,19	8,71

Distribucijski dijagram raspodjele prikazuju histogrami na Slici 15. uz napomenu da su za novu kartu dobivenu iz globalnih karata visine diskretizirane u koracima od 1 m, dok originalna FirEURisk karta ima kontinuirane podatke.

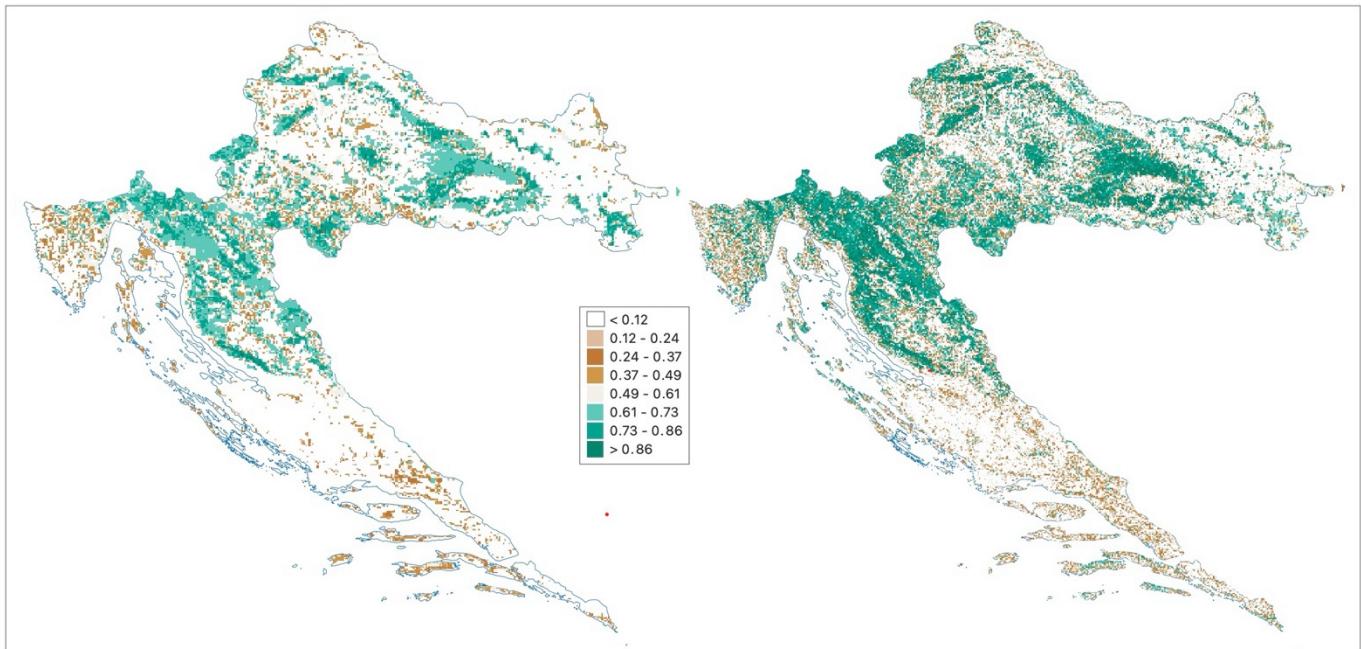


Slika 15. Histogrami originalne 1km FirEURisk karta visine krošnji (CH) Hrvatske (lijevo) i nove 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Histogrami su potpuno različiti, kao i statistički parametri. Kako je za procjenu požarnog rizika i simulaciju širenja požara, koji su projektu FirEURisk bili u centru interesa, bolje precijeniti nego podcijeniti stvarno stanje, smatramo da je za 100m kartu visine krošnji (CH) [m] Hrvatske najbolje uzeti kartu u rezoluciji od 100 m dobivenu preuzorkovanjem iz 10 m karte za 2020.g. (Lang et al. 2022).

3.2. Usporedba karata pokrova krošnji (CC)

Slika 16. prikazuje usporedbu pokrova krošnji originalne 1 km FirEURisk karte s 1 km kartom dobivenom iz 100 m karte.



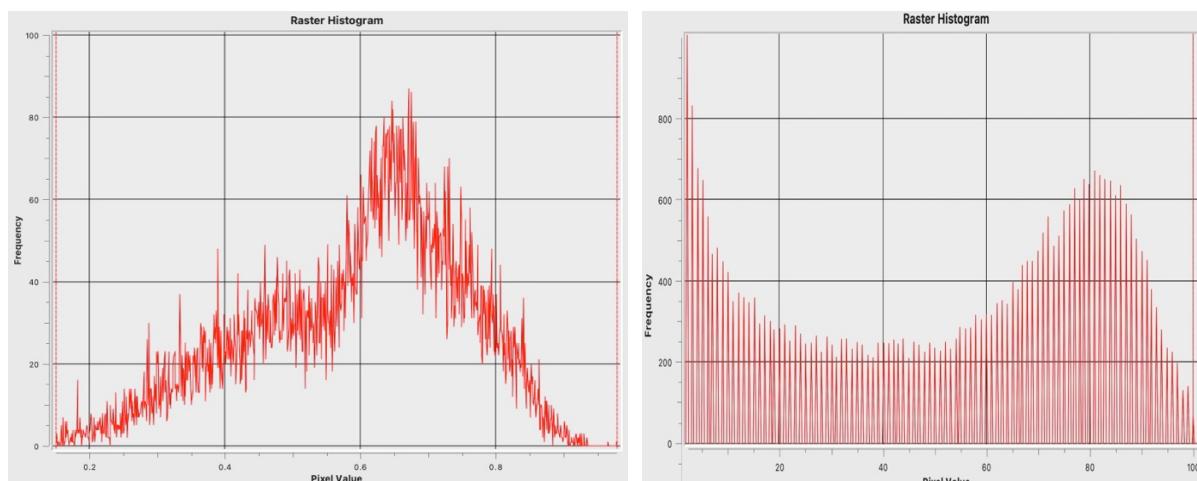
Slika 16. Originalna 1km FirEURisk karta pokrova krošnji (CC) Hrvatske (lijevo) i nova 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Razlika je za pokrov krošnji, bar prema izgledu karte, manja. Tablica 7. prikazuje statističke podatke za obje karte. Obje karte su bile iste veličine 466 x 461 piksela.

Tablica 7. Statistički podaci za originalna 1km FirEURisk karta pokrova krošnji (CC) Hrvatske i novu 1km karta dobivena iz nove 100m karte.

statistički pokazatelj	originalna 1km karta	nova 1km karta
minimalna vrijednost	15,07	0
maksimalna vrijednost	97,86	100
srednja vrijednost	59,56	49,97
standardna devijacija	15,41	31,94

Distribucijski dijagram raspodjele prikazuju histogrami na Slici 17. uz napomenu da su za novu kartu dobivenu iz globalnih karata visine diskretizirane, dok originalna FirEURisk karta ima kontinuirane podatke.



Slika 17. Histogrami originalne 1km FirEURisk karta pokrivenosti krošnji (CC) Hrvatske (lijevo) i nove 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Kod usporedbe histograma možemo uočiti da je kod nove karte maksimum pomaknut prema većim postocima pokrivenosti krošnji. Kako je za procjenu požarnog rizika i simulaciju širenja požara, koji su projektu FirEURisk bili u centru interesa, bolje precijeniti nego podcijeniti stvarno stanje, smatramo da je za 100m kartu pokrivenost krošnji (CC) [%] Hrvatske najbolje uzeti kartu u rezoluciji od 100 m dobivenu iz karte Europe za 2018.g. (TCD-100m, 2020.).

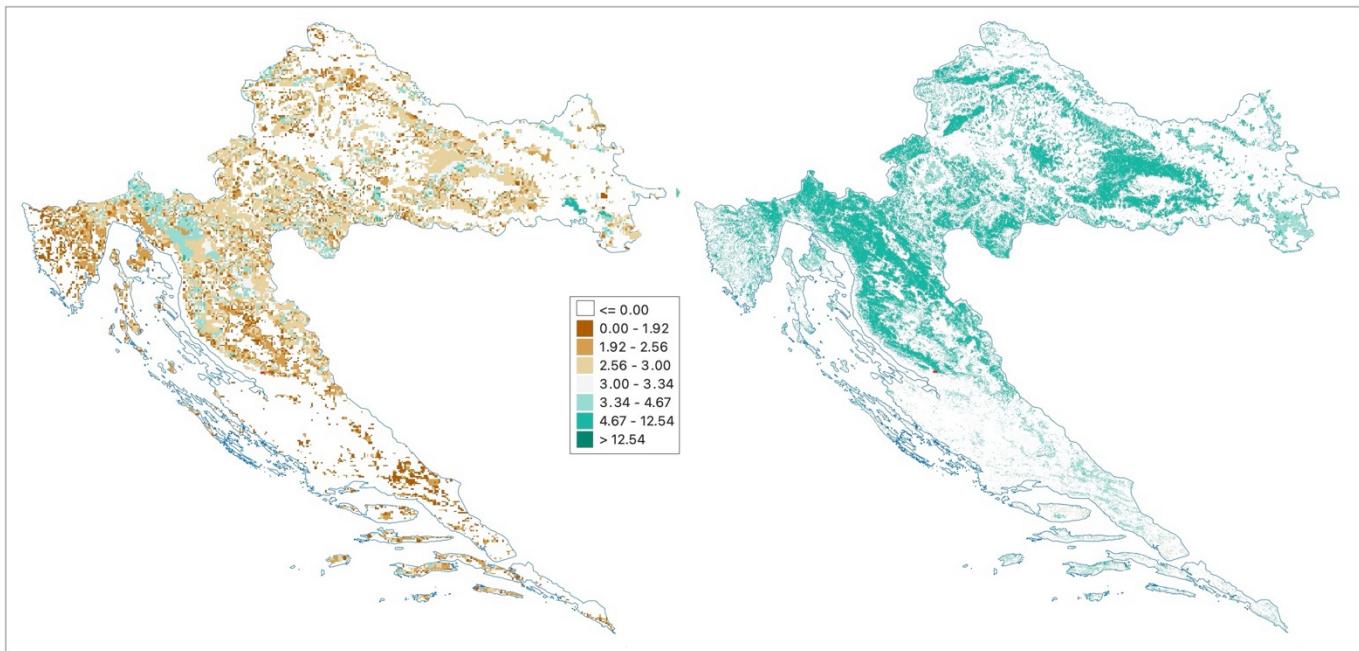
3.3. Usporedba karata visine baze krošnji (CBH)

Slika 18. prikazuje usporedbu visine bazi krošnje originalne 1 km FirEURisk karte s 1 km karte dobivenom iz 100 m karte.

Razlika je za visine baza krošnji, bar prema izgledu karte, najveća. Originalna FirEURisk karta daje dosta manje vrijednosti. To potvrđuje i Tablica 8. koja prikazuje statističke podatke za obje karte. Obje karte su bile iste veličine 466 x 461 piksela.

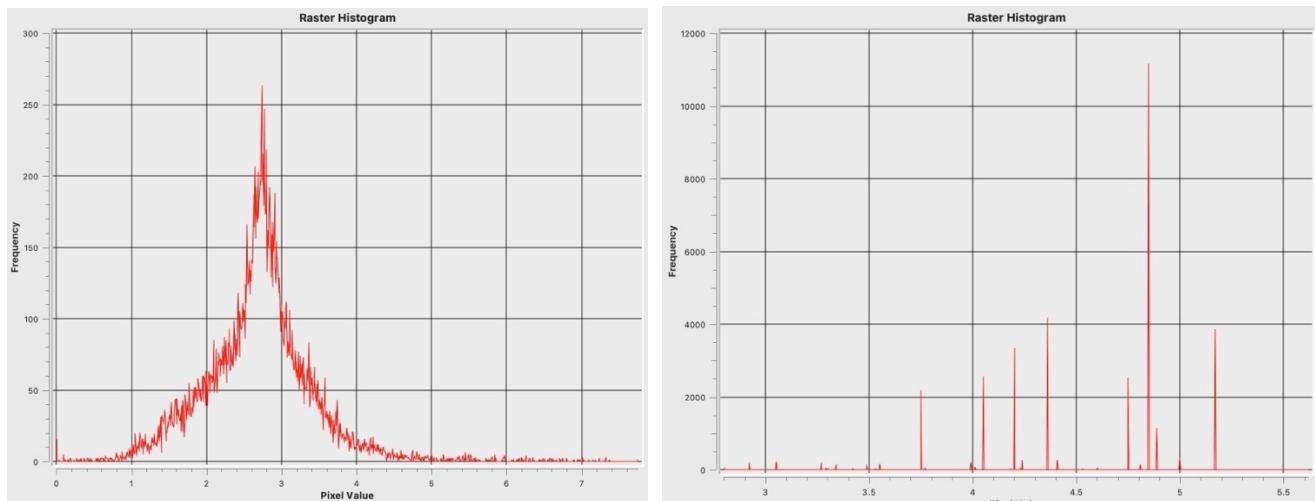
Tablica 8. Statistički podaci za originalna 1km FirEURisk karta pokrova krošnji (CC) Hrvatske i novu 1km karta dobivena iz nove 100m karte.

statistički pokazatelj	originalna 1km karta	nova 1km karta
minimalna vrijednost	0	2,80
maksimalna vrijednost	7,75	5,61
srednja vrijednost	2,70	4,55
standardna devijacija	0,71	0,48



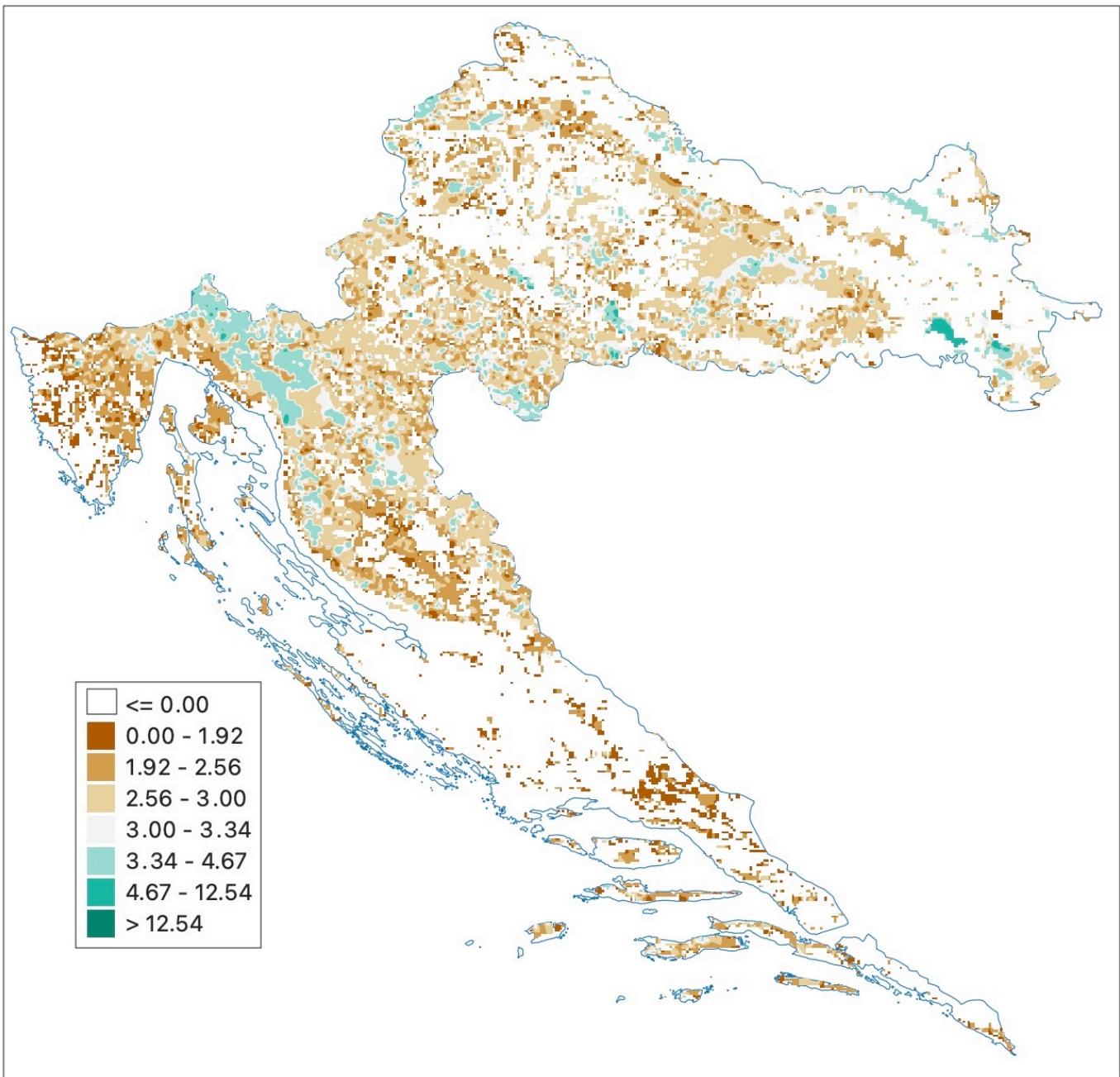
Slika 18. Originalna 1km FirEURisk karta visine baze krošnji (CBH) Hrvatske (lijevo) i nova 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Distribucijski dijagram raspodjele prikazuju histogrami na Slici 19. uz napomenu da su za novu kartu dobivenu iz globalnih karata visine diskretizirane u koracima od 1 m, dok originalna FirEURisk karta ima kontinuirane podatke.



Slika 19. Histogrami originalne 1km FirEURisk karta visina baze krošnji (CBH) Hrvatske (lijevo) i nove 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Kod usporedbe histograma možemo se uočiti isto, da je kod nove karte maksimum pomaknut prema većim vrijednostima. Kako je za procjenu požarnog rizika i simulaciju širenja požara, koji su projektu FirEURisk bili u centru interesa, bolje precijeniti nego podcijeniti stvarno stanje, smatramo da je za 100m kartu visine baze krošnji (CBH) [m] Hrvatske najbolje uzeti originalnu FirEURisk kartu preuzrokovana u rezoluciju od 100 m. Preuzorkovana karta, prikazana na Slici 20., napravljena je korištenjem bikubične interpolacije kako bi se dobila što glatkija interpolacija.

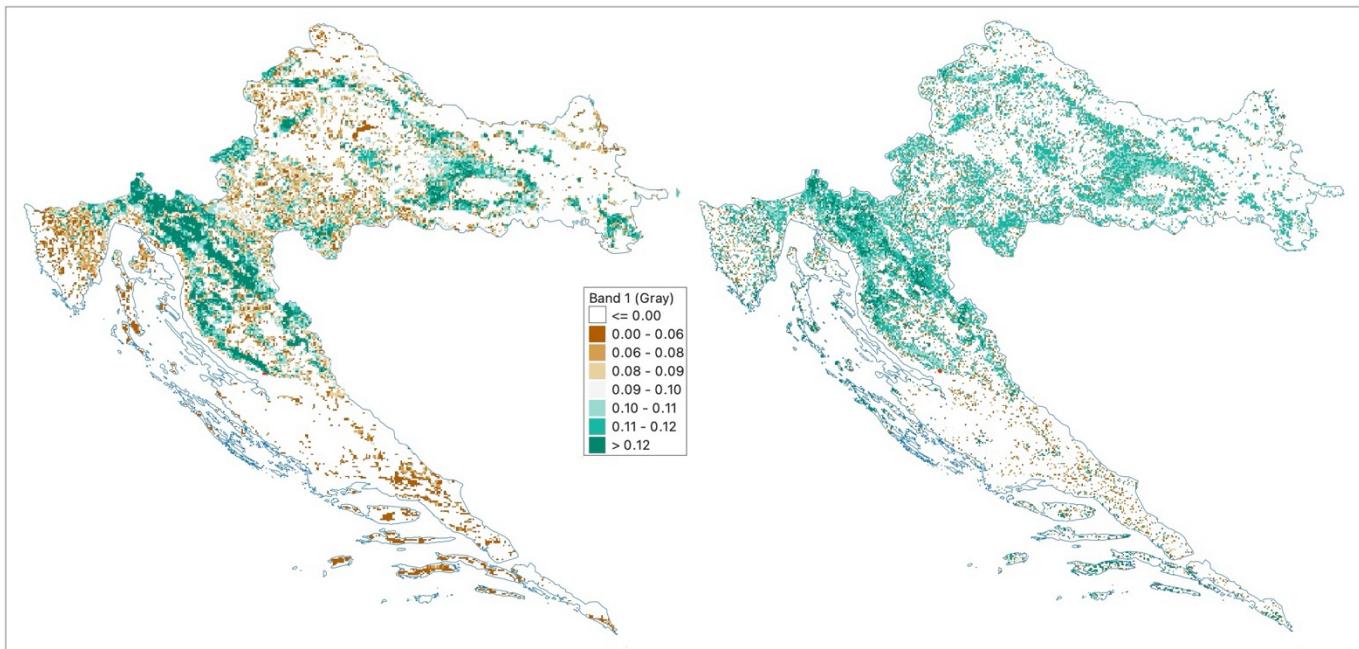


Slika 20. Karta visine baze krošnji (CBH) [m] Hrvatske u rezoluciji od 100 m izračunatu iz originalne 1 km FirEURisk karte postupkom bikubične interpolacije.

3.4. Usporedba karata volumetrijske gustoće krošnji (CBD)

Slika 21. prikazuje usporedbu volumetrijske gustoće krošnji originalne 1 km FirEURisk karte s 1 km kartom dobivenom iz 100 m karte. Obje karte su dobivene korištenjem konverzijских tablica razvijenih na University of Lleida (Alcasena, 2022.) i testiran na području Barcelone.

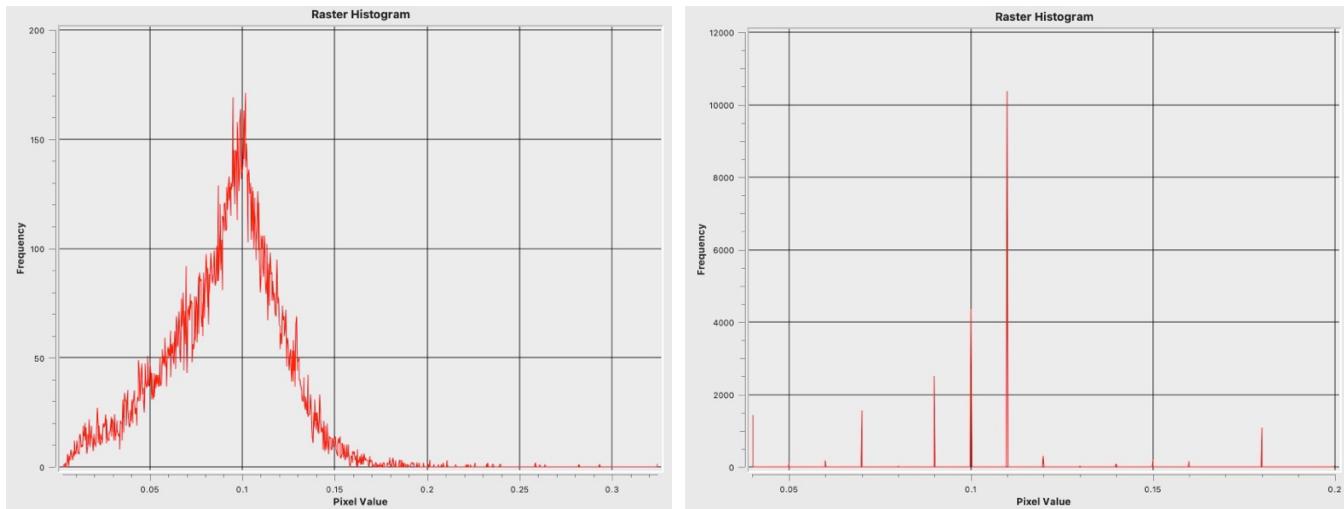
Kako je jedan od ulaznih parametara pokrivenost krošnji (CC) razlika je očita, zato što se pokrivenost krošnji kod originalnih 1 km karata i novih 100 m karti različita. Tablica 9. prikazuje statističke podatke za obje karte. Obje karte su bile iste veličine 466 x 461 piksela. Distribucijski dijagram raspodjelje prikazuju histogrami na Slici 17. uz napomenu da su za novu kartu dobivenu iz globalnih karata visine diskretizirane, dok originalna FirEURisk karta ima kontinuirane podatke.



Slika 21. Originalna 1km FirEURisk karta volumetrijske gustoće krošnji (CBD) Hrvatske (lijevo) i nova 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Tablica 9. Statistički podaci za originalna 1km FirEURisk karta volumetrijske gustoće krošnji (CBD) Hrvatske i novu 1km karta dobivena iz nove 100m karte.

statistički pokazatelj	originalna 1km karta	nova 1km karta
minimalna vrijednost	0,003	0,04
maksimalna vrijednost	0,32	0,2
srednja vrijednost	0,09	0,1
standardna devijacija	0,03	0,03



Slika 17. Histogrami originalne 1km FirEURisk karta volumetrijske gustoće krošnji (CBD) Hrvatske (lijevo) i nove 1km karta dobivena iz nove 100m karte (desno).

Histogrami i statističke vrijednosti su slični, a kako je kod proračuna jedan od ulaznih parametara pokrivenost krošnji (CC) za koju smo predložili kartu dobivenu iz karte Europe za 2018.g. (TCD-100m, 2020.), tako i ovdje predlažemo korištenje novu 100m kartu volumetrijske gustoće krošnji.

6. Zaključak

Kod simulacije požara u krošnjama uz standardne karte goriva (Stipaničev et al., 2024.) dodatni ulazni podaci su vezani uz gorivo u krošnjama:

- visina krošnji
- pokrov krošnji
- visina baze krošnji
- volumetrijska gustoća krošnji.

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 karata goriva u krošnjama koji su kao konačni rezultat dali 1 km karte goriva u krošnjama Europe. paralelno s ovim istraživanjima, istraživači CIPOP-a su radili i na proračunu 100 m karti goriva u krošnjama.

U ovom diseminacijskom izvještaju predstavljeni su i jedni i drugi rezultati:

- Načina dobivanja prve tri karte (CH, CC, CBH) u okviru FirEURisk projekta za područja Europe u rezoluciji 1 km, te dodatno način proračuna i četvrte karte (CBD) iz postojećih podataka.
- Alternativni način dobivanja sve četiri karte (CH, CC, CBH, CBD) za područje Hrvatske u rezoluciji 100 m.

Kod 100 m karti predlažemo da se za potrebe procjene požarnog rizika i simulacije širenja požara koriste slijedeće karte:

- Za 100m kartu visine krošnji (CH) [m] Hrvatske najbolje je uzeti kartu u rezoluciji od 100 m dobivenu preuzorkovanjem iz 10 m karte za 2020.g. (Lang et al. 2022).
- Za 100m kartu pokrivenost krošnji (CC) [%] Hrvatske najbolje uzeti kartu u rezoluciji od 100 m dobivenu iz karte Europe za 2018.g. (TCD-100m, 2020.).
- Za 100m kartu visine baze krošnji (CBH) [m] Hrvatske najbolje uzeti originalnu FirEURisk kartu preuzrokovana u rezoluciju od 100 m.
- Za 100m kartu volumetrijske gustoće krošnji (CBD) [kg/m^3] Hrvatske najbolje uzeti novo izračunatu kartu dobivenu na temelju pokrivenosti krošnji iz karte Europe za 2018.g. (TCD-100m, 2020.).

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

7. Literatura

- (Alcasena, 2022.) Alcasena, Fermin, (2022.) Personal communication during work on FirEURisk project, Universitat de Lleida, Lleida, Catalunya, Espagna
- (Aragoneses et al, 2024.) Aragoneses, E., García, M., Ruiz-Benito, P., Chuvieco,E., (2024.) Mapping forest canopy fuel parameters at European scale using spaceborne LiDAR and satellite data, Remote Sensing of Environment, Volume 303, 2024, 114005, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114005>.
- (Bugarić et al, 2023) Bugarić, M., Alcasena, F., Mimbrero, M.R., Stipaničev, D. (2023.) D1.1.5 - Del.1 Propagation potential - calculation methodology for Pilot Sites (PS), FirEURisk Report, 2023.
- (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.
- (Lang et al. 2022) Lang Nico, Jetz Walter, Schindler Konrad, Wegner Jan Dirk, A high-resolution canopy height model of the Earth, <https://langnico.github.io/globalcanopyheight/>
- (Stipaničev et al., 2024.) Stipaničev, D., Bugarić, M., Krstinić, D., Šerić, Lj., Braović, M., (2024.) FirEURisk modeli i karte goriva za područje Republike Hrvatske, Diseminacijski izvještaj, H2020 FirEURisk projekt, CIPOP Web portal – <https://cipop.fesb.hr>
- (TCD-100m, 2020.) Tree Cover Density 2018 (raster 100 m), Europe, 3-yearly, Sep. 2020, EEA Geospatial Dana Catalogue, <https://doi.org/10.2909/c7bf34ea-755c-4dbd-85b6-4efc5fd302a2>
- (Terbanova et al., 2023.) Turubanova S., Potapov P., Hansen M.C., Li X., Tyukavina A., Pickens A.H., Hernandez-Serna A., Arranz A.P., Guerra-Hernandez J., Senf C., Häme T., Valbuena R., Eklundh L., Brovkina O., Navrátilová B., Novotný J., Harris N., Stolle F. (2023) Tree Canopy Height Change in Europe, 2001-2021, Remote Sensing of Environment, Volume 298, 1 December 2023, 113797<https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113797>