

Frane Gilić, PhD in Technical Sciences

Frane Gilić defended his doctoral thesis on October 6, 2025, at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, titled *Development of a Geospatial Data Model for Global Land Cover Data Storage and Handling*. The dissertation was written under the supervision of Assoc. Prof. Mateo Gašparović, PhD, from the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, and was defended before a committee composed of Prof. Robert Župan, PhD, and Assoc. Prof. Mario Miler, PhD from the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, and Assist. Prof. Ivan Medved, PhD, from the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb. The same committee was also appointed as doctoral thesis evaluation committee.

Frane Gilić was born on September 22, 1994, in Split, Croatia, where he finished primary school and Construction and Geodetic Technical School. He obtained his university bachelor's degree in Geodesy and Geoinformatics in 2016 from the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split, and his master's degree in Geodesy and Geoinformatics in 2019 from the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, upon defending his master's thesis *Implementation of a System for Visualizing Large Point Clouds in a Web Browser*, written under the supervision of Assoc. Prof. Mario Miler, PhD. Upon completing his master's studies, he earned the academic title of Master of Engineering in Geodesy and Geoinformatics. In the same year, he enrolled in the doctoral program in Geodesy and Geoinformatics at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, and was employed as a teaching and research assistant at the Department of Geodesy and Geoinformatics of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split. In this position, he has participated in conducting exercises in several undergraduate courses. He has presented at several international scientific conferences and authored or co-authored several papers in international scientific journals and conference proceedings. He has also participated in several international scientific and professional projects.

The doctoral thesis was written in English and has a total of 147 pages, including 56 figures, 14 tables, a bibliography with 160 references, abstracts and keywords in both Croatian and English, and a brief autobiography.

The first chapter provides an overview of the most recent sources of global land cover data, with emphasis on the form in which these data are delivered to users – without exception, in a raster geospatial data model. This chapter also identifies some of the key challenges that

Frane Gilić defended his doctoral thesis on October 6, 2025, at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, titled *Development of a Geospatial Data Model for Global Land Cover Data Storage and Handling*. The dissertation was written under the supervision of Assoc. Prof. Mateo Gašparović, PhD.

Development of a Geospatial Data Model for Global Land Cover Data Storage and Handling

The dissertation is divided into six chapters:

- 1 Introduction
- 2 Overview of global grids
- 3 Development of an enhanced DGGS for land cover mapping
- 4 Discussion
- 5 Application of DGGS on land cover data
- 6 Conclusion and scientific contribution



Frane Gilić, doktor tehničkih znanosti

Frane Gilić obranio je 6. listopada 2025. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorski rad pod naslovom *Razvoj geoprostornog modela podataka za pohranu i rukovanje globalnim podatcima o pokrovu zemljišta* (engl. *Development of a Geospatial Data Model for Global Land Cover Data Storage and Handling*). Doktorski rad izrađen je pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Matea Gašparovića s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i obranjen pred povjerenstvom u sastavu: prof. dr. sc. Robert Župan i izv. prof. dr. sc. Mario Miler s Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i doc. dr. sc. Ivan Medved s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada bilo je u istom sastavu.

Frane Gilić rođen je 22. rujna 1994. u Splitu, gdje je završio osnovnu školu i Graditeljsko-geodetsku tehničku školu. Sveučilišni prijediplomski studij Geodezije i geoinformatike završava 2016. na Fakultetu građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, a sveučilišni diplomski studij Geodezije i geoinformatike 2019. godine na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, obranom diplomskog rada pod naslovom *Implementacija sustava za prikaz velikih oblaka točaka u internetskom pregledniku*, koji je izrađen pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Marija Milera. Završetkom diplomskog studija stječe akademski naziv sveučilišnog magistra inženjera geodezije i geoinformatike. Iste godine upisuje doktorski studij Geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i zapošljava se kao asistent na Katedri za geodeziju i geoinformatiku Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu. Na radnom mjestu sudjeluje u izvođenju vježbi iz više kolegija na sveučilišnim prijediplomskim studijima. Izlagao je na više međunarodnih znanstvenih konferencija i kao autor ili koautor objavio nekoliko radova u međunarodnim znanstvenim časopisima i zbornicima međunarodnih i domaćih konferencija. Sudjelovao je u nekoliko međunarodnih znanstvenih i stručnih projekata.

Doktorski rad napisan je na engleskom jeziku, sadrži 147 stranica formata A4, 56 slika, 14 tablica, popis literature sa 160 referenci, sažetak i ključne riječi na hrvatskom i engleskom jeziku i kratki životopis autora.

U prvom poglavlju dan je pregled trenutačno najnovijih izvora globalnih podataka o pokrovu zemljišta, s naglaskom na oblik u kojem se oni isporučuju korisnicima – bez iznimke u obliku rasterskog geoprostornog modela podataka. U tom poglavlju identificirani su i neki od osnovnih izazova koji se javljaju kod rukovanja globalnim rasterskim

Frane Gilić obranio je 6. listopada 2025. na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu doktorski rad pod naslovom *Razvoj geoprostornog modela podataka za pohranu i rukovanje globalnim podatcima o pokrovu zemljišta* (engl. *Development of a Geospatial Data Model for Global Land Cover Data Storage and Handling*). Doktorski rad izrađen je pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Matea Gašparovića.

Razvoj geoprostornog modela podataka za pohranu i rukovanje globalnim podatcima o pokrovu zemljišta

Doktorski rad podijeljen je u šest poglavlja:

1. Uvod
2. Pregled globalnih mreža
3. Razvoj poboljšanog DGGS-a za kartiranje pokrova zemljišta
4. Diskusija
5. Primjena DGGS-a na podatke o pokrovu zemljišta
6. Zaključak i znanstveni doprinos

arise when handling global raster land cover data georeferenced in 2D geographic or plane coordinate reference systems. Furthermore, it introduces the concept of the Discrete Global Grid System (DGGs) as a geospatial data model and georeferencing framework that can eliminate or at least mitigate some of the mentioned challenges.

The second chapter presents a classification of different approaches to defining global grids, i.e., grids that fully and without overlap define a tessellation of a sphere or ellipsoid used as a proxy models of the Earth's surface. Two basic types of grids are distinguished: those defined by direct tessellation of the sphere or ellipsoid and those defined through the application of map projections. In the latter case, the grid is first defined in a plane and then projected onto the sphere or ellipsoid. The grid can also be defined on the faces of a polyhedron and then projected, which implies that multiple planes are involved. This chapter also elaborates on the DGGs concept in more detail, and since the most common method for defining global grids in DGGs implementations is based on projection from polyhedral faces, the main terms and elements that define such DGGs are described.

At the beginning of the third chapter, the issues associated with handling global raster land cover data georeferenced in plane or 2D geographic coordinate reference systems are analyzed in detail. In both cases, the raster defines a tessellation based on a two-dimensional domain that is not topologically equivalent to a sphere or ellipsoid, which is the main source of the analyzed issues. Subsequently, the requirements that a DGGs must meet to be suitable for land cover data are defined, based on which the rHEALPix DGGs was identified as the most appropriate currently available implementation. The rHEALPix DGGs is an equal-area DGGs, meaning that all cells at the same hierarchical level have equal area. It supports defining grids on spheres and ellipsoids, and most cells have quadrangular shape. Two modifications to the rHEALPix DGGs were introduced. The first increases the accuracy of the equal-area mapping between an ellipsoid of revolution and a sphere by converting ellipsoidal latitude into authalic latitude while maintaining longitude. The improvement reduced round-off errors that are related to floating-point calculations and truncation errors in power series approximations. The second modification introduces a different approach for defining hierarchical grids on ellipsoids and spheres so that all grid cells are quadrangles and which results in grids that have cells with higher overall shape

stability. The results presented in this chapter demonstrate that the desired goals were achieved.

Chapter four provides discussion and interpretation of results. Alongside the analysis of errors in the conversion between ellipsoidal and authalic latitudes on sphere, it also presents a detailed comparison between the rHEALPix DGGs and its modified version, named QPix DGGs. The comparison showed that QPix DGGs performs equally or better than rHEALPix DGGs under all comparison criteria except for the criteria that requires simple relationship between grid and grid defined by meridians and parallels. This chapter concludes with a comparison between the tessellations defined by QPix DGGs and those defined by rasters georeferenced in plane or 2D geographic coordinate systems, showing that among the three analyzed grids, the QPix DGGs defines the most geometrically uniform tessellation.

Chapter five demonstrates the application of DGGs to land cover data. Specifically, it presents the procedure for calculating land cover change based on the GLC_FCS30D land cover dataset using four methods. The first method used the original GLC_FCS30D raster data georeferenced in a 2D geographic coordinate system, in the second, original raster was reprojected into a plane using an equal-area projection before change calculation, while in the third and fourth methods original raster was reprojected into rHEALPix and QPix DGGs, respectively. The results of land cover change calculations showed no statistically significant deviations, indicating that existing raster data can be converted into DGGs structures with minimal information loss and that DGGs structure is suitable for storing and handling land cover data. The end of this chapter also discusses the relationship between DGGs and vector and raster geospatial data models and positions DGGs within the broader context of geoinformation system development.

The sixth chapter summarizes the main conclusions of the dissertation, outlines the scientific contributions, and confirms that the proposed hypotheses were successfully validated.

The evaluation committee concluded that the doctoral thesis meets the criteria of original scientific research and represents a significant contribution to the field of geodesy and geoinformatics, particularly concerning the increasingly prominent challenges related to effective management of large spatiotemporal datasets.

Mateo Gašparović ■

podacima o pokrovu zemljišta kad su oni georeferencirani u 2D geografskom ili projekcijskom koordinatnom referentnom sustavu. Uveden je i koncept sustava diskretnih globalnih mreža (engl. Discrete Global Grid System, skraćeno DGGs) kao geoprostornog modela podataka i okvira za georeferenciranje čijom je primjenom moguće eliminirati ili barem reducirati neke od spomenutih izazova.

U drugom poglavlju je dana klasifikacija različitih pristupa u definiranju globalnih mreža, tj. mreža koje potpuno i bez preklapanja definiraju teselaciju sfere ili elipsoida koji se koriste kao pojednostavljeni model za Zemljinu fizičku površinu. Dvije su osnovne vrste mreža: one koje su definirane direktnom teselacijom sfere ili elipsoida i one koje su definirane primjenom kartografskih projekcija. Kod druge vrste mreža, mreža se najprije definira u ravni i zatim projicira na sferu ili elipsoid. Pritom je mrežu moguće definirati na stranicama poliedra, a zatim je projicirati, pa se u tom slučaju ne radi o jednoj, već o više ravnina. U ovom je poglavlju detaljnije opisan koncept DGGs-a i, kako je najčešći način definiranja globalnih mreža u DGGs-ovima baziran na projekciji mreža s ploha poliedra, navedeni su osnovni pojmovi i elementi koji definiraju takve DGGs-ove.

Na početku trećeg poglavlja detaljno su analizirani izazovi koji su vezani uz rukovanje globalnim rasterskim podacima o pokrovu zemljišta koji su georeferencirani u projekcijskom ili 2D geografskom koordinatnom referentnom sustavu. U oba slučaja raster definira teselaciju koja se zasniva na dvodimenzionalnoj domeni, a koja nije topološki ekvivalentna sferi ili elipsoidu, što je i glavni uzrok analiziranih izazova. Zatim su postavljeni uvjeti koje DGGs treba ispunjavati kako bi bio prikladan za podatke o pokrovu zemljišta, a na temelju kojih je rHEALPix DGGs identificiran kao trenutno najprikladnija primjena DGGs-a. rHEALPix DGGs je DGGs u kojem sve ćelije u mreži na istoj hijerarhijskoj razini imaju istu površinu (tzv. ekvivalentan DGGs), podržava definiranje mreža na sferi i elipsoidu i većina ćelija su četverokutnog oblika. U ovom su poglavlju uvedene i dvije izmjene u rHEALPix DGGs. Prva se odnosi na povećanje točnosti ekvivalentnog preslikavanja rotacijskog elipsoida na sferu i obrnuto, što se postiže preračunavanjem elipsoidne širine u ekvivalentnu širinu, uz zadržavanje dužine. Povećanje točnosti se postiglo smanjenjem pogreške zaokruživanja koja je karakteristična za izvođenje računskih operacija s pomičnim zarezom i smanjenjem pogreške odbacivanja koja se javlja kod aproksimacije razvojem u red. Druga izmjena se odnosi na primjenu drugačijeg pristupa u definiranju rHEALPix DGGs hijerarhijskih mreža na elipsoidima i sferama tako da sve ćelije u mreži budu četverokuti i da se poveća sveukupna stabilnost oblika ćelija u

mreži. U ovom poglavlju su izneseni i rezultati iz kojih je vidljivo da su se uvedenim izmjenama postigli željeni ciljevi.

Četvrto poglavlje sadrži diskusiju i interpretaciju rezultata. U njemu, osim što su analizirani uzroci pogrešaka u preračunavanju elipsoidne u ekvivalentnu širinu na sferi i obrnuto, provedena je i detaljna usporedba rHEALPix DGGs-a i njegove modificirane verzije koja je dobivena uvedenim izmjenama i koja je nazvana QPix DGGs. Usporedba je pokazala da je po svim kriterijima za usporedbu globalnih mreža QPix DGGs jednak ili bolji od rHEALPix DGGs-a, osim po kriteriju po kojem bi mreža trebala biti u jednostavnom odnosu s mrežom meridijana i paralela. Na kraju ovog poglavlja uspoređena je teselacija definirana QPix DGGs-om i teselacija definirana rasterom koji je georeferenciran u projekcijskom ili 2D geografskom koordinatnom referentnom sustavu. Usporedba je pokazala da od tri analizirane mreže QPix DGGs mreža definira teselaciju s najvećom geometrijskom pravilnošću.

U petom poglavlju je demonstrirana primjena DGGs-a na podatke o pokrovu zemljišta. Konkretno, prikazan je postupak računanja promjena u pokrovu zemljišta na temelju podataka GLC_FCS30D primjenom četiri metode. U prvoj metodi su korišteni izvorni rasterski podatci GLC_FCS30D koji su georeferencirani u 2D geografskom koordinatnom referentnom sustavu, u drugoj je izvorni raster prije računanja promjena projiciran u ravninu primjenom ekvivalentne projekcije, a u trećoj i četvrtoj metodi je izvorni raster projiciran u rHEALPix i QPix DGGs. Rezultati računanja promjena u zemljišnom pokrovu nisu pokazali statistički značajna odstupanja čime je pokazano da se postojeći rasterski podatci bez značajnijih gubitaka mogu prevesti u DGGs strukturu i da je takva struktura pogodna za pohranu i rukovanje podacima o pokrovu zemljišta. Na kraju ovog poglavlja diskutira se i veza između DGGs-a i vektorskog i rasterskog geoprostornog modela podataka te se DGGs stavlja u kontekst cjelokupnog razvoja geoinformacijskih sustava.

U šestom poglavlju objedinjeni su glavni zaključci doktorskog rada, navedeni su znanstveni doprinosi i zaključeno je da su postavljene istraživačke hipoteze ispunjene.

Povjerenstvo za ocjenu doktorskog rada ocijenilo je da doktorski rad udovoljava kriterijima izvornog znanstvenog istraživanja i da predstavlja značajan doprinos području geodezije i geoinformatike, posebno u smjeru rješavanja sve izraženijih izazova vezanih uz učinkovito upravljanje velikim skupovima prostorno-vremenskih podataka.

Mateo Gašparović ■