

Map Projections and Sustainability

Miljenko LAPAINE, Nedjeljko FRANČULA, Marina VILIČIĆ

University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Croatia
mlapaine@geof.hr (ORCID: 0000-0002-9463-2329)
nfrancul@geof.hr (ORCID: 0000-0002-0198-9637)
mvilicic@geof.hr (ORCID: 0000-0003-4312-4073)

Given that first and third authors are the editors of this journal, the review process was carried out and the independent editorial decision was made by the external editor Asoc. Prof. Martina Baučić. We thank Asoc. Prof. Martina Baučić for help related to a potential conflict of interest.

Abstract. The United Nations called on the international community to move forward together. Through the Sustainable Development Goals (SDG), a plan was set until 2030. The use of maps, mapping technology and the skills of cartographers help synthesize and visualize complex data. Maps allow insights into trends and comparisons between different areas and over different time periods. Mapping helps in better understanding and implications of each sustainable development goal. For this purpose, the paper presents map projections with a special emphasis on mapping for a sustainable world. Map projection is not only the transformation of geospatial data, but of any data related to space. Presented is a modern classification of map projections that differs from the usual division into cylindrical, conical and azimuthal. For maps of the world adapted to the goals of sustainable development, the Winkel Triple projection is proposed. Different map projections bring with them significantly different distortions. The energy consumption for displaying a digital map varies greatly when using different projections. This is the area of a new branch of cartography – green cartography. In the article, we take a critical look at the research of digital maps and their carbon footprint and warn against maps made in map projections that should not be researched in the future. The article is intended for everyone who is interested in cartography as an auxiliary profession in sustainable development, but also for cartographers who do not think critically enough about map projections.

Keywords: map projections, sustainability, green cartography

1 Introduction

Mapping in cartography or cartographic mapping is the process of relating a set of spatially related data to another set called a representation or model or map, while preserving spatial layouts and simplifying details. A map is a medium designed to communicate generalized spatial information and relationships. A map often contains a title, scale, map projection, map grid or

coordinate grid, legend, source citation, information about the map's author, publisher, and date of creation. A map is usually made in a visual form and is used for communication using map symbols (Lapaine et al. 2021).

The aim of this article is to correctly present map projections in mapping for a sustainable world. We will explain that map projection is not a transformation of only geospatial data, but any data related to space. Next, we will give a modern classification of map projections

Kartografske projekcije i održivost

Miljenko LAPAINE, Nedjeljko FRANČULA, Marina VILIČIĆ

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb
mlapaine@geof.hr (ORCID: 0000-0002-9463-2329)
nfrancul@geof.hr (ORCID: 0000-0002-0198-9637)
mvilicic@geof.hr (ORCID: 0000-0003-4312-4073)

S obzirom na to da su prvi i teći autor urednici ovog časopisa, postupak recenziranja obavila je i neovisnu uredničku odluku donijela vanjska urednica izv. prof. dr. sc. Martina Baučić. Zahvaljujemo izv. prof. dr. sc. Martini Baučić na pomoći vezanoj uz potencijalni sukob interesa.

Sažetak. Ujedinjeni narodi pozvali su zemlje svijeta da sve napreduju zajedno. Kroz Ciljeve održivog razvoja postavljen je plan do 2030. godine. Upotreba karata, tehnologije kartiranja i vještina kartografa pomažu u sintetiziranju i vizualizaciji složenih podataka. Karte omogućuju uvid u trendove i usporedbu između različitih područja i tijekom različitih vremenskih razdoblja. Kartografiranje pomaže u boljem razumijevanju i implikacijama svakog cilja održivog razvoja (Sustainable Development Goal – SDG). U tu svrhu prikazane su kartografske projekcije s posebnim naglaskom na kartiranje za održivi svijet. Kartografska projekcija nije transformacija samo geoprostornih podataka, već bilo kojih podataka koji se odnose na prostor. Prikazana je suvremena klasifikacija kartografskih projekcija koja se razlikuje od uobičajene podjele na cilindrične, konusne i azimutne. Za karte svijeta prilagođene ciljevima održivog razvoja predlaže se Winkelova trostruka projekcija (Winkel tripel). Različite kartografske projekcije donose sa sobom bitno različite distorzije. Potrošnja energije za prikaz neke digitalne karte uvelike varira pri primjeni različitih projekcija. To je područje nove grane kartografije – zelene kartografije. U članku se kritički osvrćemo na istraživanje digitalnih karata i njihov ugljični otisak i upozoravamo na karte izrađene u kartografskim projekcijama koje ne bi trebalo istraživati u budućnosti. Članak je namijenjen svima koje zanima kartografija kao pomoćna struka u održivom razvoju, ali i kartografima koji o kartografskim projekcijama ne razmišljaju dovoljno kritički.

Ključne riječi: kartografske projekcije, održivost, zelena kartografija

1. Uvod

Preslikavanje u kartografiji ili *kartografsko preslikavanje* je proces koji povezuje skup prostorno povezanih podataka s drugim skupom koji se naziva prikaz ili model ili karta, uz očuvanje prostornih rasporeda i pojednostavljivanjem detalja. Karta je medij dizajniran za komunikaciju generaliziranih prostornih informacija i odnosa. Karta često sadrži naslov, mjerilo, kartografsku projekciju, kartografsku mrežu ili koordinatnu mrežu, tumač znakova, citat izvora, podatke o autoru karte, izdavaču i datumu izrade. Karta se

obično izrađuje u vizualnom obliku i služi za komunikaciju pomoću kartografskih simbola (Lapaine i dr. 2021).

Cilj ovog članka je na ispravan način prikazati kartografske projekcije u kartiranju za održivi svijet. Objasniti ćemo da kartografska projekcija nije transformacija samo geoprostornih podataka, već bilo kojih podataka koji se odnose na prostor. Zatim ćemo dati suvremenu klasifikaciju kartografskih projekcija koja se razlikuje od uobičajene podjele na cilindrične, konusne i azimutne. Posebno ćemo se osvrnuti na točke i linije bez distorzija pri kartografskim projekcijama.

that differs from the usual division into cylindrical, conical and azimuthal. We will especially refer to points and lines without deformations during map projections.

A special part of the article deals with green cartography and map projections. Map projections introduce distortions and thus affect the visual appearance of digital maps and their carbon footprint (a measure of the total emission of greenhouse gases directly or indirectly caused by a person, product, company or event) in at least two ways. Different map projections introduce significantly different distortions. Power consumption (excluding white background) for map display varies greatly when different projections are applied. Research has shown that energy consumption when applying the Mercator projection is four times higher than the consumption of an equal area of Goode, Behrmann or Sinusoidal projection, assuming that the scale of the map is constant (Wu et al. 2024). The question arises as to how to compare the application of different map projections in order to make the research results as reliable as possible.

2 Map Projections

Map projections have been used for more than two millennia. These are mappings of curved surfaces, especially ellipsoids or spheres, into a plane. The term map projection entered cartography from mathematics, but it does not refer only to projections known in mathematics, such as perspective or central projection and axonometry, i.e. parallel projection. The noun "projection" in cartography should be understood conditionally, because it refers to any mapping of a curved surface, usually a sphere or an ellipsoid, into a plane (Lapaine 2020).

So far, many books and textbooks on general, thematic and mathematical cartography have been published, as well as articles in journals, in which the classification of map projections is based on auxiliary (developable) surfaces, and the projections are divided into conical, cylindrical and azimuthal projections. This classification is usually illustrated by images in which the surface of a cone, cylinder, or plane touches or intersects the Earth's sphere (e.g., Kraak et al. 2019).

When searching for a term, many of us will look for the first solution on the Internet, and most often it will be Wikipedia. There we can find this description: "The basic classification of projections is based on the type of projection surface onto which the globe is conceptually projected. The projections are described by placing a huge surface in contact with the Earth, followed by the application of a scale change. These surfaces are cylindrical (eg Mercator projection), conical (eg Albers

projection) or planes (eg stereographic projection). However, many mathematical projections do not fit into any of these three conceptual projection methods." (Wikipedia 2021). There are several reasons why this classification of map projections is not recommended. It is not wise to use intermediate developable surfaces in the interpretation of map projections in general because (Lapaine, Frančula 2022):

- Most map projections do not have an auxiliary surface in their definition.
- Applying an auxiliary/intermediate developable surface can lead to the wrong conclusion about the distortion distribution – standard parallels (parallels with zero distortion) and secant parallels generally do not coincide.
- It is not recommended to classify map projections on the basis of developable surfaces because such a classification (1) cannot correspond to many map projections, (2) implicitly or explicitly it gives high weight to developable surfaces in the theory of map projections, which they do not deserve, (3) is misleading that standard parallels and secant parallels are one and the same, which is generally not true, and (4) leads to the erroneous conclusion that there are other developable surfaces (pseudocylinders, ovals) with which pseudocylindrical and other map projections can be defined.
- Cylindrical, conic and azimuthal projections belong to the classification of map projections according to the shape of the map grid in normal aspect projections. Such a classification naturally includes pseudocylindrical, pseudoconic, polyconic and other projections.

Furthermore, there is no need to use developable surfaces in the classification of map projections. Map projections can be classified into several classes or groups according to different criteria:

1. According to the type of distortions: conformal, equivalent, equidistant and others;
2. According to aspect: normal, transverse, oblique;
3. According to the shape of the network in the normal aspect: cylindrical, conic, azimuthal, pseudoconic, pseudocylindrical, polyconic, circular and others.

In the theory of map projections, we do not need conceptuality, reality is enough.

In the existing cartographic literature, standard parallels are not unambiguously defined. Therefore, Lapaine (2024) first defines standard points and then standard parallels. It turns out that it is useful to define equidistantly mapped points and then equidistantly mapped parallels. In doing so, we must distinguish between equidistant mapping in the direction of the parallel and in

Poseban dio članka bavi se zelenom kartografijom i kartografskim projekcijama. Kartografske projekcije unose distorzije i na taj način utječu na vizualni izgled digitalnih karata i njihov ugljični otisak (*carbon footprint* – mjera je ukupne emisije stakleničkih plinova koju izravno ili neizravno uzrokuje neka osoba, proizvod, tvrtka ili događaj) na najmanje dva načina. Različite kartografske projekcije unose značajno različite distorzije. Potrošnja energije (isključujući bijelu pozadinu) za prikaz karte uvelike varira kada se primjenjuju različite projekcije. Istraživanja su pokazala da je potrošnja energije kod primjene Mercatorove projekcije četiri puta veća od potrošnje jednake površine Goodeove, Behrmannove ili sinusne projekcije, uz pretpostavku da je mjerilo karte konstantno (Mingguang i dr. 2024). Postavlja se pitanje kako usporediti primjenu različitih kartografskih projekcija da bi rezultati istraživanja bili što pouzdaniji.

2. Kartografske projekcije

Kartografske projekcije koriste se više od dva tisućljeća. To su preslikavanja zakrivljenih površina, osobito elipsoida ili kugli, u ravninu. Iz matematike je u kartografiju ušao pojam kartografska projekcija, ali on se ne odnosi samo na projekcije poznate u matematici, kao što su perspektivna ili centralna projekcija i aksonometrija, odnosno paralelna projekcija. Imenicu "projekcija" u kartografiji treba shvatiti uvjetno, jer se odnosi na svako preslikavanje zakrivljene plohe, najčešće sfere ili elipsoida, u ravninu (Lapaine 2020).

Do sada su objavljene mnoge knjige i udžbenici opće, tematske pa i matematičke kartografije, kao i članci u časopisima, u kojima se klasifikacija kartografskih projekcija temelji na pomoćnim (razvojnim) ploham, a projekcije se dijele na konusne, cilindrične i azimutne projekcije. Ta klasifikacija obično je ilustrirana slikama na kojima ploha stošca, valjka ili ravnine dodiruju ili si ječe Zemljinu sferu (npr. Kraak i dr. 2019).

Prilikom traženja pojma mnogi od nas prvo će rješenje potražiti na internetu, a najčešće će to biti Wikipedia. Tamo možemo pronaći ovaj opis: "Osnovna klasifikacija projekcija temelji se na vrsti projekcijske plohe na koju se konceptualno projicira globus. Projekcije su opisane s pomoću postavljanja ogromne plohe u kontakt sa Zemljom, nakon čega slijedi primjena promjene mjerila. Te plohe su cilindrične (npr. Mercatorova projekcija), konusne (npr. Albersova projekcija) ili ravnine (npr. stereografska projekcija). Međutim, mnoge matematičke projekcije ne uklapaju se ni u jednu od te tri konceptualne metode projekcija." (Wikipedia 2021). Postoji nekoliko razloga zašto se ta klasifikacija

kartografskih projekcija ne preporučuje. Nije mudro upotrebljavati posredne razvojne plohe u interpretaciji kartografskih projekcija općenito jer (Lapaine, Frančula 2022):

- Većina kartografskih projekcija u svojoj definiciji nema pomoćnu plohu.
- Primjena pomoćne/posredne razvojne plohe može dovesti do pogrešnog zaključka o raspodjeli distorzije—standardne paralele (paralele s nultom distorzijom) i presječne paralele općenito se ne podudaraju.
- Ne preporuča se klasificirati kartografske projekcije na temelju razvojnih ploha jer takva klasifikacija (1) ne može odgovarati mnogim kartografskim projekcijama, (2) implicitno ili eksplicitno daje visoku težinu razvojnim ploham u teoriji kartografskih projekcija što one ne zaslužuju, (3) dovodi u zabludu da su standardne paralele i presječne paralele jedno te isto, što općenito nije točno, i (4) iznosi pogrešan zaključak da postoje druge razvojne plohe (pseudocilindri, ovali) s pomoću kojih se mogu definirati pseudocilindrične i druge kartografske projekcije.
- Cilindrične, konusne i azimutne projekcije pripadaju klasifikaciji kartografskih projekcija prema obliku kartografske mreže u uspravnim projekcijama. U takvu klasifikaciju prirodno ulaze pseudocilindrične, pseudokonusne, polikonusne i druge projekcije.

Nadalje, nema potrebe za upotrebom razvojnih ploha u klasifikaciji kartografskih projekcija. Kartografske projekcije mogu se klasificirati u nekoliko klasa ili skupina prema različitim kriterijima:

1. Prema vrsti distorzija: konformne, ekvivalentne, ekvidistantne i druge;
2. Prema aspektu: uspravne, poprečne, kose;
3. Prema obliku mreže u uspravnom aspektu: cilindrične, konusne, azimutne, pseudokonusne, pseudocilindrične, polikonusne, kružne i druge.

U teoriji kartografskih projekcija ne treba nam konceptualnost, dovoljna je realnost.

U postojećoj kartografskoj literaturi standardne paralele nisu jednoznačno definirane. Stoga Lapaine (2024) prvo definira standardne točke, a zatim standardne paralele. Ispostavilo se da je korisno definirati ekvidistantno preslikane točke, a zatim ekvidistantno preslikane paralele. Pritom moramo razlikovati ekvidistantno preslikavanje u smjeru paralela i u smjeru meridijana. Osim toga, uočeno je da se ekvidistantno preslikane paralele u smjeru paralela načelno razlikuju od paralela prave duljine. Lapaine (2024) je predložio ove definicije:

- Standardna točka je točka u kojoj su linearne distorzije jednake nuli u svim smjerovima.
- Standardna paralela je paralela čije su sve točke standardne;

the direction of the meridian. In addition, it was observed that equidistant mapped parallels in the direction of parallels differ in principle from parallels of true length. Lapaine (2024) proposed these definitions:

- A standard point is a point where the linear distortions are equal to zero in all directions.
- A standard parallel is a parallel whose all points are standard;
- An equidistantly mapped point in the direction of the parallel that passes through that point has the property $k=1$, where k is the linear scale factor in the direction of the parallel at that point;
- An equidistantly mapped parallel in the direction of that parallel is a parallel whose all points are equidistantly mapped in the direction of that parallel;
- An equidistantly mapped point in the direction of the meridian passing through that point has the property $h=1$, where h is the linear scale factor in the direction of the meridian at that point;
- An equidistantly mapped parallel in the direction of the meridian is a parallel whose all points are equidistantly mapped in the direction of that meridian;
- An equidistantly mapped meridian in the direction of the meridian, as well as an equidistantly mapped meridian in the direction of the parallels, can be defined analogously;
- A parallel of true length is a parallel whose length in the plane of projection is equal to the length of that parallel on the sphere (ellipsoid).

So, since every standard parallel is also an equidistantly mapped parallel, then every standard parallel will also be a true length parallel. The reverse is not valid. A true length parallel does not have to be a standard parallel.

3 Choosing Map Projections Suitable for Sustainability

In the creation of a project of the mathematical basis of a small-scale map, it is necessary to determine the map scale, choose a projection, form a cartographic network and solve the composition of the map. When choosing a map projection, it is necessary to establish the nature of the deformations, their size and distribution on certain parts of the map. In order to be able to do this, we need to have software for drawing the graticule, the outlines of continents and the borders of countries in a large number of map projections. One such tool is G.Projector. This software converts the input map image into any of about 200 global and regional projections. Longitude and latitude grids and continental outlines can be drawn on the map, and the resulting image can be saved to disk in GIF, JPEG, PDF, PNG, PS, or TIFF format (NASA 2024).

When assessing distortions on individual parts of the map, it is sufficient to draw a graticule and contours of the mapping area. This primarily applies to world maps. Distortions are easily visible on maps of larger parts of the Earth's sphere, and often on maps of continents.

In creating a project of the mathematical basis of a map, it is often necessary to have an exact representation of the size and distribution of distortions. Such a representation is made possible by isocoles, i.e. lines of equal distortions, or deformation ellipses. Therefore, it is desirable that the software enables their display on the monitor screen together with the graticule and the outlines of the mapping area (Canter, Declair 1989).

The drawn graticule with the outline of the mapping area and isocoles or deformation ellipses makes the choice of projection much easier. If an individual projection does not meet all the set requirements, it is useful that the software enables the modification of a projection, i.e. obtaining new variants (Jenny, Šavrič 2017).

The composition of the map consists of the determination of the boundaries of the mapping area and the placement of the area within the map frame, as well as the arrangement of map names, scales, legend and, if necessary, supplementary maps. Map composition can be defined as a rational organization of map space. When deciding the composition of the map, in most cases it is natural to orient the cartographic representation so that the middle straight meridian is parallel to the lateral frame lines. It is the so-called ordinary orientation. In some cases, the general configuration of the displayed territory is such that the area of the map is significantly larger in normal orientation than in oblique orientation. In such cases, the application of oblique orientation is often justified.

On maps of continents, oceans, and especially the entire world, the size of the map depends not only on the main scale and the covered area, but also on the peculiarities of the projection. Therefore, in order to determine the optimal composition, it is often necessary to compare several variants.

Displaying the entire Earth on a flat map is a complex operation. First, one needs to choose a map projection that will serve as a base. In each of the basic classes of projections, many can be chosen, and each of them can be constructed in any desired aspect. One has to decide on the required attributes and then adopt the appropriate distribution of inevitable distortions. It is not an easy choice to make, but the benefits of providing the best possible representation of the Earth are worth the effort (Lapaine, Usery 2017).

In the context of the SDG, the primary concern when choosing a projection is to find a balanced and fair representation for all the countries shown on the

- Ekvidistantno preslikana točka u smjeru paralele koja prolazi kroz tu točku ima svojstvo $k=1$, gdje je k faktor linearnog mjerila u smjeru paralele u toj točki;
- Ekvidistantno preslikana paralela u smjeru te paralele je paralela čije su sve točke ekvidistantno preslikane u smjeru te paralele;
- Ekvidistantno preslikana točka u smjeru meridijana koji prolazi kroz tu točku ima svojstvo $h=1$, gdje je h faktor linearnog mjerila u smjeru meridijana u toj točki;
- Ekvidistantno preslikana paralela u smjeru meridijana je paralela čije su sve točke ekvidistantno preslikane u smjeru tog meridijana;
- Analogno se može definirati ekvidistantno preslikani meridijan u smjeru meridijana, kao i ekvidistantno preslikani meridijan u smjeru paralela;
- Paralela prave duljine je paralela čija je duljina u ravni projekcije jednaka duljini te paralele na sferi (elipsoidu).

Dakle, budući da je svaka standardna paralela također ekvidistantno preslikana paralela, tada će svaka standardna paralela također biti paralela stvarne duljine. Obrnuto ne vrijedi. Paralela prave duljine ne mora biti standardna paralela.

3. Izbor kartografske projekcije prikladne za održivost

U izradi projekta matematičke osnove karte sitnog mjerila treba odrediti mjerilo karte, izabrati projekciju, oblikovati kartografsku mrežu i riješiti kompoziciju karte. Izabirući kartografsku projekciju neophodno je ustanoviti karakter distorzija, njihovu veličinu i raspored na pojedinim dijelovima karte. Da bismo to mogli treba imati programe za crtanje mreže meridijana i paralela, kontura kontinenata i granica država u većem broju kartografskih projekcija. Jedno od takvih pomagala je G.Projector. Taj softver pretvara ulaznu sliku karte u bilo koju od oko 200 globalnih i regionalnih projekcija. Na karti se mogu iscrtati mreže geografske dužine i širine i obrisi kontinenata, a rezultirajuća slika može se spremati na disk u formatu GIF, JPEG, PDF, PNG, PS ili TIFF (NASA 2024).

Pri ocjeni distorzija na pojedinim dijelovima karte dovoljno je nacrtati mrežu meridijana i paralela i konture područja preslikavanja. To se prvenstveno odnosi na karte svijeta. Distorzije su lako uočljive i na kartama većih dijelova Zemljine sfere, a često i na kartama kontinenata.

U izradi projekta matematičke osnove neke karte potrebno je često imati egzaktn prikaz veličine i rasporeda distorzija. Takav prikaz omogućuju izokole, tj. linije

jednakih distorzija, ili elipse distorzija. Stoga je poželjno da softver omogućuje i njihov prikaz na ekranu monitora zajedno s mrežom meridijana i paralela i konturama područja preslikavanja (Canters, Decler 1989).

Iscrtana mreža meridijana i paralela s konturama područja preslikavanja i izokolama ili elipsama distorzija znatno olakšava izbor projekcije. Ako pojedina projekcija ne zadovoljava sve postavljene zahtjeve, korisno je da softver omogućuje modifikaciju pojedine projekcije, tj. dobivanje novih varijanata (Jenny, Šavrič 2017).

Kompozicija karte sastoji se od određivanja granica područja preslikavanja i smještaj područja unutar okvira karte te razmještaj naziva karte, mjerila, tumača znakova i ako je potrebno dopunskih karata. Kompoziciju karte može se definirati kao racionalnu organizaciju prostora karte. Rješavajući kompoziciju karte u većini slučajeva prirodno je da se kartografski prikaz orijentira tako da srednji pravolinijski meridijan bude paralelan bočnim okvirnim linijama. To je tzv. obična orijentacija. U pojedinim slučajevima opća konfiguracija prikazanog teritorija je takva da je pri običnoj orijentaciji površina karte znatno veća nego pri kosoj orijentaciji. U takvim slučajevima često je opravdana primjena kose orijentacije.

Na kartama kontinenata, oceana i pogotovo čitavog svijeta veličina karte ovisi ne samo o glavnom mjerilu i obuhvaćenom području nego i od osobitosti projekcije. Stoga da bi se odredila optimalna kompozicija često treba usporediti nekoliko varijanata.

Prikaz cijele Zemlje na ravnoj karti složena je operacija. Najprije treba odabrati kartografsku projekciju koja će služiti kao baza. U svakoj od osnovnih klasa projekcija može se birati mnogo njih, a svaka od njih može se konstruirati u bilo kojem željenom aspektu. Treba se odlučiti za potrebne attribute i zatim usvojiti odgovarajuću distribuciju neizbježnih distorzija. Nije lako napraviti izbor, ali prednosti pružanja najboljeg mogućeg prikaza Zemlje vrijedne su truda (Lapaine, Usery 2017).

U kontekstu ciljeva održivog razvoja, primarna briga pri odabiru projekcije je pronalaženje uravnotežene i pravedne zastupljenosti za sve zemlje prikazane na karti. Stoga se mogu preporučiti kompromisne ili ekvivalentne projekcije za karte svijeta koje prikazuju ciljeve održivog razvoja.

Projekcija Winkel tripel (Winkel III), modificirana azimutna kartografska projekcija za kartu svijeta, jedna je od tri projekcije koje je predložio njemački kartograf Oswald Winkel (1874 – 1953). Projekcija je aritmetička sredina jednostavne ekvidistantne cilindrične projekcije i Aitovljeve projekcije. Naziv tripel (njemački za 'trostruko') odnosi se na Winkelov cilj minimiziranja triju vrsta distorzije: površine, kutova i udaljenosti. Frančula (1971) istraživao je kartografske projekcije po dva kriterija:

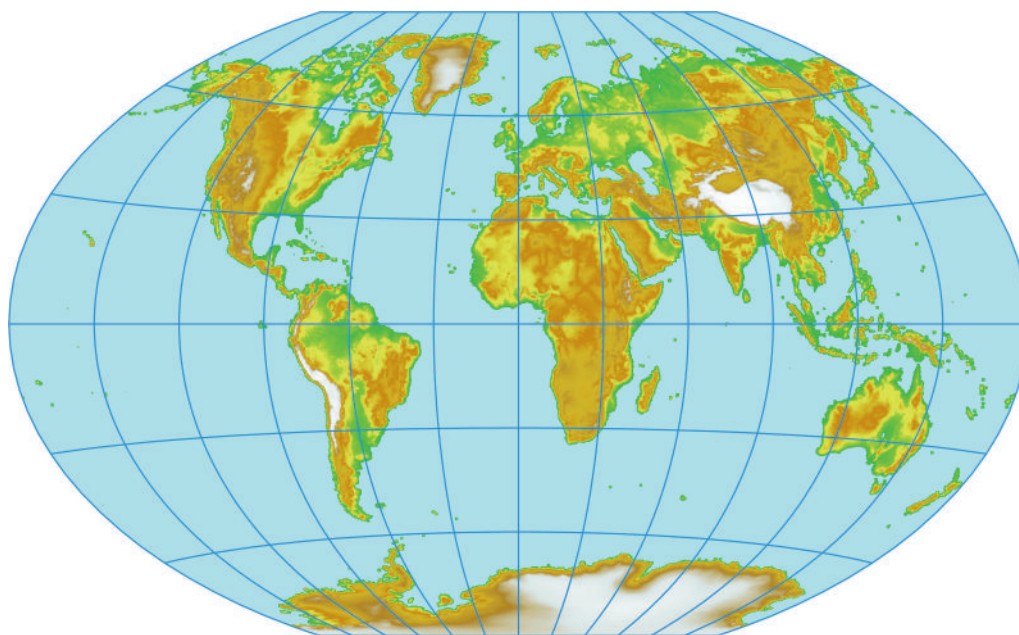


Fig. 1 World map in the Winkel Tripel projection.
Slika 1. Karta svijeta izrađena u projekciji Winkel Tripel.

map. Therefore, compromise or equivalent projections can be recommended for world maps depicting the SDG.

The Winkel Triple projection (Winkel III), a modified azimuthal map projection for the world map, is one of three projections proposed by the German cartographer Oswald Winkel (1874 – 1953). The projection is the arithmetic mean of the simple equidistant cylindrical projection and the Aitov projection. The name Tripel refers to Winkel's goal of minimizing three types of distortion: area, angle and distance. Frančula (1971) researched map projections according to two criteria: Airy's criterion and Airy-Kavrajsky's criterion. According to both criteria, the Winkel Triple projection is the best for world maps. Other scientists, such as Canters (2002), reached a similar result about the value of the Winkel Triple projection. In 1998, the Winkel Triple projection replaced the Robinson projection as the standard projection for the National Geographic Society world maps. Many educational institutes and textbooks soon followed the example of National Geographic in adopting this projection (Figure 1).

The distribution of landscape forms created by environmental processes on the spherical Earth is not easy to visualize. This can be illustrated by the distribution of earthquakes and volcanic activity on Earth. A thoughtless selection of a map projection that does not pay attention to the geographical character of the phenomenon is not a

good approach, because the geometry of such a map gives little insight into the process and structural relationships and, as a result, the displayed pattern looks complex and confusing. A belt of intense tectonic activity known as the "Ring of Fire" surrounding the Pacific Ocean is evident (Muehrcke 2017).

In order to choose a projection well, we have to use what is known about a phenomenon. In this case, the tectonic activity is said to be related to the slow breakup of an ancient land mass centered at roughly the present location of the southern tip of Africa, and the subsequent movement of the tectonic plates that hold the continental "islands" that make up the Earth's surface layer. Tectonic activity is believed to be greatest along the leading edge of the continental plates as they move outward from the original land mass position. Therefore, if we choose an azimuthal equidistant projection and center it on the top of South Africa, we get a clear picture of tectonic activity (Figure 2). The intensely active "Ring of Fire" becomes an all-encompassing circle that coincides with the advancing edge of the continents. We can even visualize the continents like ships slowly drifting through the Earth's crust, creating zones of instability.

The example of the ring diffusion phenomenon further illustrates the importance of the choice of projection. Shock waves generated by earthquakes in the "Ring of Fire" can cause a huge wave of water called a tsunami

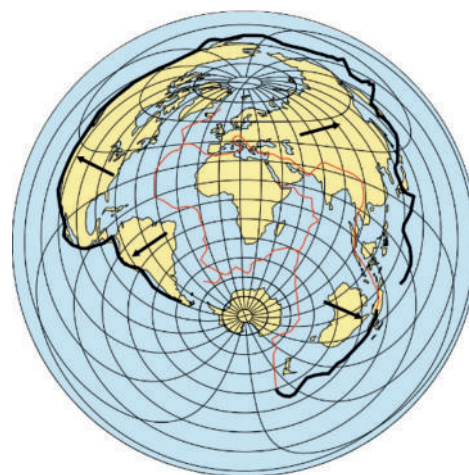
Airyjevom kriteriju i kriteriju Airyja-Kavrajškoga. Po oba kriterija Winkelova trostruka projekcija je najbolja za karte svijeta. Do sličnog rezultata o vrijednosti Winkelove trostruke projekcije došli su i drugi znanstvenici, kao npr. Canters (2002). Godine 1998. Winkelova tripel projekcija zamijenila je Robinsonovu projekciju kao standardnu projekciju za karte svijeta National Geographic Societyja. Mnogi obrazovni instituti i udžbenici ubrzo su slijedili primjer National Geographica u usvajanju te projekcije (slika 1).

Raspodjelu krajobraznih oblika stvorenih okolišnim procesima na kuglastoj Zemlji nije jednostavno vizualizirati. To se može ilustrirati na raspodjeli potresa i vulkanske aktivnosti na Zemlji. Nepromišljen odabir kartografske projekcije koja ne obraća pozornost na geografski karakter fenomena nije dobar pristup, jer geometrija takve karte daje malo uvida u proces i strukturne odnose i, kao rezultat toga, prikazani obrazac izgleda složeno i zbunjujuće. Očit je pojas intenzivne tektonske aktivnosti poznat kao "Vatreni prsten" koji okružuje Tihi ocean (Muehrcke 2017).

Da bismo dobro odabrali projekciju, moramo iskoristiti ono što se zna o nekom fenomenu. U ovom slučaju, kaže se da je tektonska aktivnost povezana s polaganim raspadom jedne drevne kopnene mase sa središtem otprilike na sadašnjoj lokaciji južnog vrha Afrike, i kasnijim pomicanjem tektonskih ploča koje drže kontinentalne "otoke" koji čine površinski sloj Zemlje. Vjeruje se da je tektonska aktivnost najveća uzduž prednjeg ruba kontinentalnih ploča dok se pomiču prema van od položaja izvorne kopnene mase. Stoga, ako odaberemo azimutnu ekvidistantnu projekciju i centriramo je na vrh Južne Afrike, dobivamo jasnu sliku tektonske aktivnosti (slika 2). Intenzivno aktivni "Vatreni prsten" postaje sveobuhvatni krug koji se poklapa s rubom kontinenata koji se kreće naprijed. Možemo čak vizualizirati kontinente poput brodova kako polako plutaju kroz Zemljinu koru, stvarajući zone nestabilnosti.

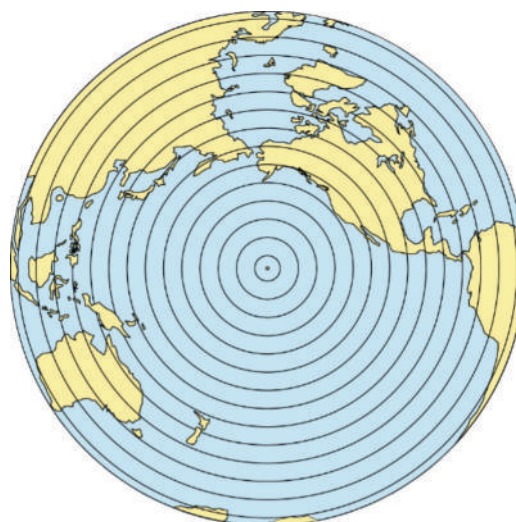
Primjer fenomena prstenaste difuzije dodatno ilustrira važnost izbora projekcije. Udarni valovi generirani djelovanjem potresa u "vatrenom prstenu" mogu uzrokovati golemi vodeni val koji se naziva cunami koji se širi površinom Tihog oceana. Ponekad cunami prouzrokuje veliku materijalnu štetu i gubitak života u obalnim područjima na velikoj udaljenosti od mjesta potresa. Ako nam je cilj samo vizualizirati putanju cunamija, bit će dovoljne karte temeljene na širokom spektru projekcija. Ali u ovoj okolnosti možda bismo htjeli ići dalje od vizualizacije. Pametan odabir projekcije zapravo može pretvoriti kartu u snažan nomografski alat za geografsku analizu.

Razmotrimo, na primjer, sudbinu stanovnika koji žive na obalnim nizinama otoka Havaji. Kada se cunami uzrokovan potresom dogodi negdje u pacifičkom bazenu,



Slika 2. "Vatreni prsten" u azimutnoj ekvidistantnoj projekciji. Izradila M. Viličić prema (Muehrcke 2017).

Fig. 2 "Ring of Fire" in azimuth equidistant projection. Made by M. Viličić according to (Muehrcke 2017).



Slika 3. Karta u azimutnoj ekvidistantnoj projekciji sa središtem na Havajima s jednako razmaknutim vremenskim linijama kretanja cunamija. Izradila M. Viličić prema (Muehrcke 2017).

Fig. 3 Map in azimuthal equidistant projection centered on Hawaii with equally spaced tsunami motion timelines. Made by M. Viličić according to (Muehrcke 2017).

željeli bismo znati koliki je vodeni val nastao i koliko će vremena proći prije nego što val pogodi obalu Havaja. Budući da će val putovati površinom oceana gotovo konstantnom brzinom, važno je znati udaljenost od

to spread across the surface of the Pacific Ocean. Sometimes tsunamis cause great material damage and loss of life in coastal areas at a great distance from the earthquake site. If our goal is only to visualize the path of the tsunami, maps based on a wide range of projections will be sufficient. But in this circumstance we might want to go beyond visualization. A smart choice of projection can actually turn a map into a powerful nomographic tool for geographic analysis.

Consider, for example, the fate of the inhabitants living in the coastal lowlands of the island of Hawaii. When a tsunami is caused by an earthquake that occurs somewhere in the Pacific basin, we would like to know how big the water wave is and how long it will take before the wave hits their shores. Since the wave will travel across the surface of the ocean at an almost constant speed, it is important to know the distance from the location of the earthquake. An azimuthal equidistant projection centered on Hawaii with equally spaced tsunami travel timelines may serve this purpose well (Figure 3). A look at the map is enough to determine the estimated arrival time of a potentially dangerous water wave, regardless of its origin. Appropriate preparations can be made accordingly.

4 Map Projections in "Mapping for a Sustainable World"

"Mapping for a Sustainable World" is the title of the book authored by M.-J. Kraak, R. E. Roth, B. Ricker, A. Kagawa and G. Le Sourd, which was published by the UN and ICA in 2021. It is a great pity that this book has no reviewers. It is a pity that insufficient knowledge of map projections spoils the impression of this otherwise good and necessary book.

What is most disturbing is the wrong choice of map projection for the thematic maps of Africa (pp. 48, 49, 58, 101 and 106). Africa is approximately the same length in the east-west and north-south directions. If we look at the maps in that book, we will see an unusually and unnecessarily elongated African continent in the north-south direction. The authors write that "Projection selection is critical to cartographic design..." but unfortunately, they did not follow their own words.

The authors of the book often use the adverb "conceptually":

"While the projection process is mathematical and computer-aided, projections are often characterized by the shape of a surface that *conceptually* intersects the globe."

"The cylindrical projection *conceptually* wraps the surface completely around the globe, which developed into a plane results in a rectangular grid of images of meridians and parallels."

"The conic projection *conceptually* wraps the surface around one hemisphere of the globe, resulting in a semicircular grid of images of meridians and parallels."

"Planar projection *conceptually* places a surface on the globe, which after projection results in a circular network of images of meridians and parallels."

"Standard line: the line in the projection where the plane and the globe *conceptually* touch or intersect and, therefore, the line on the map where the geographic scale is correct."

"Standard point: the point in the projection where the surface and the globe *conceptually* touch, found only in tangential planar projections."

In the theory of map projections, we do not need conceptuality. We just need reality. Conceptuality can lead to misunderstandings, as is evident from the cited book. Every map projection is a mapping into a plane. The introduction of the auxiliary surface is unnecessary and confusing. Cylindrical projections are not called so because they are mappings onto a cylindrical surface, but because the map made in such a projection can be folded into a cylinder. Conic projections are not called so because they are mappings onto a conical surface, but because the map made in such a projection can be folded into a cone. Conic projections can be applied to part of the globe or to the entire globe. The auxiliary surface "around one hemisphere of the globe" is a complete failure. Furthermore, every map projection is a mapping into a plane, so the introduction of the term "planar projection" is unnecessary and confusing.

"Conformal projection preserves angular relations at infinitesimal points."

What are infinitesimal points in map projections? Can the dots be big?

"Cylindrical conformal projections, like Web Mercator,..."

Web Mercator is not a conformal projection.

The cited examples refer to only one page in the book "Mapping for a Sustainable World" (Kraak et al. 2021). We have thus proved that insufficient knowledge of map projections spoils the impression of this otherwise good and necessary book.

5 Map Projections and Green Cartography

Sustainable development is an international, cross-disciplinary research and policy initiative that encapsulates many of the most pressing challenges facing our ecological, social and economic systems. Maps, as digital tools, are encountered on a number of devices, but attention is rarely paid to the energy consumption of such maps.

mjesta potresa. Azimutna ekvidistantna projekcija sa središtem na Havajima s jednako razmaknutim vremenskim crtama putovanja cunamija može dobro poslužiti toj svrsi (slika 3). Dovoljan je pogled na kartu da se odredi procijenjeno vrijeme dolaska potencijalno opasnog vodenog vala, bez obzira na njegovo porijeklo. S tim u skladu mogu se obaviti odgovarajuće pripreme.

4. Kartografske projekcije u "Mapping for the sustainable world"

"Mapping for a sustainable world" naslov je knjige kojoj su autori M.-J. Kraak, R. E. Roth, B. Ricker, A. Kagawa i G. Le Sourd, a koja je objavljena u izdanju UN-a i ICA-e 2021. godine. Velika je šteta što ta knjiga nema recenzente. Šteta je što nedovoljno poznavanje kartografskih projekcija kvari dojam te inače dobre i potrebne knjige.

Ono što najviše smeta je pogrešan odabir kartografske projekcije za tematske karte Afrike (str. 48, 49, 58, 101 i 106). Afrika je približno jednako dugačka u smjeru istok-zapad i u smjeru sjever-jug. Ako pogledamo karte u toj knjizi, vidjet ćemo neobično i nepotrebno izdužen afrički kontinent u smjeru sjever-jug. Autori pišu da je "Odabir projekcije kritičan kartografski dizajn...", ali na žalost, nisu slijedili vlastite riječi.

Autori knjige često pojmovno koriste prilog "konceptualno":

"Dok je proces projekcije matematički i obavljen s pomoću računala, projekcije su često karakterizirane oblikom plohe koja konceptualno siječe globus."

"Cilindrična projekcija konceptualno omata plohu u potpunosti oko globusa, koja razvijena u ravninu rezultira pravokutnom mrežom slika meridijana i paralela."

"Konusna projekcija konceptualno omata plohu oko jedne hemisfere globusa, što rezultira polukružnom mrežom slika meridijana i paralela."

"Planarna projekcija konceptualno postavlja plohu na globus, što nakon projekcije rezultira kružnom mrežom slika meridijana i paralela."

"Standardna linija: linija u projekciji gdje se ploha i globus konceptualno dodiruju ili sijeku i, prema tome, linija na karti gdje je geografsko mjerilo točno."

"Standardna točka: točka u projekciji gdje se ploha i globus konceptualno dodiruju, a nalazi se samo u tangencijalnim planarnim projekcijama."

U teoriji kartografskih projekcija ne treba nam konceptualnost. Treba nam samo realnost. Konceptualnost može dovesti do nesporazuma, kao što je očito iz citirane knjige. Svaka kartografska projekcija je preslikavanje u ravninu. Uvođenje pomoćne plohe je nepotrebno i zbunjujuće. Cilindrične projekcije ne nazivaju se tako zbog preslikavanja na cilindričnu plohu, već zato što se

karta izrađena u takvoj projekciji može saviti u cilindar. Konusne projekcije ne nazivaju se tako zbog preslikavanja na konusnu plohu, već zato što se karta izrađena u takvoj projekciji može saviti u konus. Konusne projekcije mogu se primijeniti na dio globusa ili na cijeli globus. Pomoćna ploha "oko jedne hemisfere globusa" je potpuni promašaj. Nadalje, svaka kartografska projekcija je preslikavanje u ravninu, pa je uvođenje pojma "planarna projekcija" nepotrebno i zbunjujuće.

"Konformna projekcija čuva kutne odnose u beskonačno malim točkama."

Što su beskonačno male točke u kartografskim projekcijama? Mogu li točke biti velike?

"Cilindrične konformne projekcije, poput Web Mercatorove, ..."

Web Mercator nije konformna projekcija.

Citirani primjeri odnose se samo na jednu stranicu u knjizi "Mapping for a sustainable world" (Kraak i dr. 2021). Time smo dokazali da nedovoljno poznavanje kartografskih projekcija kvari dojam ove inače dobre i potrebne knjige.

5. Kartografske projekcije i zelena kartografija

Održivi razvoj međunarodna je, međudisciplinarna istraživačka i politička inicijativa koja sažima mnoge od najhitnijih izazova s kojima se suočavaju naši ekološki, društveni i ekonomski sustavi. Karte, kao digitalne alate, susrećemo na nizu uređaja, ali pozornost se rijetko pridaje potrošnji energije takvih karata.

O zelenoj kartografiji razmišlja se od nedavno (Han et al. 2021, Wu et al. 2022). Mingguang i sur. (2024) usklađuju odluke o kartografskom dizajnu s njihovom relativnom potrošnjom energije kako bi omogućili kartografima i vizualnim dizajnerima da eksplicitno razmotre ugljični otisak svojih dizajnerskih izbora, s krajnjim ciljem promicanja ekološki održivijeg kartiranja. Oni analiziraju kako odluke o dizajnu karte utječu na potrošnju energije digitalnih karata i rezultirajući ugljični otisak, razmatrajući sadržaj karte, oblik i kontekst upotrebe.

Kartografske projekcije unose neizbježne distorzije u kartu i stoga temeljno utječu na vizualni izgled digitalnih karata i njihov ugljični otisak na najmanje dva načina. Prvo, različite kartografske projekcije uvode izrazito različite geometrijske distorzije. Mingguang i sur. (2024) ispitivali su devet kartografskih projekcija na karti svijeta u istom mjerilu karte (1:470 000 000). Potrošnja energije (isključujući bijelu pozadinu) za prikaz karte uvelike varira kada se primjenjuju različite projekcije.

Na primjer, Mercatorova projekcija uvodi znatnu distorziju površina u područjima na većoj geografskoj širini, što rezultira mnogo većom površinom slike za

Green cartography has only started to be considered recently (Han et al. 2021, Wu et al. 2022). Wu et al. (2024) align cartographic design decisions with their relative energy consumption to enable cartographers and visual designers to explicitly consider the carbon footprint of their design choices, with the ultimate goal of promoting more environmentally sustainable mapping. They analyze how map design decisions affect digital map energy consumption and resulting carbon footprint, considering map content, form and context of use.

Map projections introduce unavoidable distortions into the map and therefore fundamentally affect the visual appearance of digital maps and their carbon footprint in at least two ways. First, different map projections introduce distinctly different geometric distortions. Wu et al. (2024) examined nine map projections of the world map at the same map scale (1:470,000,000). Power consumption (excluding white background) for map display varies greatly when different projections are applied.

For example, the Mercator projection introduces considerable area distortion in areas at higher latitude, resulting in a much larger image area to display. Energy consumption using the Mercator projection is four times higher than the consumption of the equivalent Goode, Behrmann or Sinusoidal projection, with the same scale.

Let us note that the approach described by Wu et al. (2024) is not the most successful from the perspective of the theory of map projections. Namely, it is known that cylindrical projections are not suitable for world maps in general. A. R. Robinson taught us about this in his article published in 1990. So world maps made in the Mercator, Patterson and Behrmann projection should not be taken into such research, regardless of the fact that such maps sometimes appear, and the Patterson is also more recent.

In addition, when comparing nine different map projections, Wu et al. (2024) do not take into account the entire map, but only one part of it. That part is not selected approximately in the middle of the map, where usually the distortions are the least. It is known, or should be known, that maps of major regions, continents or large countries should be centered locally whenever possible. One should never simply cut out a part of a world map, especially if the area of interest is far from the central axis of the projection and its standard lines (Monmonier 2017).

Second, map projections affect the size and distribution of negative space around the map, especially negative space that exists on the map representation but does not exist on the Earth's surface. For example, while Mercator and Patterson projections do not introduce negative space, Goode and Sinusoidal projection do; the negative space in the Goode projection is much larger

than that in the Sinusoidal projection. Such negative space when displayed in bright colours plays a key role in the energy consumed by the screen, especially for small-scale maps. That conclusion of Wu et al. (2024) is correct, but if we accept Robinson's conclusion (1990) the comparison with cylindrical projections is unnecessary and undesirable.

6 Conclusionn

Maps are more compact and easier to store than globes; they are easily adapted to a huge range of scales; they are easily seen on computer screens; they can be measured to find the properties of the region being mapped; they can display larger parts of the Earth's surface at once; and they are cheaper to produce and transport.

A map is the result of mapping data, usually from the real Earth, into a planar representation on a piece of paper or on a digital screen such as a computer monitor. Maps are usually made by mapping the data onto a spherical or ellipsoidal surface and then into a plane.

Displaying the entire Earth on a flat map is a complex operation. Before anything else can be done, it is necessary to select a map projection to serve as a base. There are many choices in each of the base classes, and each can be constructed in any desired aspect. One has to decide on the required properties and parameters and then adopt the appropriate distribution of inevitable distortion.

This article presents map projections with a special emphasis on the mapping of a sustainable world. Presented is a modern classification of map projections that differs from the usual division into cylindrical, conic and azimuthal. In this regard, a critical approach to map projections was applied in the recently published book "Mapping for a Sustainable World". The authors of this article propose the Winkel Triple projection for world maps adapted to the goals of sustainable development.

Green cartography is a new branch of cartography that deals with methods of generating colour schemes and choosing an appropriate map projection for different types of digital maps that reduce the energy consumption of display devices while preserving the quality of the original design. Different map projections bring with them significantly different distortions. The energy consumption for displaying a digital map varies considerably when using different projections. In the article, the authors take a critical look at the research of digital maps and their carbon footprint and warn that maps of the world made in cylindrical map projections should not be researched or applied, because such map projections are not suitable for general geographic maps of the world due to extremely large distortions.

prikaz. Potrošnja energije primjenom Mercatorove projekcije četiri je puta veća od potrošnje ekvivalentne Goodeove, Behrmannove ili sinusne projekcije, uz konstantno mjerilo.

Primijetimo da opisani pristup Mingguanga i dr. (2024) nije najsretniji s aspekta teorije kartografskih projekcija. Naime, poznato je da cilindrične projekcije općenito nisu pogodne za karte svijeta. O tome nas je poučio A. R. Robinson u svojem članku iz 1990. godine. Tako da karte svijeta izrađene u Mercatorovoj, Pattersonovoj i Behrmannovoj projekciji ne bi trebalo uzimati u takva istraživanja, bez obzira na to što se takve karte ponekad pojavljuju, a Pattersonova je osim toga novijeg datuma.

Osim toga, Mingguang i sur. (2024) pri usporedbi devet različitih kartografskih projekcija ne uzimaju u obzir cijelu kartu, nego samo jedan njihov dio. Taj dio nije odbran približno u sredini karte, gdje su obično distorzije najmanje. Poznato je ili bi trebalo biti poznato da karte glavnih regija, kontinenata ili velikih država trebaju biti centrirane lokalno kad god je to moguće. Nikada ne treba jednostavno izrezati dio karte svijeta, osobito ako je područje interesa daleko od srednje osi projekcije i njezinih standardnih linija (Monmonier 2017).

Drugo, kartografske projekcije utječu na veličinu i distribuciju negativnog prostora oko karte, posebno negativnog prostora koji postoji na prikazu karte, ali ne postoji na površini Zemlje. Na primjer, dok Mercatorova projekcija i Pattersonova projekcija ne uvode negativni prostor, Goode i sinusna projekcija ga uvode; negativni prostor u Goodeovoj projekciji mnogo je veći od onoga u sinusnoj projekciji. Takav negativni prostor kada se prikazuje u svijetlim bojama igra ključnu ulogu u energiji koju zaslon troši, posebno za karte sitnog mjerila. To zaključivanje Mingguanga i sur. (2024) je ispravno, ali ako prihvatimo Robinsonov zaključak (1990) usporedba s cilindričnim projekcijama je nepotrebna i nepoželjna.

6. Zaključak

Karte su kompaktnije i lakše ih je pohraniti od globusa; lako se prilagođavaju ogromnom rasponu mjerila;

lako se vide na zaslonima računala; mogu se mjeriti kako bi se pronašla svojstva regije koja se kartira; mogu prikazati veće dijelove Zemljine površine odjednom; a jeftinije su za proizvodnju i transport.

Karta je rezultat preslikavanja podataka obično sa stvarne Zemlje u ravninski prikaz na komadu papira ili na digitalnom zaslonu kao što je monitor računala. Karte se obično izrađuju preslikavanjem podataka na sfernu ili elipsoidnu plohu, a zatim u ravninu.

Prikaz cijele Zemlje na ravnoj karti je složena operacija. Prije nego što se bilo što drugo može učiniti, potrebno je odabrati kartografsku projekciju koja će služiti kao baza. U svakoj od osnovnih klasa možete birati mnogo, a svaka se može konstruirati u bilo kojem željenom aspektu. Treba se odlučiti za potrebna svojstva i parametre, a zatim usvojiti odgovarajuću distribuciju neizbježnog izobličenja.

U ovom članku prikazane su kartografske projekcije s posebnim naglaskom na kartiranje održivog svijeta. Prikazana je suvremena klasifikacija kartografskih projekcija koja se razlikuje od uobičajene podjele na cilindrične, konusne i azimutne. S tim u vezi je i kritički pristup kartografskim projekcijama primijenjen u nedavno objavljenoj knjizi "Mapping for a sustainable world". Autori ovog članka predlažu za karte svijeta prilagođene ciljevima održivog razvoja Winkelovu trostruku projekciju (Winkel tripel).

Zelena kartografija je nova grana kartografije koja se bavi metodama generiranja shema boja i izborom prikladne kartografske projekcije za različite vrste digitalnih karata koje smanjuju potrošnju energije uređaja za prikaz uz očuvanje kvalitete izvornog oblikovanja. Različite kartografske projekcije donose sa sobom bitno različite distorzije. Potrošnja energije za prikaz neke digitalne karte prilično varira pri primjeni različitih projekcija. U članku se autori kritički osvrću na istraživanje digitalnih karata i njihov ugljični otisak te upozoravaju da karte svijeta izrađene u cilindričnim kartografskim projekcijama ne bi trebalo istraživati ni primjenjivati jer takve kartografske projekcije nisu pogodne za općegeografske karte svijeta zbog iznimno velikih distorzija.

Literatura / References

- Canter, F. (2002): *Small-scale Map Projection Design*. Taylor & Francis, London and New York
- Canter, F., Decler, H. (1989): *The World in Perspective, A Directory of world map projections*, John Wiley & Sons, Chichester
- Frančula, N. (1971): *Die vorteilhaftesten Abbildungen in der Atlaskartographie*. Dr. - Ing. Dissertation, Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Han, Y., Wu, M., Roth, R. (2021): Toward green cartography & visualization: a semantically-enriched method of generating energy-aware color schemes for digital maps, *Cartography and Geographic Information Science*, 48, 1, 43-62, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15230406.2020.1827040> (accessed on 11 April 2024).
- Jenny, B., Šavrič, B. (2017): Combining World Map Projections, in: Lapaine, M., Usery, E. L. eds.: *Choosing a Map Projections*, Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, doi: 10.1007/978-3-319-51835-0, pp. 203-212
- Kraak, M-J, Roth R E, Ricker B, Kagawa A, Le Sourd G. (2021): *Mapping for a sustainable world*, Published by UN and ICA. <https://digi.tallibrary.un.org/record/3898826?ln=en>
- Lapaine, M. (2020): What Are Map Projections and Why Are They So Called? / Što su kartografske projekcije i zašto se tako zovu? *Kartografija i geoinformacije*, vol 19, br. 34, 94–103, <https://hrcak.srce.hr/clanak/454864>
- Lapaine, M. (2024): Parallels in Cartography: Standard, Equidistantly Mapped and True Length Parallels, *Geographies* 4, 1, 52–65. <https://doi.org/10.3390/geographies4010004>
- Lapaine, M.; Frančula, N. (2022): Map Projections Classification. *Geographies* 2, 274–285. <https://doi.org/10.3390/geographies2020019>
- Lapaine M., Midtbø, T, Gartner, G., Bandrova, T., Wang, T., Shen J (2021): Definition of the Map, *Advances in Cartography and GIScience of the International Cartographic Association*, 3, 2021. 30th International Cartographic Conference (ICC 2021), 14–18 December 2021, Florence, Italy. <https://doi.org/10.5194/ica-adv-3-9-2021>, pp. 1-6
- Lapaine, M., Usery, E. L. eds. (2017): *Choosing a Map Projections*, Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, doi: 10.1007/978-3-319-51835-0
- Mingguang Wu, Guonian Lv, Lige Qiao, Robert E. Roth, A-Xing Zhu (2024) Green Cartography: A research agenda towards sustainable development, *Annals of GIS*, 30:1, 15-34, doi: 10.1080/19475683.2024.2305321
- Monmonier, M (2017): Centering a Map on the Point of Interest, in: Lapaine, M., Usery, E. L. eds.: *Choosing a Map Projections*, Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, doi: 10.1007/978-3-319-51835-0, pp. 72-77
- Muehrcke, Ph. C. (2017): Showing Ranges and Rings of Activity, in: Lapaine, M., Usery, E. L. eds.: *Choosing a Map Projections*, Springer, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, doi: 10.1007/978-3-319-51835-0, pp.110-115
- NASA (2024): G.Projector, <https://www.giss.nasa.gov/tools/gprojector/>
- Robinson A H (1990): Rectangular world maps – no! *Professional Geographer*, 42(1), pp. 101-104, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.0033-0124.1990.00101.x>
- Wikipedia. Map Projection. Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Map_projection (accessed on 6 February 2021).
- Wu, M., G. Lv, and L. Yuan. 2022. "Green Cartography and Energy-Aware Maps: Possible Research Opportunities." In *New Thinking in GIScience*, 197–205. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3816-0_22