

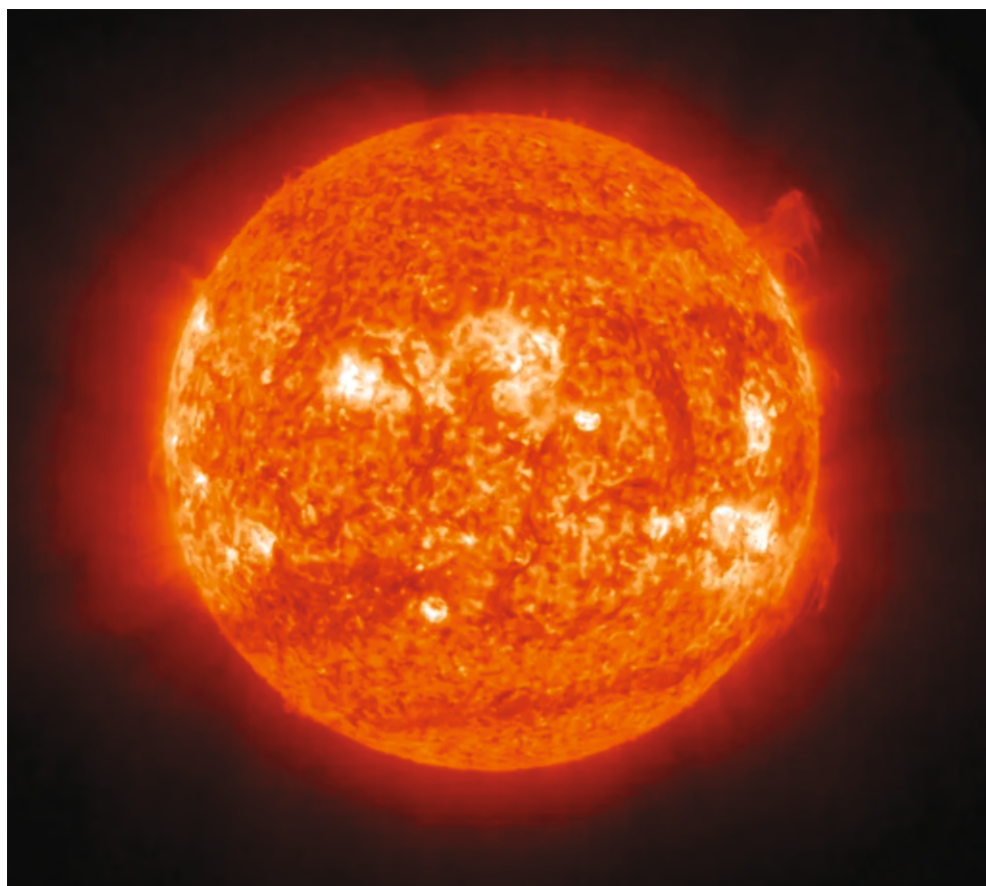
UDK: 528

CODEN: GDLIAW

ISSN 0016-710X (Tisak)
ISSN 1849-0611 (Online)

Geodetski list

GLASILO HRVATSKOGA GEODETSKOG DRUŠTVA



Izdavač / Published by:



HRVATSKO GEODETSKO DRUŠTVO CROATIAN GEODETIC SOCIETY

HR-10000 Zagreb, Berislavićeva 6, Tel./Fax.: (+385 1) 46 39 371, IBAN: HR1723600001101433512 (Zagrebačka banka);
E-mail: HGD1952hr@gmail.com, URL: <https://www.hgd1952.hr/>

Glavni urednik / Editor-in-chief:

Prof.dr.sc. Damir Medak

Zamjenici glavnog urednika / Associate editors:

Prof.dr.sc. Robert Župan

Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Tomić

Tehnički urednik / Technical editor:

Prof.dr.sc. Mladen Zrinjski

Urednički odbor / Editorial board:

Univ.Prof.Dr.-Ing. Thomas Wunderlich (München, Germany),

Prof.dr.ing. Pavao Štefanović (Enschede, Netherland),

Prof.Dr. Alojz Kopačik (Bratislava, Slovakia), prof.dr. Anton Prosen (Ljubljana, Slovenia),

prof.dr.sc. Tomislav Bašić, prof.dr.sc. Mario Brkić, prof.dr.sc. Teodor Fiedler,

prof.dr.sc. Stanislav Frangeš, prof.dr.sc. Damir Medak, izv.prof.dr.sc. Rinaldo Paar,

izv.prof.dr.sc. Hrvoje Tomić, prof.dr.sc. Mladen Zrinjski,

prof.dr.sc. Robert Župan (svi iz Zagreba), prof.dr.sc. Ivana Racetin (Split)

Adresa uredništva / Editorial board:

Geodetski fakultet, HR-10000 Zagreb, Kačićeva 26

Tel.: +385 1 46 39 222, Fax: +385 1 48 28 081

E-mail: geodetskilist@gmail.com

Uredništvo ne mora uvijek biti suglasno sa stavovima autora.

Časopis je besplatno dostupan / Free available:

<https://hrcak.srce.hr/geodetski-list>; <https://www.hgd1952.hr/index.php/geodetski-list>

Lektorica / Proof reader:

Branka Makovec, prof.

Geodetski list se tiska uz financijsku pomoć

Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske.

Međunarodni izvori u kojima se referiraju članci iz Geodetskog lista

1. Emerging Sources Citation Index (Web of Science Core Collection) - od broja 1/2005
2. Science Citation Index Expanded (Web of Science) - od broja 1/2007 do broja 1/2011
3. SCOPUS
4. DOAJ - Directory of Open Access Journals
5. Bibliographia Cartographica, Internationale Dokumentation des kartographischen Schrifttums, K.G. Saur München, New Providence, London, Paris
6. Bibliography of Publications in the Field of Geodetic Computations, Geodesy Bulletin, Cracow
7. GEOBASE
8. GEOPHOKA
9. TRIS
10. Referativnyj žurnal 52. Geodezija i aerostemka, VINITI, Moskva
11. Referativnyj žurnal 07. Geografija, VIM Kartografija, VINITI, Moskva
12. Übersicht über die Literatur im Vermessungswesen, Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart
13. Journal of Geodesy (Continuation of Bulletin Geodesique and manuscripta geodaetica), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Geodetski list izlazi u pravilu četiri puta u godini. Cijena: 40 kn. Godišnja pretplata: 120 Kn; umirovljenici, đaci, studenti 20 Kn; inozemstvo 30 €. Za članove HGD-a pretplata je uključena u članarinu.

Tisak / Printed by:

Feroproms d.o.o., Zagreb

Priprema / Copyset:

Tomislav Kalmar, Zagreb

Naklada / Issue: 1000

Geodetski list

GEOD. LIST

GOD. 79 (102) 2

S. 77–149

ZAGREB, LIPANJ 2025.

SADRŽAJ

<i>Izvorni znanstveni članak</i>	
<i>Lapaine</i> : Deformacija površina pri uspravnoj i poprečnoj Mercatorovoj projekciji	77
<i>Pregledni znanstveni članak</i>	
<i>Kryachok, Belenok, Liashenko, Hebryn-Baidy, Tretiak, Boyko</i> : Osobitosti primjene sustava vizualizacije na platformama UAV-a za daljinsko praćenje gama zračenja ...	95
<i>Stručni članak</i>	
<i>Ivanišević, Župan, Dželalija, Racetin</i> : Interaktivne karte ACI marina u Republici Hrvatskoj	119
Vijesti	132
Pregled stručnog tiska i softvera	137
Predstojeći događaji	149

CONTENTS

<i>Original scientific paper</i>	
<i>Lapaine</i> : Area Distortions in the Normal and Transverse Mercator Projection	77
<i>Review</i>	
<i>Kryachok, Belenok, Liashenko, Hebryn-Baidy, Tretiak, Boyko</i> : Peculiarities of the Use of Visualization Systems on UAV Platforms for Remote Gamma Monitoring	95
<i>Professional paper</i>	
<i>Ivanišević, Župan, Dželalija, Racetin</i> : Interactive Maps of ACI Marinas in the Republic of Croatia	119
News	132
Publications and Software review	137
Forthcoming events	149

INHALT

<i>Originalbeiträge</i>	
<i>Lapaine</i> : Deformation der Flächen bei der normalen und transversalen Mercator-Projektion	77
<i>Wissenschaftliche Übersichtsartikel</i>	
<i>Kryachok, Belenok, Liashenko, Hebryn-Baidy, Tretiak, Boyko</i> : Besonderheiten des Einsatzes von Visualisierungssystemen auf UAV-Plattformen zur Fernüberwachung der Gammastrahlung	95
<i>Fachartikel</i>	
<i>Ivanišević, Župan, Dželalija, Racetin</i> : Interaktive Karten der ACI-Marinas in der Republik Kroatien	119
Nachrichten	132
Bücher- und Softwareschau	137
Termine	149

SOMMAIRE

<i>Contribution scientifique authentique</i>	
<i>Lapaine</i> : Déformation des surfaces en projection Mercator verticale et transversale	77
<i>Contribution scientifique synoptique</i>	
<i>Kryachok, Belenok, Liashenko, Hebryn-Baidy, Tretiak, Boyko</i> : Particularités de l'application des systèmes de visualisation sur plateformes de drones pour la surveillance à distance du rayonnement gamma	95
<i>Contribution professionnelle</i>	
<i>Ivanišević, Župan, Dželalija, Racetin</i> : Cartes interactives des marinas ACI en République de Croatie	119
Actualités	132
Revue de la littérature professionnelle et du software	137
Événements precedents	149

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Подлинная научная статья</i>	
<i>Лапайн</i> : Деформация поверхностей при прямой и поперечной проекции Меркатора	77
<i>Обзорная научная статья</i>	
<i>Крячок, Беленок, Ляшенко, Гебрын-Байды, Третьяк, Бойко</i> : Особенности применения систем визуализации на платформах БПЛА для дистанционного мониторинга гамма-излучения	95
<i>Специальная статья</i>	
<i>Иванишевич, Жупан, Джелалия, Рацетин</i> : Интерактивные карты марины АСИ в Республике Хорватия	119
Новости	132
Обзор специальной печати и программного обеспечения	137
Предстоящие события	149

Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

Deformacija površina pri uspravnoj i poprečnoj Mercatorovoj projekciji

Miljenko LAPAINE – Zagreb¹

SAŽETAK. Članak se bavi deformacijama površina konformnih cilindričnih projekcija. U tu svrhu istražuju se uspravna i poprečna Mercatorova projekcija sfere, Gauss-Krügerova projekcija i poprečna Mercatorova projekcija rotacijskog elipsoida za Hrvatsku, odnosno HTRS96/TM. Pokazuje se da su izrazi za faktore lokalnih mjerila duljina i površina za sve te projekcije istoga oblika, samo treba uočiti na što se pojedine oznake odnose. To znači da su sve četiri projekcije srodne i da ih možemo na taj način proučavati. Za svaku je projekciju odabran i izrađen po jedan primjer raspodjele deformacija za ilustraciju. Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina propisuje da se površine određuju u službenoj kartografskoj projekciji, ali se ne spominje potreba uzimanja u obzir deformacija zbog projekcije. Ovaj članak trebao bi utjecati na promjenu takve prakse.

Ključne riječi: kartografske projekcije, deformacije projekcije, Mercatorova projekcija, poprečna Mercatorova projekcija, Gauss-Krügerova projekcija, HTRS96/TM.

1. Uvod

Površina Zemlje, ostalih nebeskih tijela i nebeskoga svoda u kartografiji se aproksimira plohom elipsoida ili sfere. Kartografska projekcija je, dakle, preslikavanje plohe elipsoida ili sfere u ravninu. Najčešće se zadaje analitički, tj. osnovnim kartografskim jednadžbama $x = x(\varphi, \lambda)$, $y = y(\varphi, \lambda)$, gdje su φ, λ geografske ili geodetske koordinate, a x, y koordinate u ravnini projekcije. U ovom ćemo članku rabiti matematički (desni) koordinatni sustav jer se u literaturi na engleskom jeziku, a koji je u današnje vrijeme dominantan u stručnoj kartografskoj literaturi, redovito rabi matematički koordinatni sus-

¹ prof. emer. dr. sc. Miljenko Lapaine, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: miljenko.lapaine@geof.unizg.hr

tav. Osim toga, mislim da će studenti imati manje problema sa savladavanjem gradiva iz teorije kartografskih projekcija, ako neće morati razmišljati i o razlikama između koordinatnih sustava u matematici i geodeziji/kartografiji. Kartografska projekcija može se zadati i tablicom koordinata ili opisom konstrukcije mreže meridijana i paralela. Po svojstvima preslikavanja dijele se na konformne, ekvivalentne, ekvidistantne i uvjetne projekcije. Po položaju pola normalne kartografske mreže dijele se na uspravne, poprečne i kose projekcije. Po obliku mreže meridijana i paralela uspravnih projekcija dijele se na konusne, cilindrične, azimutne, pseudokonusne, pseudocilindrične, polikonusne, kružne i ostale projekcije. Kartografska projekcija često nosi ime svojeg autora, npr. Mercatorova, Sansonova, Lagrangeova, Winkelova. Kao posebna skupina kartografskih projekcija često se izdvajaju geodetske projekcije, tj. projekcije za potrebe državne izmjere (Frančula i Lapaine 2008).

U geometriji naziv “projekcija” označava ili ortogonalnu projekciju u kojoj se izrađuju jednostavniji tehnički crteži ili perspektivu. U kartografiji naziv “projekcija” ima mnogo šire i općenitije značenje, pa bi bilo bolje umjesto projekcija upotrebljavati naziv preslikavanje. Svaka matematički definirana veza između položaja točke na sferi ili elipsoidu i položaja njezine slike na karti je kartografska projekcija. Većina projekcija koje se primijenjuju u praksi nisu geometrijske projekcije, nego projekcije konstruirane uz određene uvjete. Istaknimo još da kartografska projekcija nije preslikavanje Zemljine plohe/površine nego preslikavanje sa sfere ili elipsoida. Drugim riječima, najprije treba odabrane objekte koje želimo kartirati preslikati/reducirati na plohu elipsoida ili sfere da bismo mogli primijeniti odabranu kartografsku projekciju.

Promjene duljina, površina i kutova koje nastaju pri kartografskoj projekciji nazivamo deformacijama ili distorzijama projekcije. Plohu sfere ili elipsoida nije moguće preslikati u ravninu sa svim deformacijama jednakim nuli.

Izložit ćemo osnovna svojstva deformacija cilindričnih projekcija. Poseban naglasak daje se na uspravnu konformnu cilindričnu projekciju, poznatu pod nazivom Mercatorova projekcija, a zatim na poprečnu konformnu cilindričnu projekciju, poznatu još pod nazivom Lambert-Gaussova ili poprečna Mercatorova projekcija. Svi izvodi napravljeni su za sferni Zemljin model kako bi bili što kraći i pregledniji. Na kraju, dolaze izvodi za faktore lokalnih linearnih i površinskih mjerila Gauss-Krügerove i poprečne Mercatorove projekcije rotacijskog elipsoida za Hrvatsku (HTRS96/TM).

2. Osnovno o mjerilima duljina i površina kartografskih projekcija

Pretpostavimo da je zadana sfera polumjera R geografskom parametrizacijom

$$X = R \cos \varphi \cos \lambda, Y = R \cos \varphi \sin \lambda, Z = R \sin \varphi \quad (1)$$

$$\varphi \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \lambda \in [-\pi, \pi]. \quad (2)$$

Gaussovi koeficijenti prve diferencijalne forme te parametrizacije su

$$e = \left(\frac{\partial X}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \varphi}\right)^2 = R^2, f = \frac{\partial X}{\partial \varphi} \frac{\partial X}{\partial \lambda} + \frac{\partial Y}{\partial \varphi} \frac{\partial Y}{\partial \lambda} + \frac{\partial Z}{\partial \varphi} \frac{\partial Z}{\partial \lambda} = 0$$

$$g = \left(\frac{\partial X}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \lambda}\right)^2 = R^2 \cos^2 \varphi. \quad (3)$$

Prva diferencijalna forma sfere je dakle

$$ds^2 = ed\varphi^2 + 2fd\varphi d\lambda + gd\lambda^2 = R^2 d\varphi^2 + R^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2. \quad (4)$$

Neka je sad kartografska projekcija zadana na istom području definicije (2) kao i sfera jednadžbama

$$x = x(\varphi, \lambda), y = y(\varphi, \lambda). \quad (5)$$

Gaussovi koeficijenti prve diferencijalne forme preslikavanja (5) su

$$E = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi}\right)^2, F = \frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} + \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda}, G = \left(\frac{\partial x}{\partial \lambda}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \lambda}\right)^2, \quad (6)$$

a prva diferencijalna forma

$$ds'^2 = Ed\varphi^2 + 2Fd\varphi d\lambda + Gd\lambda^2. \quad (7)$$

Faktor lokalnog linearnog mjerila (kraće linearno mjerilo) c kartografske projekcije definira se relacijom

$$c^2 = \frac{ds'^2}{ds^2} = \frac{Ed\varphi^2 + 2Fd\varphi d\lambda + Gd\lambda^2}{R^2 d\varphi^2 + R^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2} \quad (8)$$

i ono općenito ovisi o pojedinoj točki i smjeru. U smjeru meridijana $d\lambda = 0$ pa je

$$c = h = \frac{\sqrt{E}}{R}, \quad (9)$$

a u smjeru paralela $d\varphi = 0$ i stoga

$$c = k = \frac{\sqrt{G}}{R \cos \varphi}. \quad (10)$$

Izraz za faktor lokalnog mjerila površina (kraće mjerila površina) je

$$p = \frac{\sqrt{EG - F^2}}{\sqrt{eg - f^2}} = \frac{\sqrt{EG - F^2}}{R^2 \cos \varphi}. \quad (11)$$

Reći ćemo da je deformacija u smjeru meridijana jednaka nuli ako je $h = 1$, da je deformacija u smjeru paralela jednaka nuli ako je $k = 1$ i da je deformacija površina jednaka nuli ako je $p = 1$ (Borčić 1955, Snyder 1987, Frančula 2004).

3. Faktori lokalnih mjerila duljina i površina pri cilindričnim projekcijama

Uspravne cilindrične projekcije sfere definirane su jednadžbama

$$x = n(\lambda - \lambda_0), y = y(\varphi), \quad (12)$$

gdje je n konstanta projekcije, a λ_0 geografska dužina srednjeg meridijana područja preslikavanja (Frančula 2004). Za takve projekcije je

$$h(\varphi) = \frac{\sqrt{E}}{R} = \frac{1}{R} \frac{dy}{d\varphi}, k(\varphi) = \frac{\sqrt{G}}{R \cos \varphi} = \frac{n}{R \cos \varphi}, p(\varphi) = \frac{n}{R^2 \cos \varphi} \frac{dy}{d\varphi} \quad (13)$$

i

$$F = \frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial x}{\partial \lambda} + \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial y}{\partial \lambda} = 0. \quad (14)$$

U izrazima (13) R je radijus sfere. Iz (14) slijedi da se slike meridijana i paralela u projekciji sijeku pod pravim kutom. Ako za neki par geografskih širina $\varphi_0, -\varphi_0$ vrijedi

$$k(\varphi_0) = k(-\varphi_0) = 1 \quad (15)$$

tada je

$$n = R \cos \varphi_0 \text{ i } k(\varphi) = \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi}. \quad (16)$$

Da bismo pojednostavili razmatranja razdiobe deformacija za kose i poprečne cilindrične projekcije uočimo najprije da se formula za faktor lokalnog linearnog mjerila c kartografske projekcije koja je definirana relacijom (8) za cilindrične projekcije (12) može napisati i u obliku

$$c^2 = \frac{dx^2 + dy^2}{R^2 \left[\left(\frac{d\varphi}{dy} \right)^2 dy^2 + \frac{\cos^2 \varphi}{n^2} dx^2 \right]} \quad (17)$$

pri čemu treba uočiti da je $\varphi = \varphi(y)$. Za faktor lokalnog mjerila površina možemo prema (13) napisati

$$p(\varphi) = h(\varphi)k(\varphi) = \frac{n}{R^2 \cos \varphi} \frac{d\varphi}{dy}. \quad (18)$$

4. Mercatorova projekcija

Mercatorova projekcija je uspravna konformna cilindrična projekcija. Iz uvjeta konformnosti

$$h(\varphi) = k(\varphi) \quad (19)$$

i zahtjeva da se ekvator ($\varphi = 0$) preslika u ravnu crtu ($y = 0$) proizlaze jednačbe te projekcije

$$x = n(\lambda - \lambda_0), \quad y = n \tanh^{-1}(\sin \varphi). \quad (20)$$

Prema (16) $n = R \cos \varphi_0$. Ako je $\varphi_0 = 0$, onda je $n = R$ i umjesto x i y pisat ćemo $\bar{x}$ i $\bar{y}$ i zvat ćemo ih nereduciranim koordinatama. Ako je $\varphi_0 \neq 0$, pisat ćemo x i y i takve koordinate zvati reduciranimima. Pojmove nereduciranih i reduciranih koordinata uveli smo radi lakše usporedbe s uobičajnim pristupom kod Gauss-Krügerove i poprečne Mercatorove projekcije elipsoida s primjenom u geodeziji. Označimo li još

$$k_0 = \frac{n}{R} = \cos \varphi_0 \quad (21)$$

onda je očito

$$x = k_0 \bar{x} \quad \text{i} \quad y = k_0 \bar{y}. \quad (22)$$

Ako bismo uzeli da je $\varphi_0 = 0$, onda je $k_0 = 1$, i reducirane i nereducirane koordinate su međusobno jednake. Drugim riječima, ako u formule projekcije (20) umjesto n stavimo R , dobit ćemo formule za nereducirane koordinate. Nadalje,

$$h(\varphi) = k(\varphi) = \frac{n}{R \cos \varphi} = \frac{\cos \varphi_0}{\cos \varphi}, \quad p(\varphi) = h^2(\varphi) = \frac{\cos^2 \varphi_0}{\cos^2 \varphi}. \quad (23)$$

Iz (20) može se izvesti

$$h(y) = k(y) = \frac{n}{R} \cosh \frac{y}{n} = k_0 \cosh \frac{y}{Rk_0}. \quad (24)$$

Uz uvedene oznake u (21) i (22) možemo (24) napisati ovako

$$k(\bar{y}) = k_0 \cosh \frac{\bar{y}}{R}. \quad (25)$$

Ako se za male vrijednosti od $\frac{\bar{y}}{R}$ funkcija kosinus hiperbolni, koja je na desnoj strani formule (25), razvije u Maclaurinov red, dobije se

$$k = k_0 \left(1 + \frac{\bar{y}^2}{2R^2} + \frac{\bar{y}^4}{24R^4} + \dots \right). \quad (26)$$

To je po obliku jednaka formula onoj koju susrećemo kod Gauss-Krügerove projekcije uz odgovarajući izbor radijusa R (Borčić 1955, Borčić 1976, Frančula 2004) te uz zamjenu oznaka k s m , k_0 s m_0 , i uočavanja da je sada $\bar{y}$ ordinata, a ne apscisa (desni koordinatni sustav). U današnje doba takav razvoj u red nije potreban. U ovom članku su razvoji u red napisani samo zato da bi čitatelji mogli lakše uočiti istovjetnost s formulama poznatim iz literature (Borčić 1955, Borčić 1976, Frančula 2004).

Deformaciju duljina d_d odredit ćemo prema izrazu

$$d_d = k - 1, \quad (27)$$

odnosno približno

$$d_d = k_0 \left(\frac{\bar{y}^2}{2R^2} + \frac{\bar{y}^4}{24R^4} + \dots \right) + k_0 - 1. \quad (28)$$

Dakle, ako je faktor lokalnog mjerila duljina jednak 1, onda je deformacija duljina jednaka 0, a to će biti onda kad je $\bar{y} = y = 0$. Za mjerilo površina imamo najprije

$$p = k_0^2 \cosh^2 \frac{y}{Rk_0}, \quad (29)$$

a zatim

$$p = k_0^2 \cosh^2 \frac{\bar{y}}{R} = k_0^2 \left(1 + \frac{\bar{y}^2}{R^2} + \frac{\bar{y}^4}{3R^4} + \dots \right). \quad (30)$$

Deformaciju površine d_p odredit ćemo prema izrazu

$$d_p = p - 1, \quad (31)$$

odnosno približno

$$d_p = k_0^2 \left(\frac{\bar{y}^2}{R^2} + \frac{\bar{y}^4}{3R^4} + \dots \right) + k_0^2 - 1. \quad (32)$$

Dakle, ako je faktor lokalnog mjerila površina jednak 1, onda je deformacija površina jednaka 0, a to će biti onda kad je $\bar{y} = y = 0$. Borčić (1956) i Frančula (2004) ne raspravljaju o deformacijama površina. Kod Borčića (1976), riječ je o Gauss-Krügerovoj projekciji, ali je oblik formule isti. Umjesto izraza (32) uz vrijednost $k_0 = 0,9999$, $k_0^2 = 0,9998$ kod Borčića (1976) nema faktora k_0^2 ispred zgrade i izračunao je da je $0,9998 - 1 = -0,0002$

$$d_p = \frac{\bar{y}^2}{R^2} + \frac{\bar{y}^4}{3R^4} - 0,0002. \quad (33)$$

Razlog je vjerojatno u tome što množenje brojem **0,9998** neznatno utječe na rezultat.

Primjer

Pretpostavimo da u uspravnoj Mercatorovoj projekciji sfere polumjera $R=6370$ km treba izraditi kartu Hrvatske. Neka se područje preslikavanja proteže od paralele $41^\circ,61083$ na jugu do paralele $46^\circ,56083$ na sjeveru. Traži se standardna paralela za koju će razlika između faktora lokalnog linearnog mjerila na sjevernoj paraleli i 1 biti jednaka razlici između 1 i faktora lokalnog linearnog mjerila na južnoj paraleli.

Označimo s k_j faktor lokalnog linearnog mjerila uzduž južne paralele, s k_s faktor lokalnog linearnog mjerila uzduž sjeverne paralele i s k_{sr} faktor lokalnog linearnog mjerila uzduž standardne paralele.

Prema formuli (25) možemo napisati

$$k_j = k_0 \cosh \frac{\bar{y}_j}{R}, \quad k_s = k_0 \cosh \frac{\bar{y}_s}{R}, \quad k_{sr} = k_0 \cosh \frac{\bar{y}_{sr}}{R}, \quad (34)$$

gdje smo s $\bar{y}_j$, $\bar{y}_s$ i $\bar{y}_{sr}$ označili odgovarajuće vrijednosti ordinata. Postavljeni uvjeti mogu se napisati ovako:

$$k_s - 1 = 1 - k_j \text{ i } k_{sr} = 1. \quad (35)$$

Iz (35) slijedi da je

$$k_{sr} = \frac{k_j + k_s}{2} \quad (36)$$

i zatim s obzirom na (25)

$$\cosh \frac{\bar{y}_{sr}}{R} = \frac{\cosh \frac{\bar{y}_j}{R} + \cosh \frac{\bar{y}_s}{R}}{2}. \quad (37)$$

Vrijednosti s desne strane u (37) mogu se izračunati jer je

$$\bar{y}_j = R \tanh^{-1}(\sin \varphi_j), \quad \bar{y}_s = R \tanh^{-1}(\sin \varphi_s), \quad (38)$$

a geografske širine najjužnije i najsjevernije paralele su zadane. Nakon toga izračunamo $\cosh \frac{\bar{y}_{sr}}{R}$, a budući da je $k_{sr} = 1$, imamo

$$k_0 = \frac{1}{\cosh \frac{\bar{y}_{sr}}{R}}. \quad (39)$$

Sad možemo prema (34) izračunati k_j i k_s . Osim toga, iz $k_0 = \cos \varphi_{sr}$ možemo izračunati geografsku širinu standardne paralele. Za zadane vrijednosti

$$\varphi_j = 41^\circ,61083 \text{ i } \varphi_s = 46^\circ,56083 \quad (40)$$

račun daje

$$\varphi_{sr} = 44^\circ,24437 \quad (41)$$

$$k_0 = 0,71637, k_j = 0,95813, k_s = 1,04187. \quad (42)$$

Parametar k_0 možemo interpretirati kao faktor lokalnog mjerila duljina za točke na ekvatoru. Prema (30), na južnoj paraleli je faktor lokalnog mjerila površina $p_j = 0,91802$, a na sjevernoj paraleli $p_s = 1,08548$.

5. Poprečna Mercatorova projekcija sfere

Ta se projekcija u literaturi još naziva Lambert-Gaussovom ili poprečnom konformnom cilindričnom projekcijom. Kose i poprečne projekcije sfere nastaju iz uspravnih tako da se umjesto geografskih koordinata φ i λ upotrijebe odgovarajuće sferne ili pseudogeografske koordinate φ' i λ' . Jednadžbe poprečne cilindrične projekcije bit će dakle

$$x = n\lambda', y = y(\varphi'), \quad (43)$$

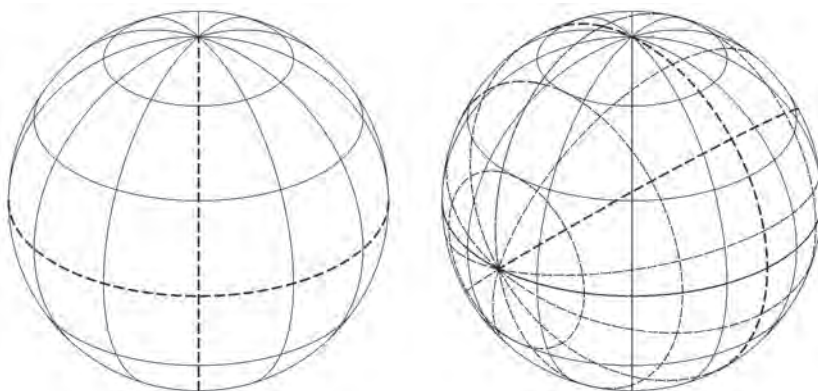
gdje su pseudogeografske koordinate φ' , λ' povezane s geografskim koordinatama φ , λ na sljedeći način (Borčić 1955, str. 184; Frančula 2004, str. 64):

$$\sin \varphi' = \cos \varphi \sin \lambda, \tan \lambda' = \frac{\tan \varphi}{\cos \lambda}. \quad (44)$$

Pri tome je n konstanta projekcije, a λ se ne odnosi na početni meridijan, nego na srednji meridijan područja preslikavanja. Da bismo to naglasili, napisat ćemo umjesto (44) ovako

$$\sin \varphi' = \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0), \tan \lambda' = \frac{\tan \varphi}{\cos(\lambda - \lambda_0)}. \quad (45)$$

Na taj smo način osigurali da slika srednjeg meridijana kojem odgovara geografska dužina λ_0 bude u središtu projekcije.



Slika 1. Uspravna mreža sfernog koordinatnog sustava (lijevo) podudara se s geografskom mrežom meridijana i paralela. Poprečna mreža sfernog koordinatnog sustava (desno) koja se sastoji od pseudoparalela i pseudomeridijana (almukantara i vertikala) nastaje rotacijom geografske mreže za 90° oko ishodišta.

Na slici 1 prikazane su mreže meridijana i paralela od kojih ona na lijevoj strani odgovara geografskom koordinatnom sustavu, a ona s desne strane je mreža pseudoparalela i pseudomeridijana koja odgovara pseudogeografskom koordinatnom sustavu na kojem se temelje poprečne kartografske projekcije.

Formule za faktore lokalnih mjerila duljina, odnosno površina izgledaju ovako

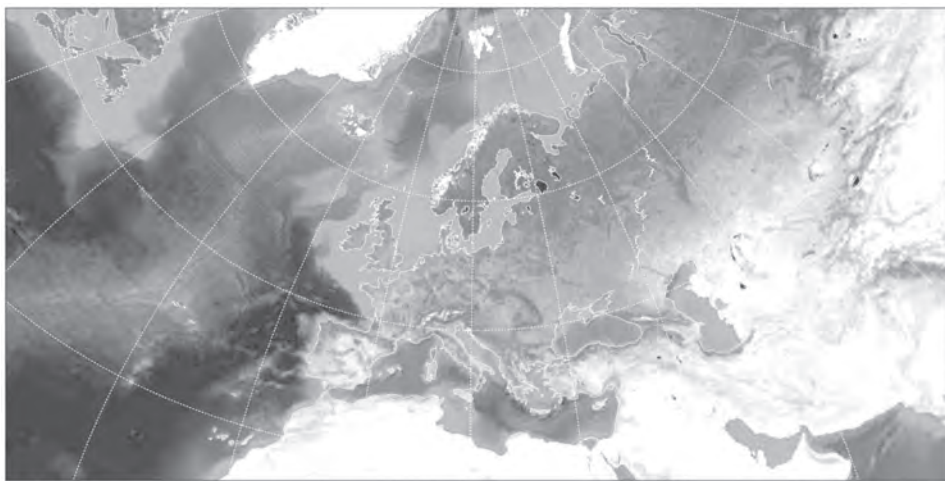
$$h(\varphi') = \frac{\sqrt{E}}{R} = \frac{1}{R} \frac{dy}{d\varphi'}, k(\varphi') = \frac{\sqrt{G}}{R \cos \varphi'} = \frac{n}{R \cos \varphi'}, p(\varphi') = \frac{n}{R^2 \cos \varphi'} \frac{dy}{d\varphi'}. \quad (46)$$

Pri istraživanju deformacija možemo postupiti na nekoliko načina. Jedan je izraziti mjerila pomoću geografskih koordinata i na taj ih način dovesti u vezu s meridijanima i paralelama, drugi je proučavati njihova svojstva u odnosu na pseudoparalele i pseudomeridijane, a treći izraziti mjerila duljina s pomoću koordinata x i y u ravnini projekcije. Prvi pristup je relativno složen, a drugi i treći je moguće izravno preuzeti na temelju odgovarajućih formula izvedenih za uspravne projekcije.

Primjena formula (43) dat će sliku srednjeg meridijana položenu vodoravno, a sliku ekvatora okomito. S obzirom na to da smo navikli da je slika ekvatora postavljena vodoravno, a srednjeg meridijana okomito, tj. da je sjeverni pol “gore”, a južni pol “dolje”, obično se kod poprečnih projekcija zamijene koordinatne osi što znači da jednadžbe projekcije izgledaju ovako:

$$y = n\lambda', x = x(\varphi'), \quad (47)$$

pa i o tome treba povesti računa.



Slika 2. Karta Europe u poprečnoj Mercatorovoj projekciji. G. Projector i world_topo_bathy_200407.jpg (softver i podaci: <https://www.giss.nasa.gov/tools/gprojector/>).

Poprečna Mercatorova projekcija sfere ima jednadžbe

$$x = n \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) = n \tanh^{-1}(\sin \varphi'), y = n\lambda', \quad (48)$$

odnosno

$$x = n \tanh^{-1}[\cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0)], y = n \tan^{-1} \frac{\tan \varphi}{\cos(\lambda - \lambda_0)}, \quad (49)$$

jer su pseudogeografske koordinate φ' , λ' povezane s geografskim koordinatama φ , λ izrazom (45).

Na slici 2 prikazana je karta Europe u poprečnoj Mercatorovoj projekciji. Karta je izrađena s pomoću softvera G.Projector i podataka s karte world_topo_bathy_200407.jpg.

Ako određujemo faktore lokalnih mjerila duljina na temelju formula (48) na isti način na koji smo izveli te faktore za uspravnu Mercatorovu projekciju dobit ćemo

$$k = k_0 \cosh \frac{\bar{x}}{R}, \quad (50)$$

odnosno nakon razvoja u red

$$k = k_0 \left(1 + \frac{\bar{x}^2}{2R^2} + \frac{\bar{x}^4}{24R^4} + \dots \right). \quad (51)$$

Slično za faktore lokalnih mjerila površina

$$p = k_0^2 \cosh^2 \frac{\bar{x}}{R}, \quad (52)$$

a zatim

$$p = k_0^2 \left(1 + \frac{\bar{x}^2}{R^2} + \frac{\bar{x}^4}{3R^4} + \dots \right). \quad (53)$$

Uočimo da smo u formulama za faktore lokalnih mjerila duljina i površina uspravne Mercatorove projekcije imali s desne strane $\bar{y}$, a u analognim formulama za poprečnu Mercatorovu projekciju stoji s desne strane $\bar{x}$ (koordinatni sustav je matematički).

Primjer

Pretpostavimo da u poprečnoj Mercatorovoj projekciji sfere polumjera $R = 6370$ km treba izraditi kartu Hrvatske. Srednji meridijan područja preslikavanja neka ima geografsku dužinu $\lambda_0 = 16^\circ 30'$. Pretpostavimo nadalje da je područje preslikavanja široko 250 km od srednjeg meridijana na istok i na zapad te da bi faktor lokalnog linearnog mjerila na srednjem meridijanu trebalo biti toliko manje od jedan koliko je na udaljenosti od 250 km od srednjeg meridijana istočno ili zapadno veće od jedan. Postavlja se pitanje raspodjele deformacija. Koliko treba uzeti k_0 i na kojoj udaljenosti od srednjeg meridijana će biti $k = 1$.

Iz jednadžbe $1 - k_0 = k - 1$ slijedi $k_0 = \frac{2}{1 + \cosh \frac{\bar{x}}{R}}$, što uz $\bar{x} = 250$ km daje $k_0 = 0,9996$.

Nadalje, iz uvjeta $k = 1$ slijedi $\cosh \frac{\bar{x}}{R} = \frac{1}{k_0}$, i zatim $\bar{x} = R \cosh^{-1} \frac{1}{k_0}$, što uz izračunani k_0 daje $\bar{x} = \pm 180$ km. Isti rezultat dobio bi se uz uvjet $p = 1$. Na udaljenosti 250 km od srednjeg meridijana faktor lokalnog mjerila duljina bit će $k = k_0 \cosh \frac{250}{R} = 1,00037$, a faktor lokalnog mjerila površina $p = 1,00074$.

6. Deformacije pri Gauss-Krügerovoj projekciji

Prema Borčiću (1976) faktor lokalnog mjerila duljina (ili u njegovoj terminologiji linearni modul) je približno

$$m = 1 + \frac{y^2}{2R^2} + \frac{y^4}{24R^4}, \quad (54)$$

ako je faktor lokalnog linearnog mjerila uzduž srednjeg meridijana jednak 1, odnosno općenito

$$m = m_0 \left(1 + \frac{y^2}{2R^2} + \frac{y^4}{24R^4} \right). \quad (55)$$

U izrazima (54) i (55) R je geometrijska sredina polumjera zakrivljenosti meridijana i polumjera zakrivljenosti presjeka po prvom vertikalnu u promatranoj točki. Prema Borčiću (1976) faktor lokalnog mjerila površina (ili u njegovoj terminologiji površinski modul) je približno

$$p = 1 + \frac{y^2}{R^2} + \frac{y^4}{3R^4}, \quad (56)$$

odnosno

$$p = 0,9999 \left(1 + \frac{y^2}{R^2} + \frac{y^4}{3R^4} \right) = 1 + \frac{y^2}{R^2} + \frac{y^4}{3R^4} - 0,0002. \quad (57)$$

Pri tome izraz (56) vrijedi kad je na srednjem meridijanu deformacija duljina jednaka nuli, a izraz (57) kad je na srednjem meridijanu faktor lokalnog mjerila duljina jednak 0,9999, faktor lokalnog mjerila površina $-0,9998$ ili deformacije površina $-0,0002$. Osim toga, koordinatni sustav Gauss-Krügerove projekcije nije matematički ili desni, nego lijevi, tj. koordinatna os y usmjerena je u smjeru zapad-istok, a koordinatna os x u smjeru jug-sjever.

Nadalje, deformaciju površine Borčić određuje po formulama

$$d_p = \frac{y^2}{R^2} + \frac{y^4}{3R^4}, \quad (58)$$

odnosno

$$d_p = \frac{y^2}{R^2} + \frac{y^4}{3R^4} - 0,0002. \quad (59)$$

opet ovisno o tome je li na srednjem meridijanu faktor lokalnog mjerila duljina jednak 1, izraz (58), ili je na srednjem meridijanu faktor lokalnih deformacija

duljina jednak 0,9999, izraz (59). To znači da je u prvom slučaju na srednjem meridijanu, odnosno na osi x , deformacija površine jednaka nuli, a u drugom slučaju da je jednaka $d_p = -0,0002$ ili da je na 10 000 m² (na jednom hektaru) deformacija 2 m². Svaki je hektar površine na srednjem meridijanu manji za 2 m², a na kraju meridijanske zone veći za 2 m².

Ako je na srednjem meridijanu linearna deformacija jednaka nuli, onda su površine u ravnini karte u toj projekciji uvijek veće od onih na elipsoidu.

Ako gledamo umanjene deformacije duljina ili površina, deformacije površina na srednjem meridijanu, odnosno na osi x , iznose -2 m², na 90. kilometru su 0, a na 127. kilometru $+2$ m² (slika 3).

Borčić (1976) na kraju zaključuje da ćemo o deformacijama u ovoj projekciji voditi računa u izuzetnim slučajevima, kad je riječ o površinama velike vrijednosti ili o površinama većih područja.

Ponekad je potrebno odrediti razliku između duljina na elipsoidu i na fizičkoj Zemljinoj površini (Borčić 1976). Ta razlika ovisi o nadmorskim visinama točaka. Ako se ne traži velika točnost, može se uzeti u obzir samo srednja nadmorska visina. Označimo li s d horizontalnu duljinu na fizičkoj Zemljinoj površini, s d_0 duljinu na elipsoidu, h srednju nadmorsku visinu i R srednji Zemljin radijus, onda vrijedi

$$d_0 = m_h d, \quad (60)$$

gdje je

$$m_h = \frac{R}{R+h}. \quad (61)$$

Faktor m_h određuje odnos između duljina na Zemljinoj fizičkoj površini i njima odgovarajućih duljina na plohi elipsoida. Npr. ako je $h = 500$ m, onda je $m_h = 0,9999$.

Ako je potrebno odrediti razliku između neke duljine na Zemljinoj fizičkoj površini i duljine u ravnini projekcije (na karti), onda se treba poslužiti skupnim faktorom (Borčić 1976). Taj skupni faktor m_s bit će jednak umnošku faktora lokalnog mjerila duljina m i m_h , tj.

$$m_s = m m_h \quad (62)$$

Ako je riječ o konformnom preslikavanju, onda će skupni faktor površina p_s biti jednak umnošku kvadrata od m i m_h , tj.

$$p_s = m^2 m_h^2. \quad (63)$$

7. Poprečna Mercatorova projekcija elipsoida za Hrvatsku (HTRS96/TM)

Koordinatnim sustavom poprečne Mercatorove projekcije – HTRS96/TM obuhvaćeno je cijelo područje Republike Hrvatske sa srednjim meridijanom $16^{\circ}30'$ i faktorom lokalnog linearnog mjerila 0,9999 uzduž srednjeg meridijana. Posljedica toga je da su linearne deformacije u područjima udaljenim manje od 127 km od srednjeg meridijana manje od 1 dm na 1 km, a što se smatra prihvatljivim za radove katastra, inženjerske geodezije i topografije.

U ostalim područjima Republike Hrvatske koja su udaljena više od 127 km istočno ili zapadno od srednjeg meridijana potrebno je prilikom računanja u ravnini projekcije uzeti u obzir i deformacije projekcije. Kako u praktičnim radovima ne bi trebalo uvijek iznova razmišljati o tome treba li ili ne treba voditi brigu o deformacijama projekcije, preporuča se upotreba takvog softverskog rješenja koje će uvijek voditi računa o mogućim deformacijama. Ako su one zanemarive, jasno je da njihov utjecaj neće doći do izražaja u konačnom rezultatu (DGU 2009).

U toj projekciji, kao i kod Gauss-Krügerove projekcije, razlikujemo reducirane i nereducirane koordinate i označavamo:

E = reducirana istočna koordinata

N = reducirana sjeverna koordinata

$\bar{E}$ = nereducirana istočna koordinata, tj. $\bar{E} = \frac{E - 500000}{0,9999}$

$\bar{N}$ = nereducirana sjeverna koordinata, tj. $\bar{N} = \frac{N}{0,9999}$

U tehničkim specifikacijama (DGU 2009) nalaze se formule za računanje faktora lokalnog linearnog mjerila iz pravokutnih koordinata u projekciji. Osnovne formule imaju točnost 10^{-15} , a pojednostavljene formule imaju točnost 10^{-6} . Ova posljednja točnost dovoljna je za sva praktična računanja, a proizlazi iz primjene formule za faktor lokalnog linearnog mjerila na srednjem meridijanu:

$$m = 1 + \frac{1+\eta^2}{2N^2} \bar{E}^2. \quad (64)$$

U toj je formuli m faktor lokalnog linearnog mjerila na srednjem meridijanu, $\bar{E}$ nereducirana istočna koordinata, N (u kurzivu da se razlikuje od reducirane sjeverne koordinate N) polumjer zakrivljenosti presjeka elipsoida po prvom vertikalu

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_F}}, \quad (65)$$

i uobičajena oznaka

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi_F. \quad (66)$$

Vrijednosti od N i η^2 treba izračunati za $\varphi = \varphi_F$, a geodetska širina φ_F može se

izračunati prema formulama za geodetsku širinu ako je zadana nereducirana sjeverna koordinata točke (DGU 2009). U posebnom slučaju, ako u (64) umjesto

$\frac{1+\eta^2}{N^2}$ po uzoru na Borčića stavimo $\frac{1}{R^2}$, dobit ćemo

$$m = 1 + \frac{\bar{E}^2}{2R^2}. \quad (67)$$

Budući da je faktor lokalnog linearnog mjerila uzduž srednjeg meridijana jednak 0,9999, to će formula za faktor lokalnog linearnog mjerila u bilo kojoj točki projekcije biti

$$m = 0,9999 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{2R^2} \right). \quad (68)$$

U tehničkim specifikacijama (DGU 2009) za praktičnu upotrebu projekcije HTRS96/TM ne nalazimo izraze za deformaciju površina. Međutim, budući da je riječ o konformnom preslikavanju za koje je $p = m^2$, lako možemo dobiti

$$p = 0,9998 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{2R^2} \right)^2 \approx 0,9998 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{R^2} \right). \quad (69)$$

Izraz za deformaciju površina bit će

$$d_p = p - 1 = 0,9998 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{R^2} \right) - 1 \approx \left(\frac{\bar{E}}{R} \right)^2 - 0,0002. \quad (70)$$

Napomena

U Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (DGU 2024) piše: „Površine katastarskih čestica te površine njihovih dijelova koji se upotrebljavaju na različite načine su površine u službenoj ravninskoj kartografskoj projekciji iz članka 12. stavka 1. ovoga Zakona, a iskazuju se u kvadratnim metrima.” Iako smo već više puta pisali da nema smisla govoriti “ravninska” kartografska projekcija, jer su sve kartografske projekcije preslikavanja u ravninu (vidi npr. Lapaine 2020), pridjev “ravninska” i dalje se provlači kroz službene dokumente. Osim toga, u spomenutom zakonu nigdje se ne spominje potreba uzimanja u obzir deformacija zbog projekcije.

Primjer

Neka se na udaljenosti $\bar{E} = 200$ km od srednjeg meridijana područja preslikavanja nalazi zemljište veličine 20 000 ha (npr. oranice Belja, HTE 2025). Deformacija površina prema formuli (70) bit će približno $d_p = 0,000786$. Ako taj broj pomnožimo s 20 000 ha, dobit ćemo 15,7 ha. Dakle, ako računamo površinu toga zemljišta u projekciji (npr. iz koordinata lomnih točaka) ne uzimajući u

obzir deformaciju površine zbog projekcije, dobit ćemo površinu koja je za 15,7 ha veća od stvarne površine.

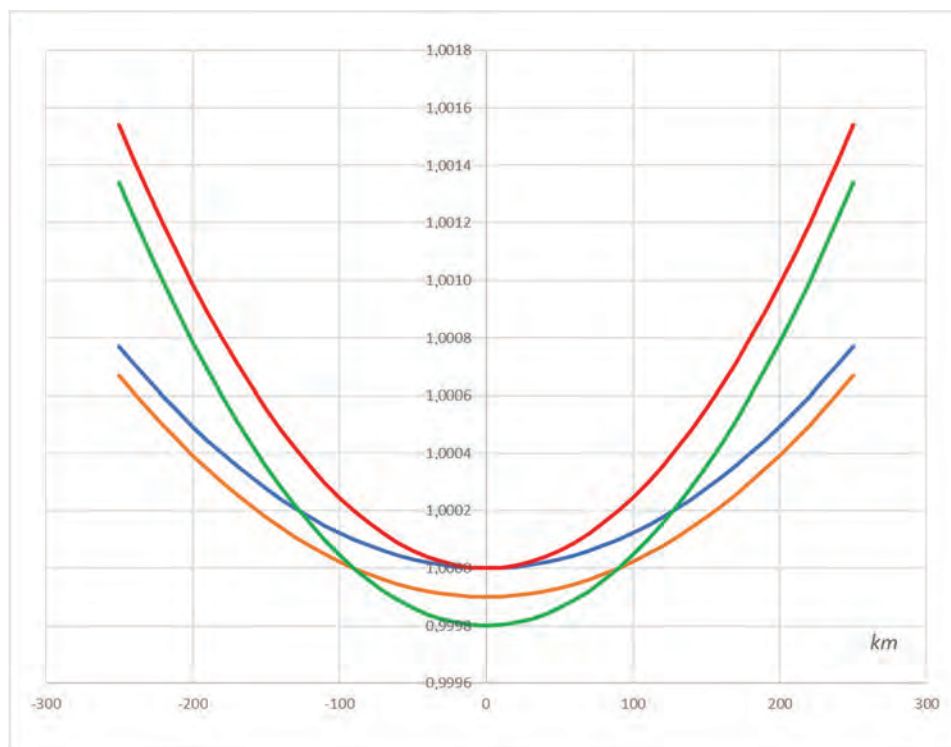
8. Zaključak

Članak se bavi deformacijama površina konformnih cilindričnih projekcija. U tu svrhu istražuju se uspravna i poprečna Mercatorova projekcija sfere, Gauss-Krügerova projekcija i poprečna Mercatorova projekcija elipsoida za Hrvatsku, odnosno HTRS96/TM. Pokazuje se da su izrazi za faktore lokalnih mjerila duljina i površina za sve te projekcije istoga oblika, samo treba uočiti na što se pojedine oznake odnose. Pregled konačnih formula za faktore lokalnih deformacija duljina i površina u navedenim projekcijama dan je u tablici 1. Za svaku je projekciju za ilustraciju odabran i izrađen po jedan primjer raspodjele deformacija.

Tablica 1. *Pregled izraza za faktore lokalnih deformacija duljina i površina u uspravnoj i poprečnoj Mercatorovoj projekciji sfere, Gauss-Krügerovoj projekciji i poprečnoj Mercatorovoj projekciji elipsoida za Hrvatsku (HTRS96/TM). Sve oznake objašnjene su u prethodnim poglavljima.*

	Faktor lokalnih deformacija duljina	Faktor lokalnih deformacija površina
Uspravna Mercatorova projekcija sfere	$k = k_0 \cosh \frac{\bar{y}}{R} \quad (25)$ $k = k_0 \left(1 + \frac{\bar{y}^2}{2R^2} + \frac{\bar{y}^4}{24R^4} + \dots \right)$	$p = k_0^2 \cosh^2 \frac{\bar{y}}{R}$ $p = k_0^2 \left(1 + \frac{\bar{y}^2}{R^2} + \frac{\bar{y}^4}{3R^4} + \dots \right)$
Poprečna Mercatorova projekcija sfere	$k = k_0 \cosh \frac{\bar{x}}{R}$ $k = k_0 \left(1 + \frac{\bar{x}^2}{2R^2} + \frac{\bar{x}^4}{24R^4} + \dots \right)$	$p = k_0^2 \cosh^2 \frac{\bar{x}}{R}$ $p = k_0^2 \left(1 + \frac{\bar{x}^2}{R^2} + \frac{\bar{x}^4}{3R^4} + \dots \right)$
Gauss-Krügerova projekcija	$m = 0,9999 \left(1 + \frac{\bar{y}^2}{2R^2} + \frac{\bar{y}^4}{24R^4} \right)$	$p = 0,9998 \left(1 + \frac{\bar{y}^2}{R^2} + \frac{\bar{y}^4}{3R^4} \right) =$ $= 0,9998 + \frac{\bar{y}^2}{R^2} + \frac{\bar{y}^4}{3R^4}$
HTRS96/TM	$m = 0,9999 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{2R^2} + \frac{\bar{E}^4}{24R^2} \right)$	$p = 0,9998 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{2R^2} + \frac{\bar{E}^4}{24R^2} \right)^2 \approx$ $\approx 0,9998 \left(1 + \frac{\bar{E}^2}{R^2} + \frac{\bar{E}^4}{3R^2} \right)$

Na slici 3 dan je grafički prikaz faktora lokalnih mjerila duljina i površina koji vrijedi za sve četiri istražene projekcije. Sa slike 3 se vidi kako udaljenost od srednjeg meridijana područja preslikavanja utječe na raspodjelu deformacija.



Slika 3. *Raspodjela linearnih i površinskih deformacija kod konformnih cilindričnih projekcija. Na horizontalnoj osi su kilometri, a na vertikalnoj faktori lokalnih linearnih mjerila (plavo i oker) te faktori lokalnih mjerila površina (crveno i zeleno).*

Plava boja: deformacije duljina uz $k_0 = 1$

Oker: deformacije duljina uz $k_0 = 0,9999$

Crveno: deformacije površina uz $k_0 = 1$

Zeleno: deformacije površina uz $k_0 = 0,9999$

Napomene

Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina propisuje da se površine katastarskih čestica te površine njihovih dijelova koji se upotrebljavaju na različite načine određuju u službenoj kartografskoj projekciji. Međutim, u tom zakonu nigdje se ne spominje potreba uzimanja u obzir deformacija zbog projekcije. Ipak, u Tehničkim specifikacijama za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske – HTRS96/TM (DGU 2009) piše da je u područjima Republike Hrvatske koja su udaljena više od 127 km istočno i zapadno od srednjeg meridijana potrebno prilikom računanja u ravnini projekcije uzeti u obzir i deformacije projekcije.

Spomenimo na kraju da iako je bilo riječi samo o cilindričnim projekcijama, nigdje u tekstu nije bio spomenut ni valjak ni cilindar. Naime, opisane cilindrične projekcije ne nastaju ni preslikavanjem ni projiciranjem na plašt valjka. Nazivamo ih cilindričnima zato jer se karta izrađena u takvoj projekciji može savinuti u plašt valjka, odnosno cilindra.

ZAHVALA. Autor zahvaljujem anonimnim recenzentima na korisnim primjedbama.

Literatura

- Borčić, B. (1955): Matematička kartografija, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Borčić, B. (1976): Gauss-Krügerova projekcija meridijanskih zona, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
- DGU (2009): Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske – HTRS96/TM, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- DGU (2024): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, NN 152/2024, NN 112/2018.
- Frančula, N. (2004): Kartografske projekcije, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frančula, N., Lapaine, M. (2008): Geodetsko-geoinformatički rječnik, Državna geodetska uprava, Zagreb.
- HTE (2025): Belje plus d.o.o., Hrvatska tehnička enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://tehnika.lzmk.hr/belje-plus-d-o-o/>, pristupljeno 4. 1. 2025.
- 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.
- Snyder, J. P. (1987): Map Projections: A Working Manual, USGS Professional Paper 1395, USGS, Washington, DC, USA.

Area Distortions in the Normal and Transverse Mercator Projection

ABSTRACT. The article deals with area distortions in conformal cylindrical projections. For this purpose, the normal and transverse Mercator projection of the sphere, the Gauss-Krüger projection and the transverse Mercator projection of the ellipsoid for Croatia, i.e. HTRS96/TM, are researched. It is shown that the expressions for the local scale factors of length and area for all these projections are of the same form, it is only necessary to note what the individual symbols refer to. This means that all four projections are related and that we can study them in this way. For each projection, one example of the distribution of distortions was selected and created for illustration. The Act on State Survey and Real Estate Cadastre stipulates that areas are determined in the official map projection but does not mention the need to consider distortions that are inherent in the projection. This article should influence a change in such practice.

Keywords: map projections, projection distortion, Mercator projection, transverse Mercator projection, Gauss-Krüger projection, HTRS96/TM.

Primljeno / Received: 2025-01-10

Prihvaćeno / Accepted: 2025-05-25

Review / Pregledni znanstveni članak

Peculiarities of the Use of Visualization Systems on UAV Platforms for Remote Gamma Monitoring

Sergiy KRYACHOK – Chernihiv¹, **Vadym BELENOK**,
Dmytro LIASHENKO – Kyiv², **Liliia HEBRYN-BAIDY** – Cambridge³,
Roman TRETIAK, **Olena BOYKO** – Kyiv²

ABSTRACT. Currently, the threat of nuclear weapons use has increased, with their deployment in new regions, and there are risks of accidents at nuclear power plants and terrorist acts involving nuclear charges. Therefore, remote gamma monitoring is relevant. The ability of UAVs to fly at low altitudes and speeds allows to increase the reliability of gamma monitoring compared to space and manned remote sensing means and to protect UAV operators from radiation exposure compared to ground-based methods, while visualization of monitoring results provides two- or three-dimensional models of radiation distribution on the earth's surface. A review of radiation imaging systems is made: with collimated detectors, with coded aperture, with rotational modulation, Compton imaging, with moving detectors (directional systems). Due to the smallest size and weight characteristics and the ability to operate in a remote gamma field, only the last two systems are currently suitable for use on UAVs. It has been established that systems with movable detectors on UAV platforms allow gamma monitoring in full: search for radioactive sources, mapping of natural radiation background and areas contaminated with radionuclides. Currently, Compton imaging sys-

¹ Assoc. Prof. Sergiy Kryachok, PhD, Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University, Shevchenko Street 95, UA-14035 Chernihiv, Ukraine, e-mail: geodesist2015@gmail.com

² Assoc. Prof. Vadym Belenok, PhD, corresponding author, Aerospace Geodesy and Land Management Department, State University "Kyiv Aviation Institute", Liubomyra Huzara Ave. 1, UA-03058 Kyiv, Ukraine, e-mail: vadym.belenok@npp.kai.edu.ua
Prof. Dr. Dmytro Liashenko, Geoinformatics Department, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Vasylykivska str. 90, UA-03022 Kyiv, Ukraine, e-mail: uageog@gmail.com
Assoc. Prof. Roman Tretiak, PhD, Aerospace Geodesy and Land Management Department, State University "Kyiv Aviation Institute", Liubomyra Huzara Ave. 1, UA-03058 Kyiv, Ukraine, e-mail: roman.tretiak@npp.kai.edu.ua
Senior Lecturer Olena Boyko, Aerospace Geodesy and Land Management Department, State University "Kyiv Aviation Institute", Liubomyra Huzara Ave. 1, UA-03058 Kyiv, Ukraine, e-mail: olena.boiko@npp.kai.edu.ua

³ Fellow Researcher Liliia Hebyn-Baidy, PhD, Scott Polar Research Institute, Department of Geography, University of Cambridge, Cambridge CB2 1ER, UK, e-mail: lh825@cam.ac.uk

tems allow detection of radiation sources at lower altitudes and speeds, which makes them effective for searching for sources in local areas of the urban environment and indoors, but does not allow mapping of large areas of radiation contamination.

Keywords: imaging systems, gamma radiation, remote sensing, UAVs, gamma detectors, radiation monitoring.

1. Introduction

The main task of unmanned vehicles (UVs) is to replace humans (pilots) during missions that are dangerous to their health and life.

The use of surface UVs is known. The main areas of their use are reconnaissance missions, protection of water areas from combat swimmers and scouts, remote mining and attacks on enemy ships and infrastructure facilities (Galushko 2023).

Underwater UVs are used to create passages through sea minefields (URL 1).

Ground-based UVs are used for cleaning apartments and yards, and in agriculture – for precision farming, field inspection, and delivery of materials to the farm (URL 2). Unmanned robotic systems are also used to perform levelling of airfield runways (Burachek et al. 2018, Tereshchuk et al. 2021). In the military, ground-based UVs are used for reconnaissance, combat use, and transporting the wounded from the battlefield (Zhyrokhov 2017).

Among the UVs, unmanned aerial vehicles (UAVs) are currently the most functional. They have been used in forestry to determine the characteristics of a stand of trees and to search for fire sites (Adão et al. 2017). In agriculture, UAVs are used for: monitoring the condition of agricultural land; operational assessment of land conditions; and yield forecasting (Zhang et al. 2019). Large-scale aerial surveys of small areas and the creation of digital terrain models of underwater areas of water bodies based on the results of aerial surveys are performed by UAVs (Silwal et al. 2022). On the battlefield, UAVs reconnoiter enemy positions and adjust artillery fire, while kamikaze UAVs perform fire on critical infrastructure, air defence assets, armoured targets, and concentrations of personnel (Korsunov et al. 2021). UAVs are constantly improving their element base and navigation tools (Tereshchuk et al. 2023).

Over the past decades, humanity has faced large-scale consequences of accidents at nuclear power plants in Ukraine – in Chernobyl and Fukushima – in Japan. Currently, the threat of nuclear weapons use, their deployment in new regions, and the risk of accidents at nuclear power plants as a result of terrorist acts has increased, which could lead to radiation contamination of the territories.

Therefore, it is relevant to develop remote sensing tools for monitoring radioactive radiation on UAV platforms aimed at finding sources of radioactive radiation, mapping natural elevated radiation background or areas contaminated with radionuclides (Widodo et al. 2020). The small dimensions and weight

characteristics of UAVs made it possible to significantly reduce the cost of their use, and the ability to fly at low altitudes and low speeds made it possible to increase the reliability of the results obtained regarding the distribution fields of ground radiation compared to space and manned aircraft and to protect UAV operators from direct exposure to the territory of radiation contamination and to speed up the acquisition of monitoring results compared to ground-based methods (Van der Veeke et al. 2021).

Gamma radiation is at the end of the short-wave, high-energy range of electromagnetic radiation with a wavelength of less than $2 \cdot 10^{-10}$ m. This radiation is the most penetrating among the types of radioactive radiation (Gordon 2008). Therefore, airborne radiation monitoring systems are aimed at detecting gamma radiation.

The aim of the article is to review the peculiarities of using imaging systems on the following platforms UAVs for remote gamma monitoring.

2. Radiation Imaging Systems

UAV technologies for gamma monitoring include detection of the territory and computer processing of counting and spectral information on radiation to obtain its optical representation, and therefore belong to visualization methods ((Makhnov 2019a). In addition to the above, gamma-ray imaging of the radiation contamination area involves coordinate-oriented documentation of the optical representation of the distribution of gamma radiation on the earth's surface using cartographic materials.

Various radiation detectors are used in imaging systems. Their operation is based on the fact that the ingress of a high-energy nuclear particle into a material environment leads to its ionisation. Detectors are differentiated by the method of detecting ionized fluxes. For example, in a Geiger-Muller detector, at a high voltage of 500 V to 800 V between the anode and cathode and the presence of an inert gas inside the cylinder, a gas amplification phenomenon is induced, which accelerates free electrons from initial ionization to the appearance of an uncontrolled chain avalanche throughout the gas volume, generating an electrical pulse or countdown. This process lasts from 200 μ s to 400 μ s, during which time the detector is considered 'dead' and unable to detect new nuclear particles before it can start counting pulses again. To reduce the dead time, for example, 10% ethanol is added to the gas tube. The detector records the radiation intensity by the count rate (Ahmad et al. 2021, Molnar et al. 2021).

A scintillation detector uses the property of the material medium to absorb energy from a charged particle, which leads to the emission of light – scintillation. For this purpose, crystalline scintillators such as sodium iodide (NaI), zinc sulphide (ZnS) and others are used. The ultraviolet light generated in the scintillator is focused on the photocathode, causing a photographic effect that is amplified, for example, by a photomultiplier tube. The signal from the scintillation detector is proportional to the energy of the detected gamma photon, and the count rate, which corresponds to the frequency of light flashes, records the radiation intensity (Ahmad et al. 2021, Molnar et al. 2021).

In a semiconductor detector, incident radiation causes electron-hole pairs to appear in the semiconductor, resulting in a detection signal. These detectors can operate at low voltages, have low power consumption, are less sensitive to electromagnetic fields, and are much smaller in size and, due to the high density of the solid state, can provide more information about the incident radiation than other types of detectors (Ahmad et al. 2021, Molnar et al. 2021).

Important properties of radiation imaging systems are field of view, spatial resolution, energy resolution, and noise. The field of view is the solid angle within which the detector collects radiation. Spatial resolution determines the detail of the image object. Energy resolution determines how well individual gamma lines in the energy spectrum can be distinguished from other lines and the background. Noise, i.e. statistical noise due to random fluctuations in radioactive decay or systematic noise, for example, due to instrumental artefacts (Ahmad et al. 2021).

Existing methods of gamma field imaging are divided into the following groups: systems with collimated detectors; systems with coded aperture; systems with rotational modulation; Compton imaging systems; systems with moving detectors, or directional systems (Makhnov 2019a, Vetter et al. 2006).

In imaging systems with collimated detectors, position-sensitive detectors are used as a sensing element – matrices or arrays of individual radiation detectors or continuous scintillator crystals with a flash position registration system (Makhnov 2019a). For example, an Anger chamber contains a heavy absorber made of lead or tungsten alloys with many holes placed in front of a position-sensitive gamma-ray detector (Fig. 1). The spatial resolution of the system depends on the distance of the detectors to the absorber and the diameter of the hole in it. However, at distances of several tens of meters, the resolution deteriorates to the point where no structure can be distinguished within the field of view, since the gamma radiation source is visible through all the collimator apertures. In this case, such a system is transformed into a tube collimator, and provides the ability to obtain images only by moving the system (Vetter et al. 2006).

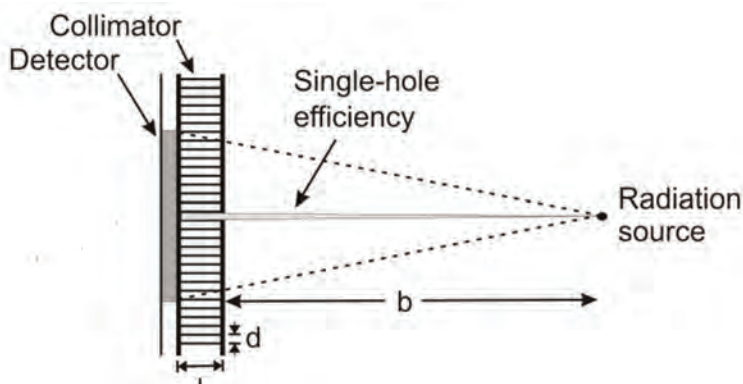


Fig. 1. Anger chamber: a collimator with a detector and a system of parallel apertures of length l and diameter d , located at a distance b from the radiation source (Vetter et al. 2006).

To improve efficiency and increase the field of view, collimators have been developed in the form of a flat mask with many holes that form a coded aperture. Coded aperture systems uniquely modulate each position in the field of view to a position-sensitive gamma radiation detector. The resulting image must be decoded using digital or optical methods. Fig. 2 shows a diagram of a coded aperture system in the form of a gamma scanner. The efficiency of its use is limited in conditions of high activity and complex gamma background. A coded aperture system can only reduce the intensity of the background above the signal, but cannot completely distinguish between them, especially for imaging long objects. For long distances of several tens of meters, coded aperture is equivalent to a simple point system. Coded aperture systems are very heavy (Amgarou et al. 2016, Makhnov 2019b, Vetter et al. 2006).

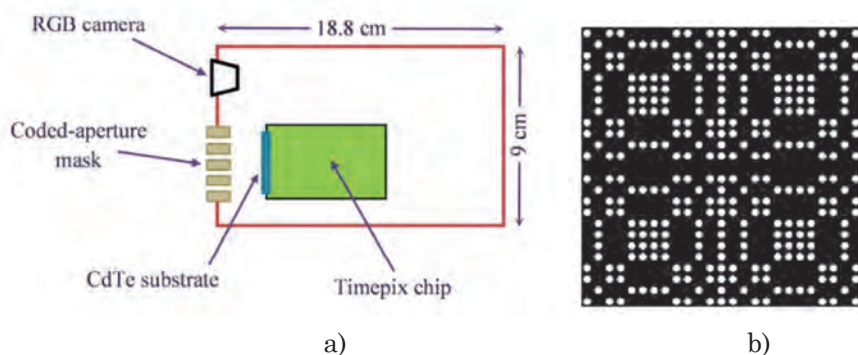


Fig. 2. Gamma scanner: a) optical camera, coded aperture mask, CdTe detector (cadmium telluride), Timepix chip for detecting radioactive photons (Amgarou et al. 2016); b) view of the coded aperture mask made of tungsten (Paradiso et al. 2017).

Systems with code modulation can use the principle of ‘mask-antimask’ (Fig. 3a). To implement such a system, it is necessary to have a mask composed of several periods of a uniformly redundant array, the location of each of the detectors opposite a single element of the mask, and the ability to turn the mask into an anti-mask by rotating it by 180°. This allows compensating for uneven background exposure of the detectors. The system can work with gamma radiation sources located at considerable distances – with parallel beams (Vetter et al. 2006).

A rotationally modulated system can consist of two sets of parallel gratings made of shielding material (rotationally modulated collimator) (Fig. 3b). Both gratings are rotated together in front of the detector, modulating the incoming radiation. Thus, the intensity of the radiation depends on the angle of the signal entering the system and on the current angle of rotation of the gratings and can be reproduced using an appropriate algorithm. The system does not require a position-sensitive gamma detector. Depending on the design and energies, the resolution can vary from 1° to several arc seconds. Rotationally modulated systems are very heavy (Makhnov 2019b, Vetter et al. 2006).

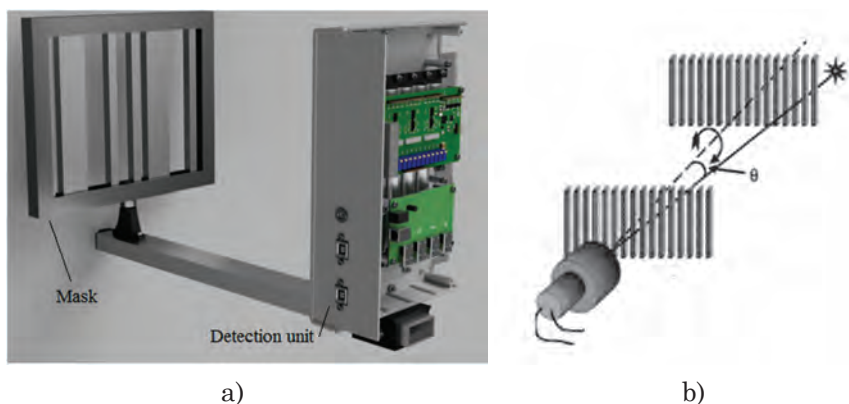


Fig. 3. Systems requiring rotation of masks: a) 'mask-antimask' system (Makhnov 2019b); b) system with rotational modulation (Vetter et al. 2006).

The concept of Compton imaging is based on the process of Compton scattering and the relationship between the scattering angle θ and the energy of the incident gamma radiation (Fig. 4a) (Vetter et al. 2006). The Compton imaging system, unlike conventional and collimator imaging systems, requires that the incident gamma radiation interacts at least twice in the detector: once by Compton scattering and once by photoelectric absorption. The positions of the first two interactions define the symmetry axis of the cone, whose opening angle θ is determined by the energy of the first interaction and the total energy of the gamma radiation. The projections of the cones onto the sphere will overlap at the location of the source (Fig. 4b), which allows determining its position in three dimensions.

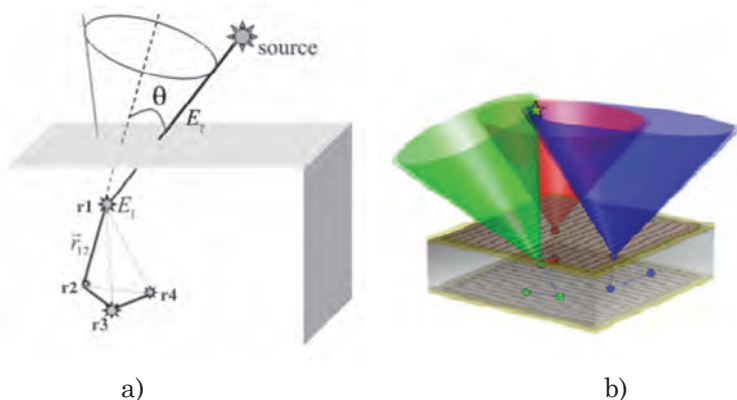


Fig. 4. Illustration of the Compton imaging principle: a) relationship between the scattering angle and the energy of incident gamma radiation; b) intersection of scattering cones (Vetter et al. 2006).

Compton imaging systems are the only ones that can distinguish between background and source because they can measure both simultaneously. Advances in two-dimensional segmentation of semiconductor detectors and signal processing have made it possible to create effective high-resolution Compton imaging systems. The disadvantage of Compton imaging is their complexity and potentially high cost (Vetter et al. 2006).

Systems with moving detectors are simple devices consisting of position-insensitive detectors. They allow the location of sources to be determined provided that the detection system or the source is moving. Systems can have directional or omnidirectional detectors. The angle of the field of view ω corresponds to the value of the spatial resolution. Detectors can be shielded. The shielding creates a shadow that allows for more accurate and reliable source location than is possible with an unshielded detector. Such a directional detector usually has the form of a collimator tube (Fig. 5a). The angle of the field of view ω and the height H determines the field of view – the diameter D of the area on the earth's surface from which radiation is received by the detector (Fig. 2b). These systems are capable of operating in the far radiation field (Makhnov 2019a).

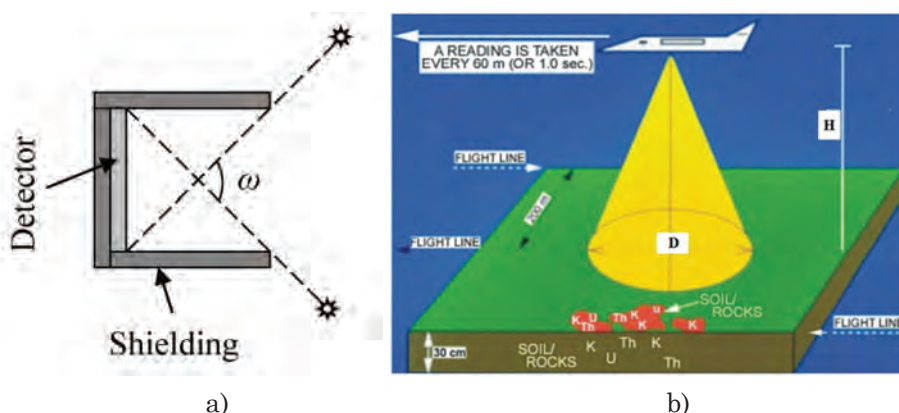


Fig. 5. To the system with a mobile detector: a) field of view angle of the directional detector (Kryachok 2024); b) imaging system with a mobile airborne detector (Makhnov 2019a).

A summary of the main technical parameters of the imaging systems is given in Table 1. The energy resolution depends on the type of detector (Vetter et al. 2006).

Table 1. *Summary of performance and engineering parameters of the five gamma-ray imaging categories (Vetter et al. 2006).*

Parameters	Collimator	Coded Aperture	Rotation Modulation	Compton Camera	Directional
FOV	< 60°	< 60°	< 60°	180° or 360°	30° – 360°
Angular Resolution	< 30°	< 5°	< 5°	1° – 5°	> 30°
Energy Resolution	Very Poor – Excellent	Very Poor – Excellent	Very Poor – Excellent	Good – Excellent	Very Poor – Excellent
Minimum Weight	20 kg	20 kg	20 kg	0.5 kg	0.1 kg

As noted above, systems with collimated detectors and coded apertures lose their distinguishing properties in the far radiation field. Systems with coded and rotational modulation have significant dimensions and weight. According to Table 1, Compton imaging systems and systems with movable detectors have the lowest weight compared to other imaging systems and are able to operate in the remote radiation field. Therefore, it is clear that systems with moving detectors and Compton imaging are the most suitable for use on UAVs.

3. Imaging Systems with Moving Detectors on UAV Platforms

Article (Burtniak et al. 2018) presents data on the remote radiation monitoring system. It consists of three subsystems: UAV in the form of an octocopter; radiation monitoring subsystem (GR-Smart) installed on the octocopter and ground subsystem (Fig. 6).

The main structural elements of the UAV are: a control system consisting of a manual control subsystem and an automatic control subsystem (autopilot); a gyro-stabilised platform on which the GR-Smart is placed; orientation, speed and direction sensors and a GPS receiver; and a radio communication channel with the ground subsystem.

The onboard remote sensing subsystem GR-Smart stores the following data during the flight: geographical coordinates, altitude, pressure, temperature and spectrometric data.

The ground-based subsystem is computerised and performs the following functions: data processing; database maintenance; construction of radionuclide spectra and counts per second; detection of local radioactive contamination zones; determination of gamma radiation dose rate; determination of coordinates of point sources of gamma radiation; construction of a contour map of gamma radiation distribution and documentation of radiation monitoring data; data reception via Wi-Fi from GR-Smart.

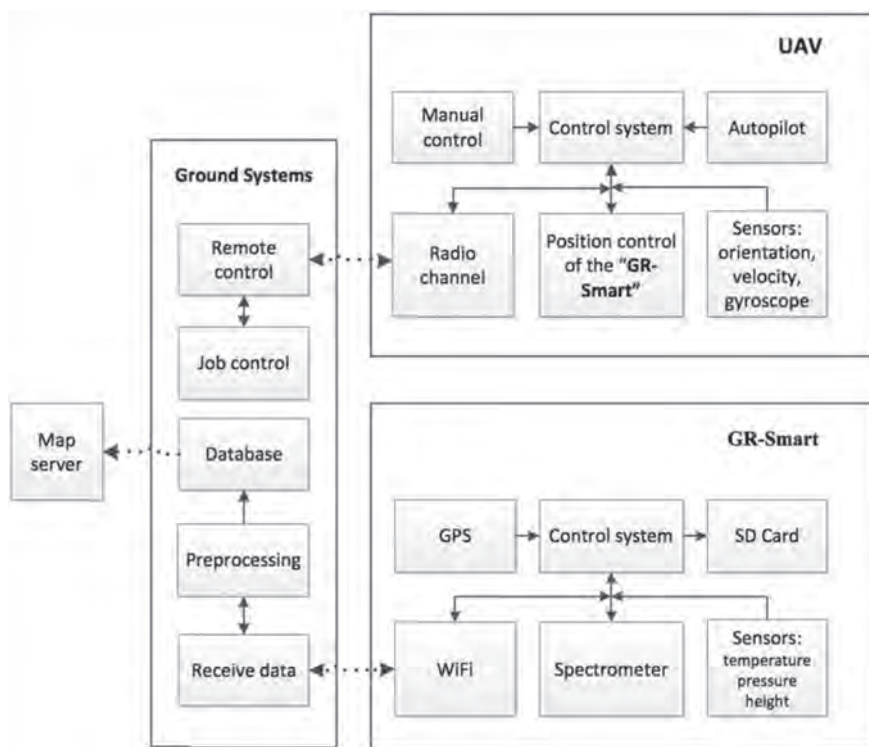


Fig. 6. Remote radiation monitoring systems flowchart (Burtiak et al. 2018).

The main element of GR-Smart is a NaI (Tl) gamma-ray spectrometer. The spectral information is accumulated in the form of amplitude-time. The detection system consists of five detectors, the characteristics of which are shown in Table 2.

Table 2. Characteristics of the radiation detector and gamma-ray imaging conditions (Burtiak et al. 2018).

Detector	5 scintillators NaI (Tl) 63 to 63 mm
Dose rate sensitivity	0.8 $\mu\text{Sv h}^{-1}$
Sensitivity of surface contamination density	0.5 kBq m^{-2}
Energy range	from 30 to 3000 keV
Relative energy resolution for Cs137	0.1 sec
Data collection frequency	10 Hz
UAV speed	2.8 m s^{-1}
Flight height	from 5 to 30 m

Information from five detectors is synchronized in one integrated detector. The Wi-Fi data channel transmits data in real time over a distance of up to 1 km. The on-board GR-Smart subsystem is capable of surveying 3 km² per hour. The flight time is 40 minutes. Battery replacement takes 5 minutes. Therefore, the UAV can survey up to 21 km² in one day.

Paper (Zabulonov et al. 2017) presents data on an automated rapid response system for radiation control and environmental monitoring. The system consisted of a UAV and a ground station. The detector is based on a 63 × 63 mm Nai (Tl) crystal weighing 0.85 kg with an energy resolution of 6% and a photo-multiplier tube. The detection unit weighs 6.5 kg and contains 5 detectors. In areas with high radiation activity, one or more basic detectors are switched off. Conversely, if the radiation activity of the site is low, the statistical reliability of the measurement is increased by connecting additional basic detectors.

From the UAV, the following is performed: measurement and collection of gamma radiation spectra from the earth's surface, identified by geographical coordinates and altitude; visualization of the area using a survey camera. The information is transmitted to the station at one-second intervals via a WiFi communication channel.

The screen of the ground station based on the vehicle displays the following data in real time: aircraft coordinates automatically obtained from the GPS satellite navigation system unit; spectral composition of radioactive contamination attributed to real objects; dose and power of the equivalent dose of radioactive radiation. The measurement range is: photon radiation energy 0.5–3000 keV; equivalent dose rate 0.1–5000 μSv/h. ArcGIS software was used to process the gamma-ray data, and the empirical Bayesian kriging method was used for interpolation. The following tasks are also performed: documentation of the obtained radiation monitoring data; construction of a map-scheme at a scale of 1:10 000 (Fig. 7) (Zabulonov et al. 2017).

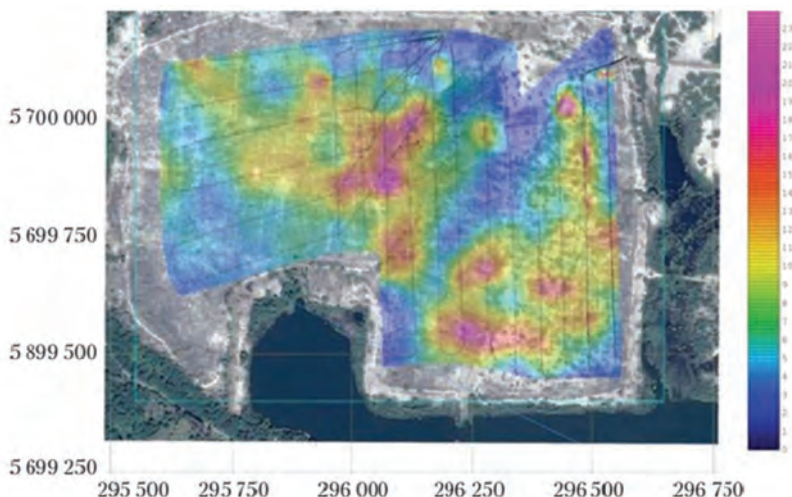


Fig. 7. Map of equivalent dose intensity on the scale 1:10 000 (Zabulonov et al. 2017).

A gamma-ray spectrometry system on a UAV platform for the reconnaissance and identification of natural radionuclides is presented in (Kunze et al. 2022). The system included CeBr_3 (Medusa) scintillation detector (7.5×15 mm) with a resolution of 3.9% for 662 keV; global navigation satellite system (GNSS); compass; inertial measurement unit and gyro sensors; laser range finder; temperature and pressure sensors; first person view camera; communication systems.

The identification of natural radionuclides was carried out at an outdated uranium mining site in Mailuu Suu in southern Kyrgyzstan. The UAV flew at an altitude of 10 m above sea level at a speed of 3 m/s. The distance between the survey lines was 10 m. The UAV was hovering in the hot spots. During the flight, raw spectra, GPS data, and time stamps were recorded on a USB device that could be removed from the spectrometer. Data processing was performed on a personal computer. Data processing is carried out at two levels: the total spectrometer reading rate and spectrometric data. For spectral analysis, the window method and, alternatively, the full spectrum analysis method were used. The software used to create the maps was the spline interpolation method. Color maps of increased radionuclide activity or decay series were created for: K-40, U-238, Th-232. Google Earth contour maps served as the basis for creating radioactivity maps of the study area.

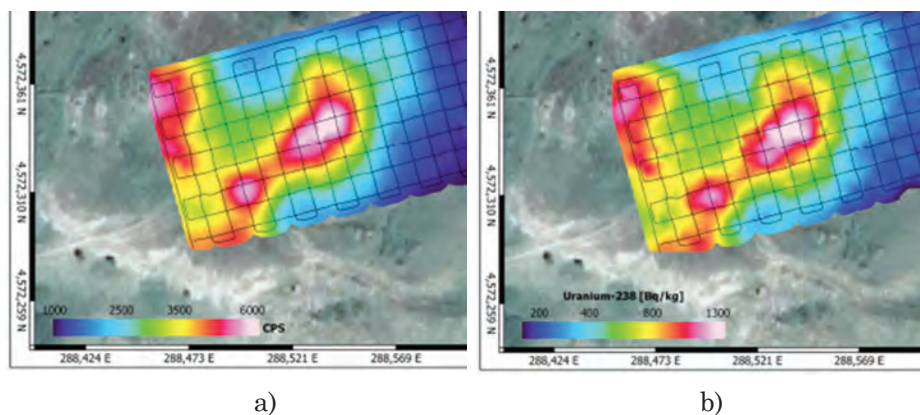


Fig. 8. Gamma survey results: a) total count rate in the study area; b) specific activity of U-238 in the study area (Kunze et al. 2022).

Fig. 8, a shows the total count rate in counts per second (cps) without any processing, except spline interpolation of the data points. Fig. 8 shows the results of data processing, i.e., the specific activities in Becquerels per kilogram of U-238 decay series, respectively. These results have been calculated with the full spectrum method (Kunze et al. 2022).

Paper (Woodbridge et al. 2023) provides information on the use of vertical take-off and landing UAVs with fixed wings for airborne gamma-ray mapping (Fig. 9a). VTOL allows collecting radiometric data over many kilometers of territory

much faster than multi-rotor UAVs. Such a system is useful for responding to nuclear accidents when terrain mapping, mineral exploration and mine site surveys are urgently needed. The VTOL is a commercial Wingtra one, weighs 4.5 kg, has a cruising speed of 60 km per hour, carries a payload of 800 g, has a flight time of 55 minutes, and is resistant to winds of 45 km per hour. The payload includes a GPS receiver and an autonomous airborne radiation mapping system (AARM), which is installed in place of a standard DSLR camera. The AARM system consists of a CsI(Tl) scintillator; a semiconductor detector based on cadmium-zinc telluride (a Cadmium Zinc Telluride) to add gamma-ray mapping capabilities for energies above 1.4 MeV; and a GPS receiver. The UAV has a standard downward-facing LIDAR and power supply. Radiological data is stored and transmitted via cellular communication to obtain real-time data (Woodbridge et al. 2023).

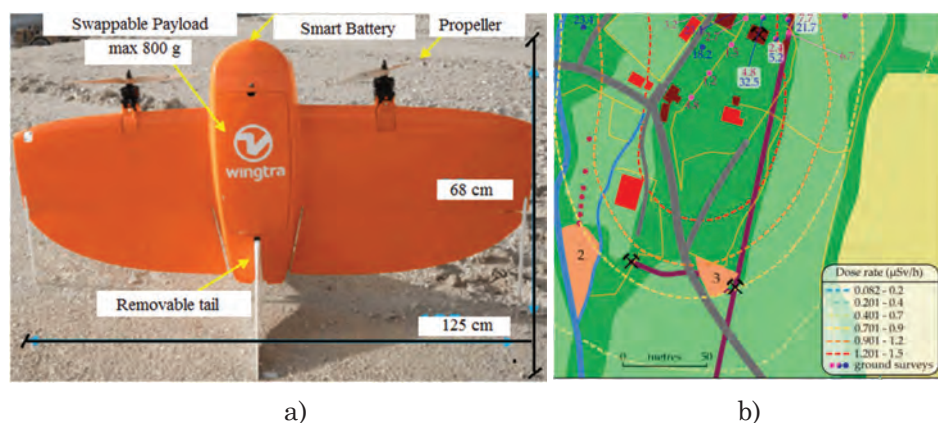


Fig. 9. UAVs with vertical take-off and landing with a fixed wing and results of gamma-ray survey: a) UAV body containing a payload of up to 800 g, a replaceable tail, a 'smart' battery, a propeller; b) map of the area with the distribution of gamma radiation dose rate (Woodbridge et al. 2023).

An old uranium mine was used to test the VTOL system. The flights were performed in tack in automatic mode at an altitude of 70 m at a speed of 15 m/s with an interval between tacks of 20 m. The gamma spectra were collected at a frequency of 10 Hz, which were combined into larger time intervals of 1, 2, and 5 Hz during post-processing. The peak intensities were calculated using the spectral window method for the corresponding photon energies with the contribution of scattered photons removed. Spectral intensities were converted to equivalent dose rates. Each measurement was corrected for the difference in height above ground level using the height recorded by the onboard LiDAR and taking into account the linear attenuation coefficient of air with standard temperature and pressure for the corresponding photon energies and brought to a height of 1 m above the ground surface. The processed data was visualized in ArcGIS Pro with interpolation of radiometric data using the Empirical Bayesian Kriging tool. As a result, a map of the area with the distribution of

dose rates on the territory of the uranium mine in the form of isolines of equal dose rate was obtained (Fig. 9b) (Woodbridge et al. 2023).

The system for detecting radiation contamination of the area is described in (Molnar et al. 2021). The system consisted of a UAV, a GPS receiver, and subsystems for radiation detectors, data recording, data processing, and visualization. Moreover, two different detector subsystems were tested based on Geiger-Muller counters and a scintillation detector. The scintillation detector subsystem contained a $13 \times 13 \times 47$ mm CsI (Tl) crystal and a multipixel photon counter.

To search for the source of radiation contamination, the territory was conditionally divided into squares with a side of 3×3 m. On the planned route, the UAV hovered for 10 seconds in the center of each square, the coordinates of the point were determined, and gamma radiation measurements were performed every second. The data recorded during the flights were processed offline using the developed MATLAB software, after which the results were visualized. The gamma radiation source was made up of autunite minerals $(\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \times (10\sim 12)\text{H}_2\text{O})$ distributed on a 30 cm diameter disc. The measurements were performed from a height of 3 meters, as this was the optimal height for detecting a low-power source. In the unfiltered data set, it is difficult to find signs of a source among the background radiation, and several false peaks appear. However, visualization of the gamma radiation intensity from the measurement data in the form of a flat distribution allows us to clearly separate the source from the background radiation (Fig. 10) (Molnar et al. 2021).

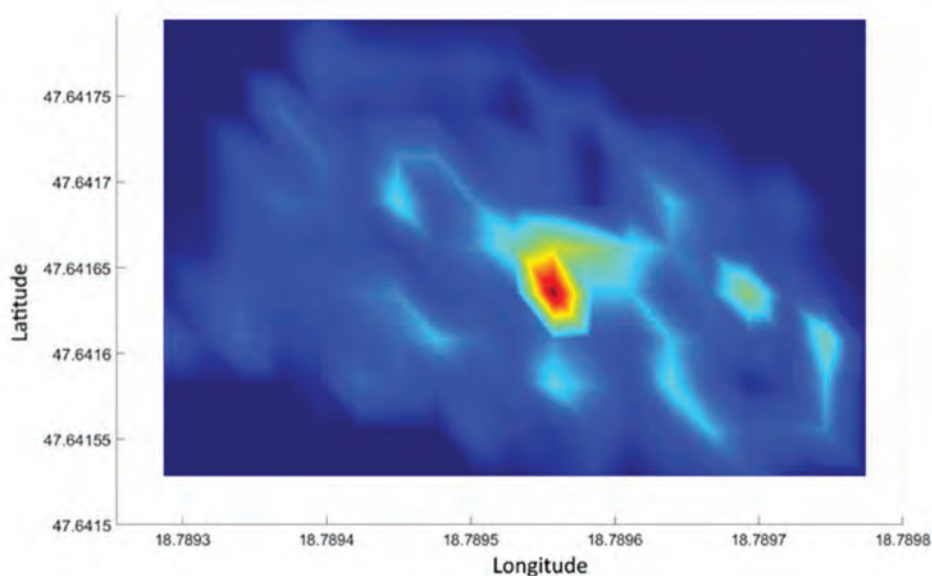


Fig. 10. Distribution of gamma radiation intensity in the experimental area (Molnar et al. 2021).

The system for detecting gamma radiation sources with an advanced radiation detector for UAV operations (ARDUO), for placement on a UAV platform in the form of a helicopter with a payload of up to 6 kg, is presented in (Chen et al. 2020). The system includes a barometer, GNSS receiver, compass, and inertial measuring device to determine its position and orientation every 0.02 seconds. The ARDUO detector has 8 CsI(Tl) crystals measuring $2.8\text{ cm} \times 2.8\text{ cm} \times 5.6\text{ cm}$, placed in a self-shielded configuration, with silicon photomultipliers. Each gamma radiation detector in the 2×2 detector array has partial attenuation of the radiation signal through neighboring detectors, which allows determining the azimuth and elevation angle in the direction of the radiation source. The UAV's autopilot records latitude, longitude, altitude and orientation using an advanced Kalman filter and a set of listed sensors, providing each radiation measurement with a position and coordinates for further analysis. The information is transmitted to the operator's control station every second (Fig. 11). The nominal flight parameters of the ARDUO for the search for the radiation source were: altitude 10 m, speed 2 m/s, tack distance 4 m. The directional reconstruction algorithm allows for real-time results for any spectrum prior to isotope identification and is effective in locating even highly shielded isotopes or mixed radiation fields due to its wide energy range from 0.1 MeV to 3.0 MeV.

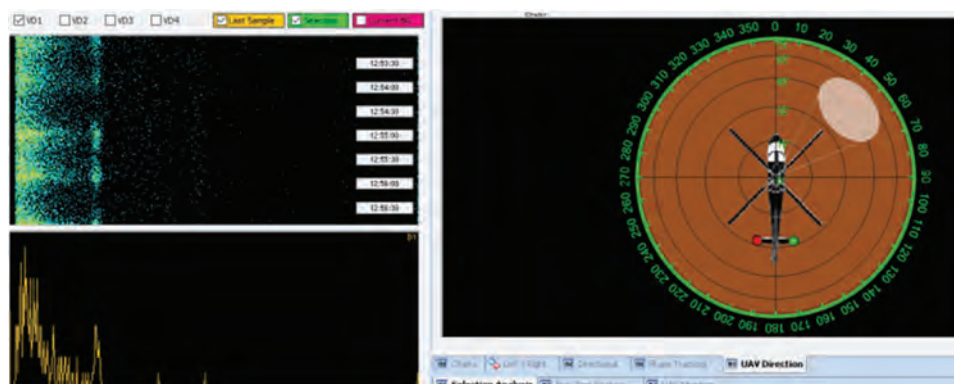


Fig. 11. Viewing data on real-time operator displays over the ^{137}Cs gamma source: the upper left display on the vertical axis shows time; energy on the horizontal axis; its amount in the display plane; the lower left display shows the current one-second energy spectrum for one detector (for isotope identification); the right display shows the current reconstruction of the direction pointing to the source at an azimuth of 50° and an elevation angle of about 45° (Chen et al. 2020).

The Localization and Mapping Platform (LAMP) for the search for gamma radiation sources to eliminate the consequences of radioactive material releases is presented in (Pavlovsky et al. 2018). The LAMP platform is self-sufficient, i.e. it can be deployed in portable configurations or on unmanned ground or air vehicles, as well as in manual configurations. The modularity of the LAMP system allows sensor combinations to be configured to meet specific use cases. The platform includes: LiDAR, four commercial CsI (Tl) scintillation detectors weighing about 0.6 kg, a survey camera, an autonomous navigation system

IMU, a GPS receiver, an on-board computer, a communication channel, a battery (Fig. 12a), and a multi-copter UAV. Each gamma radiation detector in the 2 x 2 detector array has a partial attenuation of the radiation signal due to neighboring detectors. This causes a self-shielding effect. It helps to determine the direction of the radiation source. As a result, LAMP allows gamma mapping using the 'scene data fusion' function, which combines radiation data and terrain data using a voxelized 3-dimensional method of maximization the mathematical expectation of likelihood to create 3-dimensional maps of the distribution of radioactive sources in real time (Fig. 12b).

The results are calculated on board the LAMP during the UAV's flight and transmitted via a communication channel to the user, who can view a three-dimensional map on a tablet in real time. Since the angular resolution of the system is low, the proximity effect was used for localization. In the reported cases, the LAMP proximity distance was 1–3 m, which allows for a spatial resolution of several meters (Pavlovsky et al. 2018).

The technology for creating contour maps of radiation contamination areas and detecting radiation sources using a swarm of UAVs is presented in (Kazemeini et al. 2019). This technology allows to automatically determine the contamination contour using a swarm of UAVs without entering the exposure zone directly. Gamma data from each UAV is time-stamped and combined with location data and transmitted via a communication channel to a ground station. Radiation sensors were installed on each UAV platform: a semiconductor cadmium-zinc telluride sensor or an elpasolite scintillation sensor.

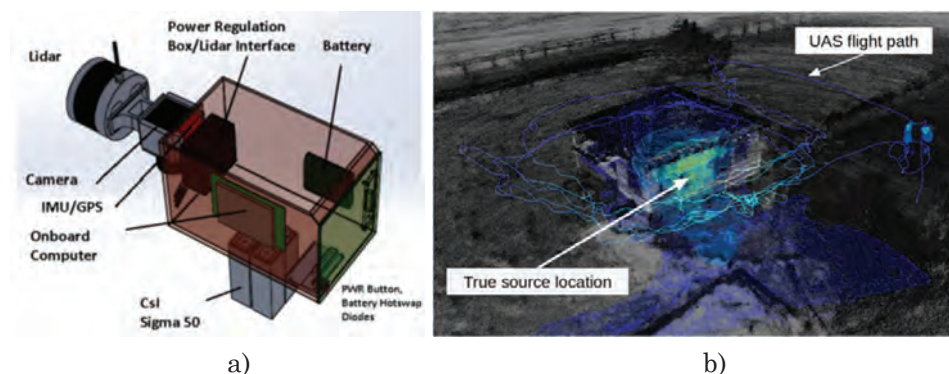


Fig. 12. *The Localisation and Mapping Platform (LAMP) and gamma-ray survey results: a) platform payload; b) 3-dimensional map of radiation distribution with the source inside the building (Pavlovsky et al. 2018).*

The CZT sensor for gamma-ray spectrometry has a high energy resolution (less than 2% for photon energy of 662 keV). It operates in direct conversion mode at ambient temperature and contains a 1 cm³ CZT crystal. The energy range of the sensor is from 30 keV to 3 MeV. The data array from the CZT sensor is sent via USB to an on-board mini-computer, where a gamma radiation spectrum is generated and then analyzed using a code to identify peaks in the presence of background in the measured spectrum. The peaks are approximated using a

Gaussian function. This allows the identification of the isotopes emitting these gamma rays and the estimation of the source power (Kazemeini et al. 2019).

The CLYC detector is used for neutron and gamma measurement identification. The CLYC sensor is constructed of a cylindrical crystal with a diameter of 2.54 cm and a length of 2.54 cm. The wavelength range of its scintillation radiation is from 275 to 450 nm. This crystal is combined with a superbicalium photomultiplier tube, a miniature digitizer and a high voltage generator. All this was packed into a special case (Fig. 13a). The sensor operates without cooling. The measured energy resolution of gamma quanta was 5% at 662 keV and 3.3% at 1332 keV. Neutron signals appear at energies of 3200 keV. The graph in Fig. 13b shows that neutron and gamma signals are well separated. The real-time kinematic positioning (RTK) method was used to determine the UAV's coordinates. A reference 'base' station is used to correct the UAV's position. This method allows to obtain coordinates with a frequency of 20 Hz. The accuracy of UAV position determination is 10 mm in plan and 15 mm in height (Kazemeini et al. 2019).

The current state of development of an unmanned gamma monitoring system is presented in (Widodo et al. 2020). Gamma monitoring systems should be capable of mapping naturally high radiation backgrounds or areas contaminated with radionuclides, tracking the radioactive plume and searching for radioactivity sources. The radiation detection equipment should be an independent module. The module is proposed to use a semiconductor detector based on cadmium-zinc telluride (CdZnTe), which does not require a cooling system. The location monitoring module will consist of a GPS controlled by a microcontroller. A video camera can be installed on the UAV to visualize the location of the data. The modules should be powered by a battery the size of a smartphone. The collected data will be transmitted to a ground station located in the base camp in real time using the telemetry system of the radio frequency communication module.

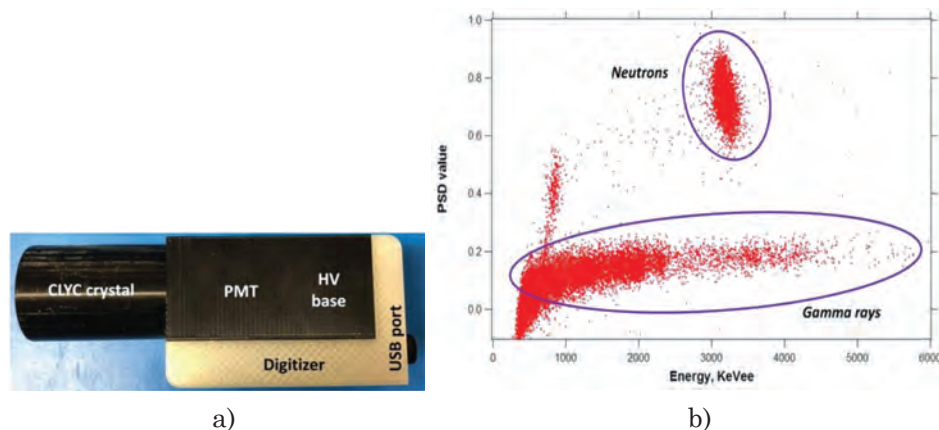


Fig. 13. Radiation detection sensors and neutron-gamma spectrogram: a) appearance of the CLYC sensor; b) neutron-gamma spectrogram (neutron-gamma plot) (Kazemeini et al. 2019).

A method for determining the location of a radiation source G located on a flat earth surface $A'B'$ is based on UAV control from a ground control station (Fig. 14) (Kryachok and Belenok 2023). UAV flight is performed on parallel, horizontally located trajectories, along which its coordinates, radiation dose rate, and UAV height above the earth's surface are measured synchronously and periodically. If the points A and B of maximum radiation power P_A, P_B with coordinates x_A, y_A, x_B, y_B , and heights above the earth's surface h_A, h_B are detected on two adjacent trajectories, the following calculations are performed at the ground station. Distance between opposite points of maximum radiation power

$$D = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}, \quad (1)$$

ratio $a = \frac{P_A}{P_B}$, value $h = \frac{h_A + h_B}{2}$. Provided that $D \geq \frac{a-1}{\sqrt{a}}$, the horizontal distance from the maximum point A to the projection O on the horizontal surface of the radiation source G is calculated by the formula

$$d_{AO} = \frac{-D + \sqrt{D^2 - (a-1)[(a-1)h^2 - D^2]}}{a-1}, \quad (2)$$

$\alpha_{AB} = \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)$ is the directional angle of the direction AB and the coordinates of the radiation source

$$x_0 = x_A + d_{AO} \cos \alpha_{AB}, \quad (3)$$

$$y_0 = y_A + d_{AO} \sin \alpha_{AB}. \quad (4)$$

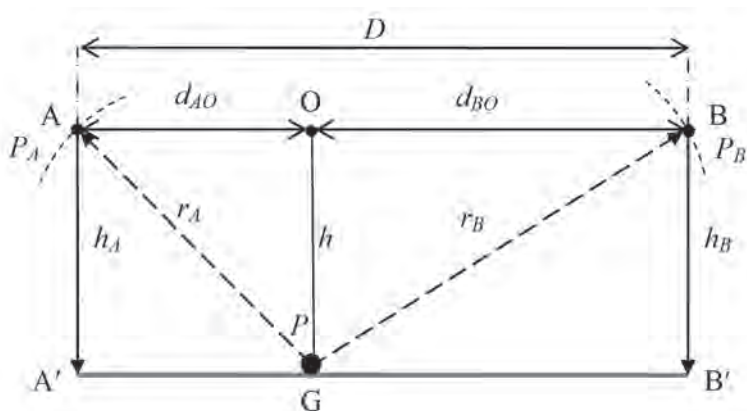


Fig. 14. A method for determining the location of a radiation source (Kryachok and Belenok 2023).

If $P_A = P_B$, then the coordinates of the radiation source are equal to the average of the corresponding coordinates x_A, y_A and x_B, y_B . Estimation of the radiation power at a distance of 1 m from the radiation source, taking into account

the distance to the source $r_A = \sqrt{d_{OA}^2 + h^2}$, taken in meters, is equal to $P = P_A r_A^2$.

If $D < \frac{a-1}{\sqrt{a}}$, then, upon a command from the ground control station, the UAV

flies along a horizontal trajectory between the opposite points of maximum radiation power A and B , and the planned coordinates and height h' of the detected point C of the maximum radiation power P_C on the flight path correspond to the location of the radiation source. The estimated power P of the radiation source at a distance of 1 m from it, taking into account the height h'

taken in meters, is equal to $P = P_C (h')^2$ (Kryachok and Belenok 2023).

The application of this method requires a simplified mathematical apparatus for calculations. To determine the planned coordinates of the radiation source, it is not necessary to take into account air pressure and temperature to bring the altitude measurements to the earth's surface, since the method is based on the ratio of radiation powers measured on opposite routes at almost the same values of air parameters. The method can be implemented by a copter-type UAV with a payload in the form of a flight control system, a radio communication system with a ground station, an onboard GPS receiver, an altimeter, a mobile radiation detector with uniform sensitivity in the lower hemisphere, as well as an electronic system for controlling these devices and processing the results located at the ground control station.

4. Compton Imaging Systems on UAV Platforms

The remote radiation imaging system was developed for remote and rapid measurement of radioactive contamination inside the buildings of the Fukushima nuclear power plant (Sato et al. 2018). The system consisted of a multicopter with a Compton camera mounted on a gimbal; an on-board computer; an optical camera; a GPS receiver; and a battery (Fig. 15a).

The Compton camera consisted of three parts: a gamma ray detector, a signal processing unit, and an optical camera. The weight of the entire system did not exceed 1 kg. The gamma sensor consisted of two stages: a scatterer and an absorber (Fig. 15b). Each stage consists of a Ce-doped GAGG ($\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$) scintillator combined with a multipixel photon counter. The distance between the scatterer and the absorber is 23.5 mm. The gamma sensor was connected to a signal processing unit that records and processes information about the position of the interaction of gamma quanta and the value of the energy released in the scatterer and absorber. The processed signals and optical images from the optical camera are transferred to a computer via a USB port.

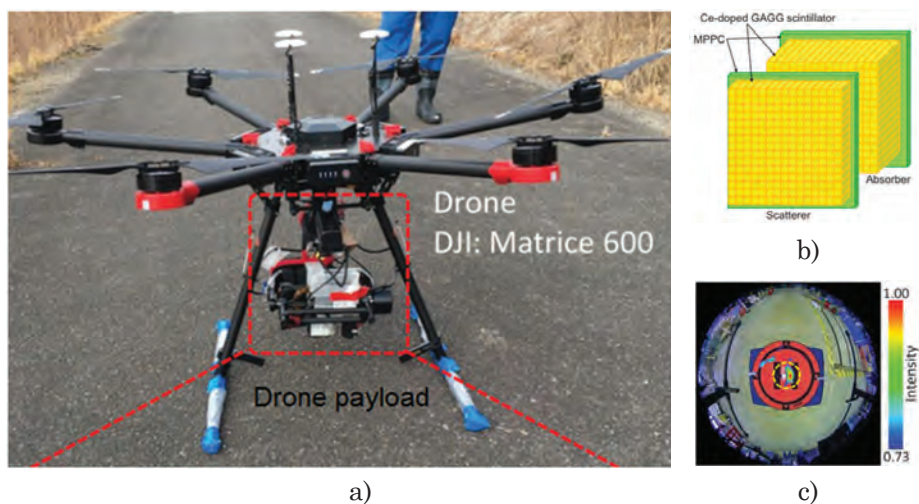


Fig. 15. Remote radiation detection systems based on the Compton camera: a) the appearance of the remote radiation detection system; b) diagram of the gamma radiation detector; c) visualization of the 'hot spot' (Sato et al. 2018).

Radiation images are reconstructed by the back-projection method and superimposed on optical images to visualize radioactive substances (Fig. 15c) (Sato et al. 2018).

The paper (Báča et al. 2021) presents the development of a new miniature system for the localization and assessment of compact gamma radiation sources on the platforms of mini rotary-wing aircraft (Fig. 16a).

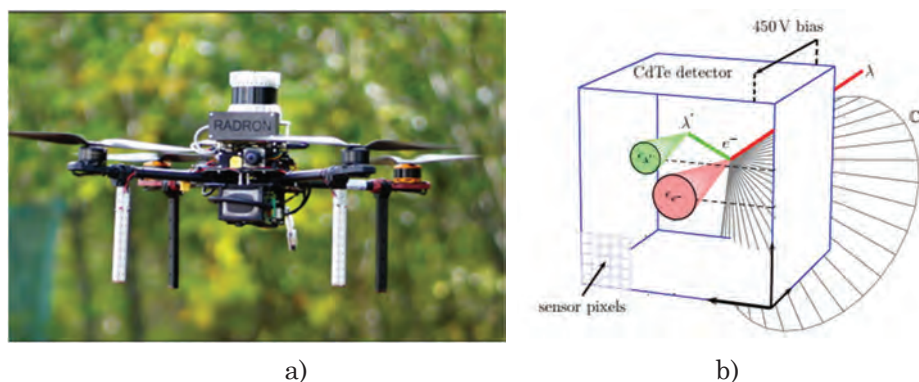


Fig. 16. Miniature localization system for detecting and evaluating compact gamma radiation sources: a) appearance of the system on a mini-UAV platform; b) illustration of the Compton scattering effect in a 2 mm thick CdTe detector with a voltage of 450 V, when the incoming gamma photon λ changes its momentum in the direction λ' from the scattering center and forms an electron e^- (Báča et al. 2021).

The system uses a single-sensor Compton chamber. The Compton chamber uses a cadmium telluride (CdTe) detector to measure Compton scattering products in the form of incoming high-energy gamma photons. The camera can also detect β particles and heavy ions. Particle traces can be classified to determine the nature of the radiation source. Unlike the dual-sensor camera (Sato et al. 2018), only one sensor is used to measure scattering products. For this purpose, a 2 mm thick semiconductor CdTe detector was used, capable of causing scattering effects in its thickness and also of capturing scattering products with a multi-pixel sensor (Fig. 16b) (Báča et al. 2021).

5. Conclusions

The article reviews the existing radiation imaging systems: with collimated detectors; with coded aperture; with rotational modulation; Compton imaging; with moving detectors. As a result, it becomes clear that Compton imaging systems and systems with moving detectors, due to their ability to operate in a remote radiation field and low weight characteristics, are currently suitable for use on UAV platforms.

The analysis of the peculiarities of using remote sensing tools for gamma monitoring in the form of systems with moving detectors and Compton imaging allows us to draw the following conclusions:

- systems with movable detectors allow for full gamma monitoring, namely, searching for radioactive sources, mapping of natural elevated radiation background and large areas contaminated with radionuclides;
- currently, Compton imaging systems allow detecting sources of radiation sources at lower altitudes and speeds with a delay above the over the source for its identification, which makes them effective for searching for sources in local areas of the urban environment and indoors, but not allows mapping of large areas of radiation contamination.

ACKNOWLEDGEMENTS. The author Lillia Hebryn-Baidy express gratitude to the British Academy and the Council for At-Risk Academics for support to this research through the Researchers at Risk Research Support Grants.

References

- Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., Sousa, J. J. (2017): Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry, *Remote Sensing*, 9 (11), 1110, <https://doi.org/10.3390/rs9111110>.
- Ahmad, M. I., Ab. Rahim, M. H., Nordin, R., Mohamed, F., Abu-Samah, A., Abdullah, N. F. (2021): Ionizing Radiation Monitoring Technology at the Verge of Internet of Things, *Sensors*, 21 (22), 7629, <https://doi.org/10.3390/s21227629>.
- Amgarou, K., Paradiso, V., Patoz, A., Bonnet, F., Handley, J., Couturier, P., Becker, F., Mena, N. (2016): A comprehensive experimental characterization of the iPIX gamma imager, *Journal of Instrumentation*, 11 (8), P08012, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/11/08/P08012>.
- Báča, T., Štibinger, P., Doubravova, D., Turecek, D., Solc, J., Rusnak, J., Saska, M., Jakubek, J. (2021): Gamma Radiation Source Localization for Micro Aerial Vehicles with a Miniature Single-Detector Compton Event Camera, 2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2021, 338–346, 9476766, <https://doi.org/10.1109/ICUAS51884.2021.9476766>.
- Burachek, V., Malik, T., Kryachok, S., Bryk, Y., Belenok, V. (2018): Device for automated leveling, *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 5 (431), 95–99, <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.13>.
- Burtiak, V., Zabulonov, Y., Stokolos, M., Bulavin, L., Krasnopolovets, V. (2018): Application of a territorial remote radiation monitoring system at the Chornobyl nuclear accident site, *Journal of Applied Remote Sensing*, 12 (4), 046007, <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.046007>.
- Chen, C. M., Sinclair, L. E., Fortin, R., Coyle, M., Samson, C. (2020): In-Flight Performance of the Advanced Radiation Detector for UAV Operations (AR-DUO), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 954, 161609, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.068>.
- Galushko, A. (2023): A fleet of drones and the new naval warfare, <https://www.blackseanews.net/en/read/200783>, (accessed 5 August 2024).
- Gordon, G. (2008): *Practical Gamma-ray Spectrometry*, 2nd Edition, Wiley, Warrington, UK, <https://nna1989.files.wordpress.com/2015/05/gordon-gilmore-practical-gamma-ray-spectroscopy-2008.pdf>, (accessed 5 August 2024).
- Kazemeini, M., Vargas, J., Barzilov, A., Yim, W. (2019): Gamma Ray Measurements Using Unmanned Aerial Systems, *Use of Gamma Radiation Techniques in Peaceful Applications*, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82798>.
- Korsunov, S., Volkov, A., Oboronov, M., Oriekhov, S., Gurtovenko, V., Fedchenko, S. (2021): Transformation of unmanned aviation tasks from its creation

- to application in modern military conflicts, Development, combat application and armament of aviation, 3 (44), 66–81, <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.08>, (in Ukrainian).
- Kryachok, S. (2024): Application of unmanned aerial vehicles for radiation monitoring, Technical Sciences and Technologies, 3 (37), [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-247-261](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-247-261), (in Ukrainian).
- Kryachok, S. D., Belenok, V. Iu. (2023): Method for determining the location of a radiation source, Utility model patent No. 154278, Ukraine, PMK (2023.1) C 7/00, G01C 3/00. Applied for 3.2.2023; Published 1.11.2023; Bulletin No. 44, 6 p. (in Ukrainian).
- Kunze, C., Preugschat, B., Arndt, R., Kandzia, F., Wiens, B., Altfelder, S. (2022): Development of a UAV-Based Gamma Spectrometry System for Natural Radionuclides and Field Tests at Central Asian Uranium Legacy Sites, Remote Sensing, 14 (9), 2147, <https://doi.org/10.3390/rs14092147>.
- Makhnov, O. I. (2019a): Development of the optimal design of a gamma radiation imaging system, Electronic and Acoustic Engineering: scientific and technical journal, 2 (3), 6–10, <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2019.2.3.163436>, (in Ukrainian).
- Makhnov, O. I. (2019b): Gamma radiation visualization system. Diploma project, https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28084/1/Makhnov_bakalavr.pdf, (accessed 5 August 2024) (in Ukrainian).
- Molnar, A., Domozi, Z., Lovas, I. (2021): Drone-based gamma radiation dose distribution survey with a discrete measurement point procedure, Sensors, 21 (14), 4930, <https://doi.org/10.3390/s21144930>.
- Paradiso, V., Amgarou, K., Lanaute, N. B. D., Schoepff, V., Amoyal, G., Mahe, C., Beltramello, O., Liénard, E. (2017): A panoramic coded aperture gamma camera for radioactive hotspots localization, Journal of Instrumentation, 12 (11), P11010, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/11/P11010>.
- Pavlovsky, R., Haefner, A., Joshi, T. H., Negut, V., McManus, K., Suzuki, E., Barnowski, R., Vetter, K. (2018): 3-D Radiation Mapping in Real-Time with the Localization and Mapping Platform LAMP from Unmanned Aerial Systems and Man-Portable Configurations, <https://www.semanticscholar.org/reader/751a68f57b684c6cf3a1e6de3f6c42a5a321e144>, (accessed 5 August 2024).
- Sato, Y., Ozawa, S., Terasaka, Y., Kaburagi, M., Tanifuji, Y., Kawabata, K., Miyamura, H. N., Izumi, R., Suzuki, T., Torii, T. (2018): Remote radiation imaging system using a compact gamma-ray imager mounted on a multi-copter drone, Journal of Nuclear Science and Technology, 55 (1), 90–96, <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1383211>.
- Silwal, A., Tamang, S., Adhikari, R. (2022): Use of unmanned aerial vehicle (UAV) formapping, and accuracy assessment of the orthophoto with and without using GCPs: A case study in Nepal, Mersin Photogrammetry Journal, 4 (2), 45–52, <https://doi.org/10.53093/mephoj.1176847>.
- Tereshchuk, O. I., Kryachok, S. D., Belenok, V. Iu., Malik, T. M., Hebryn-Baidy, L. V. (2021): Robotic complex for the runway leveling. Device for

- automated leveling. News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2 (446), 180–188, <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.51>.
- Tereshchuk, O., Kryachok, S., Belenok, V., Boyko, O., Alpert, S. (2023): Improvement of the method of verification of the drift of the gyrovertical on the UAV during aerial photography using the liquid horizon, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 32, 101045, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101045>.
- Van der Veeke, S., Limburg, J., Koomans, R. L., Söderström, M., de Waal, S. N., van der Graaf, E. R. (2021): Footprint and height corrections for UAV-borne gamma-ray spectrometry studies, Journal of Environmental Radioactivity, 231, 106545, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106545>.
- Vetter, K., Mihailescu, L., Nelson, K., Valentine, J., Wright, D. (2006): Gamma-ray Imaging Methods, Technical Report, <https://doi.org/10.2172/1036848>.
- Widodo, S., Abimanyu, A., Apribra, R. (2020): Development of drone mounted aerial gamma monitoring system for environmental radionuclide surveillance in BATAN, J. Phys., Conf. Ser. 1436 012126, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012126>.
- Woodbridge, E., Connor, D. T., Verbelen, Y., Hine, D., Richardson, T., Scott, T. B. (2023): Airborne gamma-ray mapping using fixed-wing vertical take-off and landing (VTOL) uncrewed aerial vehicles, Frontiers in Robotics and AI, 10, 1137763, <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1137763>.
- Zabulonov, Yu. L., Burtnyak, V. M., Odukalets, L. A. (2017): System for Effective Remote Control and Monitoring of Radiation Situation Based on Unmanned Aerial Vehicle, Science and Innovation, 13 (4), 46–53, <http://dx.doi.org/10.15407/scin13.03.046>, (in Ukrainian).
- Zhang, L., Zhang, H., Niu, Y., Han, W. (2019): Mapping maize water stress based on UAV multispectral remote sensing, Remote Sensing, 11 (6), 605, <https://doi.org/10.3390/rs11060605>.
- Zhyrokhov, M. (2017): Ground drones: the main achievements of the Ukrainian defense industry, <https://mind.ua/openmind/20177877-nazemni-droni-golovni-dosyagnennya-ukrayinskogo-oboronpromu>, (accessed 22 April 2025) (in Ukrainian).

URLs

- URL 1: REMUS underwater drones will help ships break through sea minefields, <https://sundries.news/remus-underwater-drones-will-help-ships-break-through-sea-minefields/>, (accessed 5 August 2024).
- URL 2: Ground Drone XAG R150 2022 XAUV RevoMower, <https://store.drone.ua/nazemnyi-dron-xag-r150-2022-xauv-revomower/>, (accessed 5 August 2024) (in Ukrainian).

Osobitosti primjene sustava vizualizacije na platformama UAV-a za daljinsko praćenje gama zračenja

SAŽETAK. Trenutačno je povećana prijetnja od upotrebe nuklearnog oružja, njegovim raspoređivanjem u novim regijama, a postoje i rizici od nesreća u nuklearnim elektranama i terorističkih akcija koji uključuju nuklearna punjenja. Stoga je relevantno daljinsko praćenje gama zračenja. Sposobnost bespilotnih letjelica da lete na niskim visinama i brzinama omogućuje povećanje pouzdanosti praćenja gama zračenja u usporedbi s letjelicama s posadom za daljinska istraživanja te da zaštite operatere bespilotnih letjelica od izloženosti zračenju u usporedbi s metodama na tlu, dok vizualizacija rezultata praćenja osigurava dvodimenzionalne ili trodimenzionalne modele raspodjele zračenja na Zemljinoj površini. Pregled sustava snimaka zračenja provodi se: pomoću kolimiranih detektora, kodiranog otvora, rotacijske modulacije, Comptonova sustava snimanja, pokretnih detektora (usmjerenih sustava). Zbog najmanjih veličina i mase te sposobnosti rada u udaljenom gama polju, samo su posljednja dva sustava trenutačno prikladna za uporabu na bespilotnim letjelicama. Utvrđeno je da sustavi s pokretnim detektorima na platformama UAV-a omogućuju praćenje gama zračenja u cijelosti: traženje izvora radioaktivnosti, kartiranje pozadine prirodnog zračenja i područja kontaminiranih radionuklidima. Trenutačno, Comptonovi sustavi snimanja omogućuju otkrivanje izvora zračenja na nižim visinama i brzinama, što ih čini učinkovitima za traženje izvora u lokalnim područjima urbanog okoliša te u zatvorenom prostoru, ali ne dopuštaju kartiranje velikih područja kontaminacije zračenjem.

Ključne riječi: sustavi snimanja, gama zračenje, daljinska istraživanja, bespilotne letjelice, detektori gama zračenja, praćenje zračenja.

Received / Primljeno: 2025-01-19

Accepted / Prihvaćeno: 2025-04-22

Stručni članak / Professional paper

Interaktivne karte ACI marina u Republici Hrvatskoj

Nikolina IVANIŠEVIĆ – Split¹, Robert ŽUPAN,
Grgo DŽELALIJA – Zagreb², Ivana RACETIN – Split¹

SAŽETAK. U radu se istražuje proces izrade web GIS aplikacije s interaktivnom kartom ACI marina u Republici Hrvatskoj. Interaktivne karte omogućuju korisnicima jednostavnu navigaciju i pregled relevantnih informacija o marinama i njihovim sadržajima. Cilj rada bio je razviti digitalno rješenje koje će poboljšati iskustvo nautičara i turista, pružajući im ažurne podatke i intuitivno korisničko sučelje. U teorijskom dijelu objašnjeni su koncepti digitalne i web kartografije te značaj GIS tehnologija u modernom nautičkom turizmu. Praktični dio opisuje postupak prikupljanja i obrade podataka, definiranja kartografskih elemenata te kreiranja interaktivne karte pomoću ArcGIS Online platforme. Karta uključuje slojeve s informacijama o marinama, smještaju, restoranima, bankomatima i drugim relevantnim sadržajima. Finalni produkt je web GIS aplikacija koja omogućuje jednostavno pretraživanje i interakciju s kartografskim prikazima. Rad naglašava važnost digitalnih rješenja u promociji i unaprjeđenju nautičkog turizma te otvara mogućnosti za daljnji razvoj aplikacije kroz integraciju dodatnih funkcionalnosti poput meteoroloških podataka i sustava rezervacija.

Ključne riječi: ACI marine, interaktivna karta, web GIS, ArcGIS Online, nautički turizam.

¹ Nikolina Ivanišević, univ. mag. ing. geod. et geoinf., Marina Getaldića 25, HR-21000 Split, Hrvatska, e-mail: nikolina.ivanisevic.st@gmail.com
prof. dr. sc. Ivana Racetin, Sveučilište u Splitu – Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska, e-mail: ivana.racetin@gradst.hr

² prof. dr. sc. Robert Župan, Sveučilište u Zagrebu – Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: robert.zupan@geof.unizg.hr
dr. sc. Grgo Dželalija, Ericsson Nikola Tesla d.d., Krapinska 45, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: grgo.dzelalija@ericssonnikolatesla.com

1. Uvod

Nautički turizam se izdvaja kao jedan od ključnih oblika turističke industrije u Republici Hrvatskoj, a često se svrstava pod elitnu vrstu turizma. Odnosi se na plovidbu morem, jezerima i rijekama, a uključuje i pristajanje u marinama i lukama. Gradnjom većeg broja marina tijekom 20. stoljeća, popularnost ovog oblika turizma svakodnevno raste, a to dokazuje i činjenica da je u tom pogledu Hrvatska danas jedna od najboljih europskih i svjetskih destinacija. Atraktivna i razvedena obala s više od tisuću otoka, pogodni uvjeti za plovidbu te iznimna turistička ponuda razlozi su postojanja duge tradicije nautičkog turizma. Adriatic Croatia National Club (ACI) predstavlja vodeću tvrtku takvog turizma u Republici Hrvatskoj, a odnosi se na lanac od 22 marine (URL 1 i URL 2).

Osim službenih pomorskih karata koje su neizostavan dio navigacije na moru, danas su od velike važnosti i digitalni kartografski sustavi. S obzirom na razvoj tehnologije i sve veću primjenu internetskih i mobilnih aplikacija, web karte postale su ključan faktor za poboljšanje nautičkog turizma. U pogledu web kartografskog sadržaja, izdvajaju se interaktivne karte i aplikacije koje predstavljaju moćan alat za manipuliranje prostornim podacima (Župan i Frangeš 2004). Zbog raznih ograničenja na analognim kartama tijekom plovidbe, digitalne platforme s interaktivnim funkcionalnostima svakodnevno privlače sve više nautičara. Povećavaju sigurnost na moru, olakšavaju planiranje plovidbe i rezervaciju marina i pristaništa, a te prednosti uvelike doprinose poboljšanju korisničkog iskustva i promicanju nautičkog turizma.

Pri stvaranju projekta kombinirane su kartografske vještine s naprednim GIS tehnologijama, a osnovna svrha je kreiranje interaktivnog prikaza. Prvi cilj rada je prikupiti i obraditi informacije o ACI marinama i pripadnom sadržaju i pri tome pazeći da konačni kartografski prikaz ne bude zagušen s prevelikom količinom informacija. Nakon toga, cilj je izraditi interaktivnu web kartu, a zatim i web aplikaciju koja će osim objekata na karti sadržavati tekstualni i multimedijски sadržaj kako bi se stvorio oku ugodan i zanimljiv doživljaj. Web GIS aplikacija iznimno je jednostavna za korištenje, a putem interaktivnog sučelja nautičarima je omogućena jednostavnost pretraživanja i upravljanja kartografskim elementima. Takva aplikacija će omogućiti upoznavanje zainteresiranih korisnika s nautičkim turizmom u Republici Hrvatskoj, a njeno pregledavanje bit će dostupno na internetu.

ACI (ADRIATIC CROATIA INTERNATIONAL CLUB) je vodeća hrvatska nautička tvrtka, osnovana 1983. godine, a broji čak 22 marine što ga čini najvećim sustavom marina na Mediteranu. Obuhvaća pet regija koje redom idu Istra, Kvarner, šibenska, splitska i dubrovačka regija, a unutar svake se nalazi određeni broj ACI marina. Rasporedene su od Umaga, ulaz u hrvatski dio Jadrana pa sve do krajnjeg juga Hrvatske – Dubrovnika, a 2016. godine otvorena je posljednja ACI marina „Veljko Barbieri“ Slano. Na čelu svake marine je direktor, a u Rijeci se nalazi sjedište cijelog društva. Nerijetko ih nautičari cijelog svijeta odabiru kao prvi izbor prilikom plovidbe, a to dokazuje i podatak da godišnje gotovo 400 tisuća nautičara posjećuje ACI marine. Osim što je ACI začetnik nautičkog turizma u Hrvatskoj, može se reći i da se ACI marine

nalaze na najljepšim lokacijama na Jadranu. Pri dolasku u marine, može se uživati u ljepotama povijesnih jezgra gradova, prirodnim ljepotama i kulturnoj baštini. ACI marine se s ponosom mogu pohvaliti da dugi niz godina redovito osvajaju prestižne nagrade i priznanja kao što su “Turistički cvijet – kvaliteta za Hrvatsku”, a dodjeljuju se najkvalitetnijim hrvatskim turističkim destinacijama. Sustav ACI marina kontinuirano unaprjeđuje svoje usluge i proizvode pa se tako danas vez može rezervirati putem ACI Online Bookinga i ACI Appa (URL 2).

2. Digitalna kartografija

Pojam digitalna kartografija definira se kao primjena kompjutorske tehnologije u kartografiji. Na početku razvoja takve kartografije, očekivala se poprilično brza automatizacija izrade karata, što nije odmah dalo očekivane rezultate. Tijekom vremena kartografi su došli do spoznaje da proces izrade karata različitih mjerila zahtijeva mnogo zasebnih postupaka koje nije moguće u potpunosti automatizirati. Iz tog razloga, dolazi se do termina kompjutorski podržana kartografija (engl. Computer Assisted Cartography-CAC), a danas se najviše koristi naziv digitalna kartografija jer je cijeli tijek izrade karte u digitalnom obliku (Frančula 2004). Digitalna karta je karta u vektorskom i/ili rasterskom formatu pohranjena na nosioce pogodne za računalnu obradu. Sadrži softver i sve atribute za prikaz na ekranu monitora ili crtanje ploterom uključujući potpunu signaturizaciju, nazive i opis karte (Frančula 2004).

S obzirom da izrada analognih karata predstavlja opsežan i vremenski zahtjevan proces, primjena računala u izradi kartografskih prikaza je od iznimnog značaja. Korištenjem dosadašnjih metoda pri izradi karata, mogu se uvidjeti mnogi nedostaci za koje digitalna kartografija uspješno pronalazi rješenje. Najveći benefit digitalnih karata je taj da je potrebno manje vremena prilikom njihove izrade. Osim toga, na taj način se može utjecati na osuvremenjivanje karata, a samim time i na smanjivanje cijene izrade karata. Od ostalih prednosti može se navesti poboljšanje uvjeta rada za kartografe, a ujedno i unaprjeđenje kvalitete samih karata, a pojavom digitalne kartografije, uspješno su riješeni i zadaci koji su kartografima u prošlosti zadavali mnoge poteškoće (Frančula 2004).

Uz prednosti, u digitalnoj kartografiji se mogu pronaći i određeni negativni učinci. Od kartografa se zahtijeva i očekuje da je stručnjak u raznim poljima čije znanje je neophodno prilikom izrade digitalnih kartografskih prikaza, a to danas predstavlja veliki izazov. Još jedan nedostatak, koji se stvorio prilikom izrade karata na računalu, je taj da kartografski nestručnjaci sve više postaju autori karata. To je za rezultiralo nedovoljno točnim i preciznim kartografskim djelima, a ipak su bila prihvaćena jer tada su predstavljala novitet (Frančula 2004).

3. Web kartografija

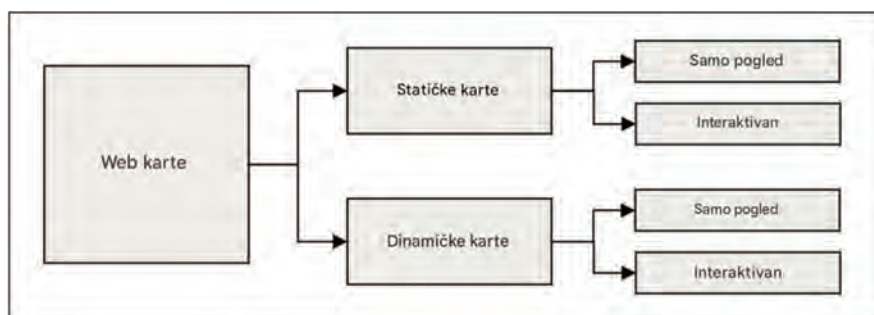
Analogne karte su od davnina nezamjenjiv medij za prijenos i prikaz geoprostornih informacija, a usporedbom sa suvremenim metodama, može se reći da sve veću prednost imaju karte u digitalnom formatu i dostupne na web-u. Najvažnije promjene u kartografiji direktno su povezane s pojavom interneta, računalne tehnologije i geoinformacijskih sustava (Frangeš i dr. 2002). Tehnološki razvoj direktno je utjecao na pojavu web kartografije što je rezultiralo izradom virtualnih kartografskih prikaza na internetu (Župan i Frangeš 2015).

Internet je međunarodna računalna mreža, a sastoji se od računala, općeg skupa podataka, raznih informacijskih procesa i od elementa koji se odnosi na ljude (Frančula i Tutić 2003). World Wide web (WWW) ili samo web je globalni informacijski sustav za prezentaciju i širenje kartografskih podataka, pri čemu se stvaraju višestruke funkcije karte, a kao najvažnija značajka izdvaja se multimedija (Kraak i Brown 2001).

Web karta je karta dostupna na internetu, a korisnici kao njihovu najveću prednost izdvajaju dostupnost i aktualnost. Ipak se mogu uvidjeti određena ograničenja koja ne dozvoljavaju da te dvije stavke uvijek budu zadovoljene. Problemi mogu nastati kada se ne vodi briga o ažuriranju sadržaja koji se u današnje vrijeme rapidno mijenja. Osim toga, internet je ograničavajući faktor prilikom upotrebe takvih karata jer ta mreža nije uvijek svima jednako dostupna, a i brzina prijenosa uvelike utječe na kvalitetu korisničkog iskustva. Najkvalitetnije web kartografske stranice su upravo one koje nude vremenski osjetljive informacije kao što su meteorološke ili prometne web karte (Kraak i Brown 2001).

3.1. Podjela web karata

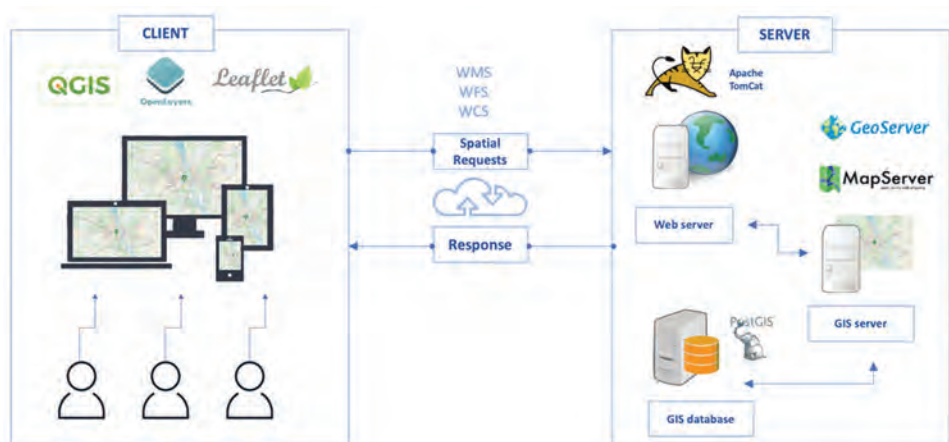
Karte na internetu mogu se podijeliti u dvije skupine, a to su statične karte kod kojih prikaz na zaslonu nije u pokretu i dinamične gdje je prikaz na zaslonu u pokretu. Obje uključuju mogućnost samo pregledavanja (engl. view only) i mogućnost interakcije sa sadržajem na karti (engl. interactive) (Kraak i Brown 2001) (slika 1).



Slika 1. Podjela web karata – modificirano prema Kraak i Brown (2001).

3.2. Web GIS tehnologija

Kada se govori o web kartama, važno je osvrnuti se na utjecaj geoinformacijskih tehnologija na kartografiju. Geografski informacijski sustav (GIS) je računalni sustav koji prikuplja, obrađuje, pohranjuje i prikazuje geoprostorne podatke s pripadnim atributima. Web GIS pojam odnosi se na primjenu tehnologije interneta s njegovim normama u prijenosu i prikazu podataka u GIS-u (Frančula i Tutić 2003). Web GIS razmjenjuje informacije na način da se odvija komunikacija između poslužitelja i klijenta (slika 2).



Slika 2. Arhitektura web GIS-a (URL 3).

Klijent u web GIS arhitekturi obuhvaća različite platforme, uključujući web preglednike, mobilne aplikacije te aplikacije za stolna računala, putem kojih korisnici ostvaruju interakciju sa sustavom. Njegova osnovna uloga je omogućiti prikaz karata, obraditi korisničke unose i prosljediti zahtjeve poslužitelju, odnosno web GIS serveru. Svaki web GIS server posjeduje jedinstvenu URL adresu, koja klijentima omogućuje jednostavno lociranje i pristup putem interneta. Središnji element web GIS arhitekture čini poslužitelj, koji preuzima ključne zadatke vezane uz obradu i upravljanje podacima. Unutar poslužiteljske infrastrukture smještena je baza podataka, koja se sastoji od prostornih baza namijenjenih pohrani geoprostornih informacija i njihovih atributa. Proces razmjene informacija započinje kada korisnik putem klijentske aplikacije pošalje HTTP zahtjev poslužitelju, koji potom izvršava tražene GIS operacije. Nakon obrade podataka, poslužitelj generira odgovor i vraća ga korisniku u jednom od standardiziranih formata, kao što su HTML, binarne slike, XML (Extensible Markup Language) ili JSON (JavaScript Object Notation) (Chauhan 2024). U usporedbi s tradicionalnim GIS-om, web GIS donosi niz prednosti, među kojima se ističe veća dostupnost podataka. Korisnicima omogućuje istovremeni pristup podacima s više poslužitelja raspoređenih na različitim lokacijama, čime se povećava fleksibilnost i učinkovitost rada. Do-

datno, njegova platformna neovisnost omogućuje transparentno korištenje bilo putem mobilnih ili desktop aplikacija, bez potrebe za specijaliziranim softverom – dovoljno je imati standardni web preglednik. Još jedna značajna prednost web GIS-a jest smanjenje troškova implementacije i održavanja sustava, uz istovremeno pojednostavljivanje rada u odnosu na klasične GIS tehnologije. Sve ove prednosti zajedno doprinose širenju web GIS-a, čineći ih pristupačnijima široj korisničkoj zajednici te optimizirajući način upravljanja i korištenja geoprostornih podataka (Chauhan 2024).

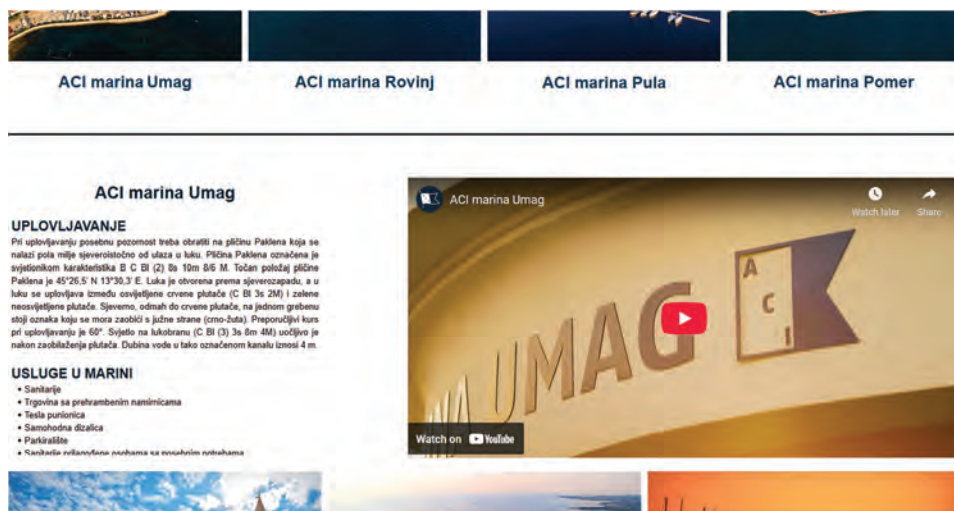
3.3. Interaktivne karte na webu

Interaktivne internetske karte postaju sve popularniji i učinkovitiji način prikaza kartografskih podataka, pružajući korisnicima intuitivno i brzo snalaženje te jednostavnu pretragu informacija. Zahvaljujući interaktivnim funkcijama, korisnici mogu dinamički istraživati sadržaj karte, mijenjati prikaz podataka te prilagođavati prikaz svojim potrebama. Kada govorimo o web kartama s interaktivnim značajkama, istovremeno govorimo i o multimedijalnoj kartografiji, čiji je razvoj usko povezan s napretkom računalnih tehnologija. Pojam multimedije odnosi se na kombinaciju više medijskih formata, poput teksta, slike, zvuka i videa, koji zajedno omogućuju bogato interaktivno iskustvo podržano računalnim sustavima (Župan i Frangeš 2004).

Kako bi se omogućila kvalitetna interaktivna kartografija na internetu, ključni su elementi računalno i web platforma, koji osiguravaju povezanost i dostupnost podataka korisnicima diljem svijeta. Pri izradi interaktivne web karte, jedan od najvažnijih zahtjeva jest osigurati interakciju korisnika s kartografskim sadržajem, omogućujući im manipulaciju podacima, dodavanje ili uklanjanje slojeva te prilagodbu vizualnog prikaza. Osim same interaktivnosti, važno je voditi računa o prilagodljivosti karte, kako bi se ona mogla mijenjati u skladu s različitim korisničkim potrebama i preferencijama. Prilagodljivost omogućuje personalizirano iskustvo, čineći karte korisnijima i efikasnijima za širok spektar primjena, od navigacije do analize prostornih podataka (Župan i Frangeš 2004).

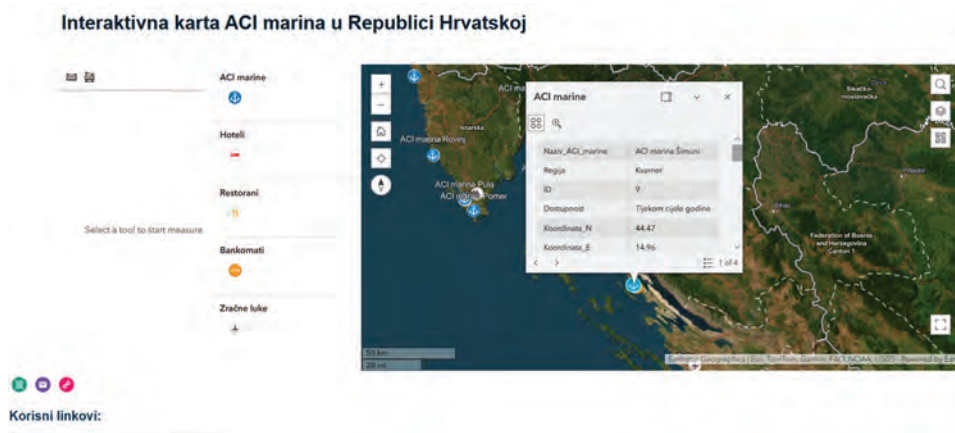
4. Web aplikacija namijenjena nautičarima

Osnovna svrha ovog rada bila je izrada web aplikacije čija je ključna komponenta interaktivna karta ACI marina u Republici Hrvatskoj. Namijenjena je prvenstveno nautičarima kako bi se omogućio detaljan uvid u sve ACI marine u Republici Hrvatskoj, s pripadajućim korisnim informacijama, a njenim korištenjem boravak u marini je olakšan. Sam postupak izrade sastoji se od nekoliko koraka koji su detaljno objašnjeni u nastavku. Najvažnije je prvo odabrati odgovarajući softver koji ispunjava sve potrebne uvjete, a nakon toga slijedi prikupljanje i obrada ulaznih podataka. Kada je odrađena priprema, može se pristupiti izradi interaktivne karte, a na samom kraju kreira se web aplikacija koja predstavlja finalni produkt ovog rada.



Slika 3. Turistički i kartografski servis ACI marina u Hrvatskoj.

Prvi korak u procesu izrade interaktivne karte, a kasnije i web aplikacije, je odabir odgovarajućeg softverskog alata. S obzirom na brz napredak tehnologije, danas je dostupno mnogo različitih softverskih rješenja koja omogućuju izradu naprednih interaktivnih karata s brojnim funkcionalnostima. U izradi interaktivne karte ACI marina u Republici Hrvatskoj korišten je softver ArcGIS Online, koji je omogućio razvoj dinamične i vizualno atraktivne karte. Unutar ArcGIS Online platforme, za izradu web aplikacije korišten je alat ArcGIS Experience Builder. Za pripremu i obradu ulaznih podataka, korišten je Microsoft Excel, dok su za precizno definiranje geografske lokacije sadržaja na karti korištene Google Karte. Nakon što je odabran odgovarajući softver, slijedi faza prikupljanja potrebnih informacija za izradu interaktivne karte (slika 4). Glavni izvor podataka o ACI marinama u Hrvatskoj bila je službena internetska stranica ACI marina (URL 2). Na ovoj stranici dostupne su osnovne informacije o svakoj marini, uključujući njezinu lokaciju, najveću dopuštenu duljinu plovila, broj vezova te podatke o dostupnosti za nautičare.



Slika 4. Interaktivna karta ACI marina.

Detaljno je opisan i postupak dolaska u marinu, uz upozorenja koja je potrebno imati na umu pri uplovljavanju. Također, korisnici mogu pronaći informacije o prometnoj povezanosti, uslugama koje marina nudi, zelenim inicijativama, kao i kontaktne podatke. Ovi podaci često su upotpunjeni multimedijским sadržajem, što omogućuje korisnicima bolji uvid u ponudu svake marine. Kako bi se osigurala točnost geografske lokacije marina, primijećeno je da adrese na službenoj stranici nisu uvijek precizno prikazivale stvarnu lokaciju marina na karti. Stoga je bilo nužno koristiti Google Karte za preuzimanje geografske širine (N) i geografske dužine (E) za svaku marinu, što je omogućilo precizno postavljanje svakog objekta na interaktivnoj karti. Dodatno, kako bi interaktivna karta bila što korisnija za nautičare, prikupljene su informacije o sadržajima i uslugama u blizini ACI marina. Iako većina marina nudi iste osnovne usluge, pojedine marine imaju specifične sadržaje poput tehničkog servisa plovila, punionica za električna vozila ili samohodnih dizalica. Kako bi karta bila pregledna i svi važni objekti lako uočljivi, odabrani su sljedeći tipovi objekata: restorani, bankomati, parkirališta, hoteli i zračne luke. Podaci o ovim objektima prikupljeni su i obrađeni u Microsoft Excelu, pri čemu su za svaki objekt važna dva stupca: geografska širina (N) i geografska dužina (E), čime je omogućeno precizno smještanje objekata na kartu. Interaktivna karta ACI marina u Republici Hrvatskoj izrađena je u programu ArcGIS Online, koji je dostupan na internetu (URL 3).

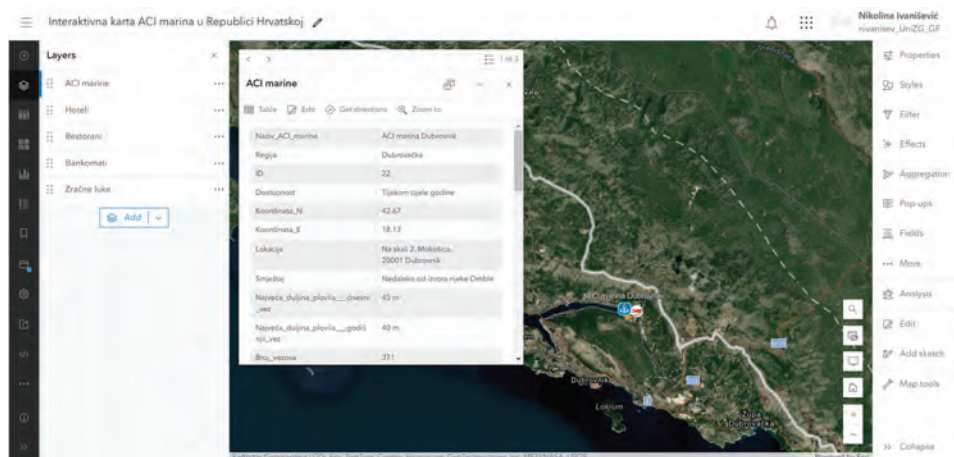
Online je internetska aplikacija koja omogućuje izradu i uređivanje interaktivnih i dinamičnih karata te predstavlja dio široke ponude GIS (Geografski informacijski sustav) softverskih rješenja tvrtke ESRI. Ovaj softver omogućuje jednostavan pristup putem internetskog preglednika bez potrebe za instalacijom na računalo, uz mogućnost registracije i upravljanja prostornim podacima, kao i objavljivanja karata i aplikacija na mreži. Prvi korak u izradi interaktivne karte u ArcGIS Online je odabir odgovarajuće kartografske podloge, nakon čega slijedi unos Excel datoteka kao zasebnih slojeva podataka. Kod unosa podataka potrebno je obratiti pažnju na točno definiranje koordinata

(geografska širina N i geografska dužina E) kako bi se postigla visoka preciznost u smještaju objekata na karti. U slučaju da se koriste samo adrese, može doći do odstupanja u prikazu lokacije, što se može uočiti kada se usporede podaci na ArcGIS Online karti s onima na Google Kartama. Stoga je važno koristiti točne koordinate, kako bi interaktivna karta bila što preciznija. Nakon uspješnog unosa svih podataka, na karti je potrebno odabrati odgovarajuće kartografske znakove za svaku kategoriju objekata: ACI marine, restorane, bankomate, hotele, parkirališta i zračne luke. Kako bi karta bila pregledna i jednostavna za korištenje, korišteni su standardni kartografski simboli koji su prepoznatljivi i često upotrebljavani na drugim kartama. U sljedećem dijelu rada prikazana je tablica slojeva korištenih za interaktivnu kartu, zajedno s pripadnim kartografskim simbolima koji predstavljaju različite vrste objekata na karti (tablica 1).

Tablica 1. *Slojevi i kartografski znakovi prikazani na interaktivnoj web karti (ArcGIS Online).*

Korišteni slojevi	Simbol
ACI marine	 Basic point >
Hoteli	 Vector point >
Restorani	 Vector point >
Bankomati	 Basic point >
Zračne luke	 Vector point >

Najvažnija značajka interaktivne karte je mogućnost kreiranja skočnih prozora (engl. Pop-ups) koji povezuju objekt na karti s pripadajućim sadržajem. Ta opcija se nalazi s desne strane karte pri čemu je važno omogućiti njeno korištenje klikom na Enable pop-ups. Unutar sadržaja je moguće dodavati listu s poljima, grafikon, sliku, tekst ili određeni kod. S obzirom da su Excel tablice s osnovnim poljima prethodno kreirane, ovdje nije bilo potrebno dodavati nove elemente. U nastavku je priložena slika skočnog prozora za ACI marinu Dubrovnik (slika 5).



Slika 5. Interaktivna karta ACI marina u Republici Hrvatskoj izrađena je u programu ArcGIS Online, koji je dostupan na internetu, (URL 3).

Kada je autor zadovoljan s konačnim izgledom interaktivne karte još samo preostaje odabrati razinu dijeljenja. Pristup karte može biti ograničen samo za autora, organizaciju i njene članove ili karta može biti dostupna i korisnicima van organizacije. Odabrana je posljednja opcija, odnosno svima je omogućen pristup interaktivnoj web karti.

5. Web GIS aplikacija

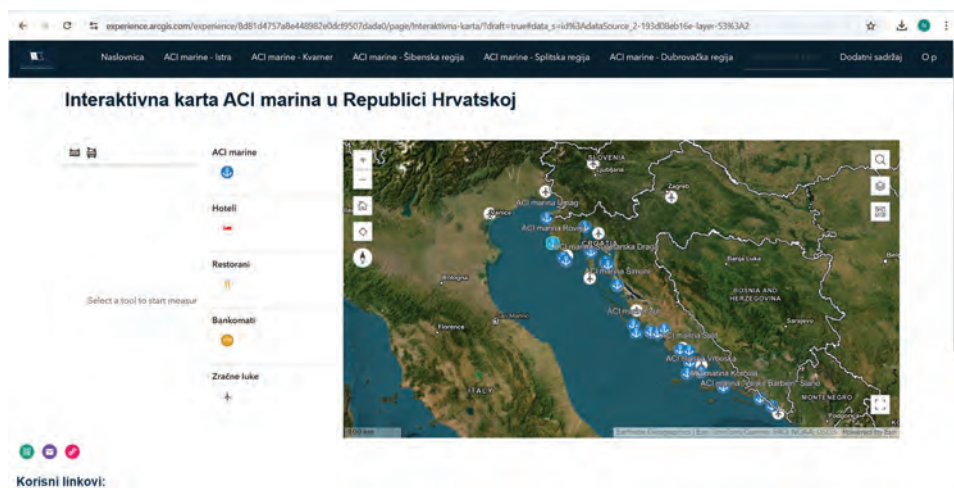
Nakon izrade interaktivne web karte slijedi postupak stvaranja web GIS aplikacije unutar ArcGIS Online Experience Builder-a. Omogućuje izradu atraktivnih web aplikacija, a temelji se na no code rješenju, odnosno autor ne treba imati znanje o programiranju. S obzirom da se ArcGIS Online Experience Builder nalazi u sklopu ArcGIS Online platforme, sav prethodno kreirani sadržaj u ArcGIS Online-u može se jednostavno učitati u aplikaciju (URL 5).

Prvi korak pri izradi web aplikacije je odabir odgovarajućeg predloška (engl. Template), pri čemu je važno da autor obrati pozornost na namjenu buduće aplikacije. Slijedi kreiranje sadržaja na web aplikaciji, a postupak se odvija unutar korisničkog sučelja koje se sastoji od nekoliko alatnih traka. Sadržaj se kreira na način da se dodaju različiti elementi web aplikacije (engl. Widgets) kao što su npr. karta, legenda, multimedijски sadržaj i mnogi drugi. Pomoću drag-and-drop opcije, koja se nalazi unutar sučelja, elementi se jednostavnim povlačenjem miša prebacuju na praznu stranicu (URL 6).

Nakon proučavanja dostupnih alata i opcija za kreiranje web aplikacije uslijedio je postupak izrade iste. Prvi korak je uređivanje zaglavlja tako što je kreirano devet zasebnih cjelina, a na samom početku nalazi se naslovnica koja predstavlja stranicu s osnovnim informacijama o ACI marinama. Slijedi prikaz svih ACI marina u Republici Hrvatskoj na način da su raspoređene po regijama kojima pripadaju. Iduća cjelina, a ujedno i najvažnija, je interaktivna

web karta gdje se pomicanjem po karti lako mogu pronaći ACI marine i usluge u neposrednoj blizini. Unutar dodatnog sadržaja, za zainteresirane korisnike, mogu se pronaći informacije o ACI članskoj kartici i programu vjernosti. Na samom kraju ukratko je opisan projekt i njegova svrha, a nakon uređivanja zaglavlja, na podnožju web stranice navedeni su osnovni podaci o autoru i organizaciji u sklopu koje je napravljen projekt.

Najvažniji dio web aplikacije je interaktivna web karta svih ACI marina u Republici Hrvatskoj s pripadajućim sadržajem (slika 6). Na lijevoj polovici stranice nalazi se opcija koja korisniku omogućuje određivanje udaljenosti, a odmah pored vidljiva je legenda koja daje objašnjenja korištenih kartografskih znakova za prikazane kartografske objekte. Na desnoj polovici ove stranice nalazi se sama interaktivna karta koja je iznimno jednostavna za upravljanje. Na korištenje su dani različiti alati koji služe za mijenjanje razine interaktivnosti karte. Tako je moguće pomicanje po karti, njeno pregledavanje pomoću tražilice i mijenjanje kartografske podloge. Osim toga korisnik može odabrati koji slojevi će biti prikazani, odnosno ugasiti nepotrebne kako bi dobio prikaz samo onih kartografskih elemenata od interesa. Kao i na svakoj karti omogućena je opcija približavanja ili udaljavanja na karti na način da se koristi zoomiranje, odnosno ikona plusa ili minusa. Također, pomoću dvoklika jednostavno se zoomira baš na tu točku. Za još bolji prikaz i proučavanje karte, moguće je postaviti pregled na cijelom ekranu pomoću ikone u donjem desnom kutu. (engl. Fullscreen).



Slika 6. Dio web aplikacije, Interaktivna web karta (ArcGIS Online).

6. Zaključak

Ovaj rad prikazao je cjelokupan proces izrade web GIS aplikacije s interaktivnom kartom ACI marina u Republici Hrvatskoj. Primjena web kartografije omogućila je stvaranje alata koji nautičarima i turistima olakšava snalaženje u marinama te pruža korisne informacije o njihovim sadržajima. Integracija kar-

tografskih tehnika i GIS tehnologija rezultirala je preglednim, interaktivnim i lako dostupnim kartografskim prikazom.

Najveća prednost ovakvih interaktivnih prikaza je njihova prilagodljivost i mogućnost jednostavne pretrage informacija. Korištenjem ArcGIS Online platforme, omogućeno je brzo ažuriranje podataka, što doprinosi aktualnosti i pouzdanosti karte. Osim toga, aplikacija pruža korisnicima intuitivno sučelje i interaktivne funkcionalnosti koje povećavaju korisničko iskustvo. Iako aplikacija nudi brojne prednosti, postoji prostor za daljnja poboljšanja. Jedna od mogućnosti budućeg razvoja uključuje dodavanje dodatnih slojeva informacija, poput meteoroloških podataka, GPS praćenja brodova i integracije s drugim turističkim sadržajima. Također, poboljšanja u vizualizaciji podataka i optimizacija korisničkog sučelja mogli bi dodatno unaprijediti funkcionalnost aplikacije. Praktična primjena ovog rada može imati značajan utjecaj na razvoj nautičkog turizma u Hrvatskoj. Interaktivna karta može poslužiti kao alat za planiranje plovidbe, poboljšanje sigurnosti na moru te promociju nautičkog turizma kroz digitalne platforme. Suradnja s turističkim agencijama i charter tvrtkama dodatno bi mogla povećati relevantnost i upotrebu aplikacije.

Zaključno, interaktivne karte postaju nezaobilazan alat u digitalnoj eri, ne samo u području nautičkog turizma već i u širem kontekstu geoprostornih informacijskih sustava. Ovaj rad pokazao je kako moderna tehnologija može unaprijediti tradicionalne kartografske metode, pružajući korisnicima inovativna rješenja prilagođena njihovim potrebama.

Link za pristup web GIS aplikaciji:

<https://experience.arcgis.com/experience/8d81d4757a8e448982e0dcf9507dada0/>

Literatura

- Chauhan, P. (2024): Quick reference guide on WebGIS, National Remote Sensing Centre, Hyderabad.
- Frančula, N. (2004): Digitalna kartografija, 3. prošireno izdanje, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frančula, N., Tutić, D. (2003): Kartografija, GIS i internet, Ekscentar, 5, 6–9.
- Frangeš, S., Frančula, N., Lapaine, M. (2002): Budućnost kartografije, Kartografija i geoinformacije, 1, 1, 6–21.
- Kraak, J.-M., Brown, A. (2001): Web Cartography, CRC Press, London.
- Župan, R., Frangeš, S. (2004): Interaktivne karte na webu, Ekscentar, 6, 40–42.
- Župan, R., Frangeš, S. (2015): Web-cartography, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Mrežne adrese

URL 1: Nautički turizam,

<https://www.hr/hrvatska/gospodarstvo/nautika>, (28. 2. 2025.).

URL 2: ACI marine, <https://aci-marinas.com/hr/>, (28. 2. 2025.).

URL 3: ArcGIS,

<https://experience.arcgis.com/experience/8d81d4757a8e448982e0dcf9507dada0/>, (28. 2. 2025.).

URL 4: Esri ArcGIS Online,

<https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/get-started/what-is-agol.htm>, (28. 2. 2025.).

URL 5: ResearchGate,

https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-web-maps-3311-Static-vs-dynamic-Static-web-maps-are-similar-to_fig13_44138313, (28. 2. 2025.).

URL 6: ArcGIS Experience Builder,

<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-experience-builder/overview>, (28. 2. 2025.).

Interactive Maps of ACI Marinas in the Republic of Croatia

ABSTRACT. This paper explores the development process of a web GIS application featuring an interactive map of ACI marinas in Croatia. Interactive maps provide users with easy navigation and access to relevant information about marinas and their facilities. The aim of the study was to develop a digital solution that enhances the experience of sailors and tourists by providing up-to-date information and an intuitive user interface. The theoretical part explains the concepts of digital and web cartography and the significance of GIS technologies in modern nautical tourism. The practical part describes the process of data collection and processing, the definition of cartographic elements, and the creation of an interactive map using the ArcGIS Online platform. The map includes layers with information about marinas, accommodations, restaurants, ATMs, and other relevant amenities. The final product is a web GIS application that enables easy search and interaction with cartographic displays. The study highlights the importance of digital solutions in promoting and improving nautical tourism and opens opportunities for further development through the integration of additional functionalities such as meteorological data and reservation systems.

Keywords: ACI marinas, interactive map, web GIS, ArcGIS Online, nautical tourism.

Primljeno / Received: 2025-03-22

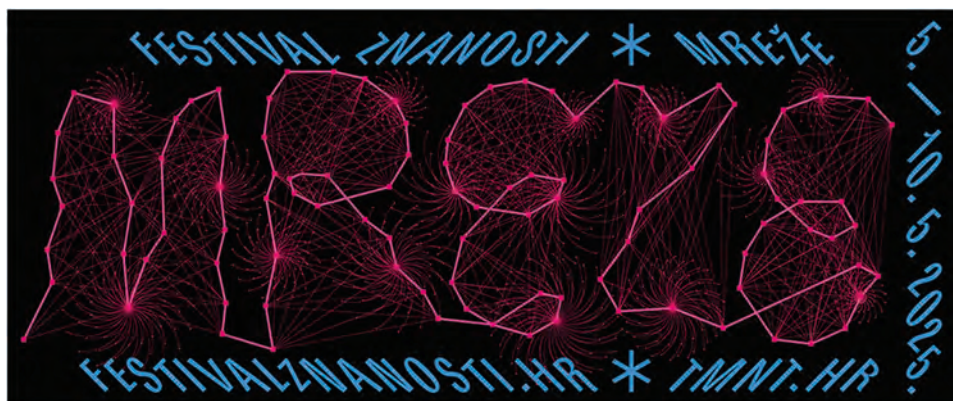
Prihvaćeno / Accepted: 2025-04-23

FESTIVAL ZNANOSTI 2025



Festival znanosti je manifestacija koja se u Hrvatskoj kontinuirano održava od 2003. godine s ciljem približavanja znanosti javnosti kroz informiranje o aktivnostima i rezultatima na području znanosti, poboljšavanje javne percepcije znanstvenika te motiviranje mladih ljudi za istraživanje i stjecanje novih znanja. Organizatori Festivala znanosti tradicionalno su Sveučilište u Zagrebu, Sveučilište u Splitu, Sveučilište u Rijeci, Sveučilište u Zadru i Sveučilište u Osijeku u suradnji s Tehničkim muzejom Nikola Tesla i British Councilom, a pod visokim pokroviteljstvom Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih Republike Hrvatske (URL 1).

Festival znanosti, dvadeset drugi po redu, održan je od 5. do 10. svibnja 2025. godine. Tema ovogodišnjeg Festivala znanosti bile su *mreže* (slika 1). Ovogodišnji Festival znanosti održan je u 45 hrvatskih gradova. U Zagrebu je središnje mjesto održavanja predavanja, prezentacija, projekcija, radionica i izložba bio Tehnički muzej Nikola Tesla uz brojna događanja u mnogim znanstvenim, obrazovnim i kulturnim institucijama diljem Grada.



Slika 1. Tema ovogodišnjeg Festivala znanosti bile su mreže (URL 1).

Mreža je (URL 1):

- naprava od različitih materijala ispletena na jednaka oka (ribarska mreža; teniska (odbojkaška) mreža);
- preneseno raširen povezan sustav cesta, kanala itd., ukupnost povezanih ustanova i poduzeća (vodovodna mreža; električna mreža);
- organizacija više izvora podataka ili radnih i informativnih cjelina; sistem, sustav;
- kolokvijalno, naziv za internet, web, sustav za prijenos podataka na internetu, niz međusobno povezanih računalnih sustava. U brzo rastućem znanstvenom okruženju informiranost je ključna. Umrežavanje olakšava razmjenu ideja, metodologija i najnovijih istraživačkih otkrića.

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu bio je zastupljen na ovogodišnjem Festivalu znanosti sljedećim aktivnostima u Tehničkom muzeju Nikola Tesla u Zagrebu, na Opservatoriju Hvar na Hvaru i na Geodetskom fakultetu (URL 1):

- *Festival znanosti 2025 i otvoreni dani Zvezdarnice Hvar*, različite aktivnosti za djecu i odrasle na Opservatoriju Hvar na Hvaru, Filip Matković, Jaša Čalogović, Mateja Dumbović, Toni Visković, Akshay Kumar Remeshan, Galina Chikunova i Karmen Martinić
- *Geodetske mreže*, prezentacija, Mladen Zrinjski, Đuro Barković, Loris Redovniković, Sergej Baričević, Antonio Tupek, Krunoslav Špoljar, Ivan Ljubičić, Luka Družević, Jurica Jagetić i Karlo Stipetić
- *Mreže u geodeziji: povezivanje svijeta*, prezentacija, Blaženka Bukač i Ivan Razumović
- *Katastar i zemljišna knjiga: kako saznati tko je vlasnik kuće iz snova?*, predavanje, Doris Pivac
- *CROPOS – hrvatska mreža GNSS stanica*, predavanje, Danijel Šugar
- *Upotreba mreže u 3D modeliranju*, prezentacija, Ivka Kljajić i Korina Hrastnik
- *Geodetsko-geofizičke mreže u Republici Hrvatskoj*, predavanje, Marko Pavasović, Tedi Banković i Antonio Banko
- *Umjetna inteligencija i kartografija*, snimka, Miljenko Lapaine.

Cjeloviti program događanja ovogodišnjega Festivala znanosti može se pogledati na mrežnim stranicama:

<https://www.festivalznanosti.hr/2025/>.

Veselimo se 23. Festivalu znanosti iduće godine.

Mrežna adresa

URL 1: Festival znanosti 2025, <https://www.festivalznanosti.hr/2025/>, (15. 5. 2025.).

Mladen Zrinjski, Đuro Barković, Antonio Tupek, Krunoslav Špoljar i Karlo Stipetić

SVEUČILIŠNI MAGISTRI INŽENJERI GEODEZIJE I GEOINFORMATIKE

Na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, dana 18. lipnja 2025. godine, na sveučilišnom diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika diplomiralo je 9 pristupnika i time su ostvarili akademski naziv sveučilišna magistra inženjerka geodezije i geoinformatike, odnosno sveučilišni magistar inženjer geodezije i geoinformatike.

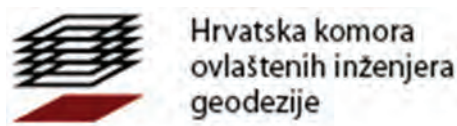
Pregled sveučilišnih magistara inženjera geodezije i geoinformatike na sveučilišnom diplomskom studiju Geodezija i geoinformatika Geodetskog fakulteta:

Pristupnik Naslov diplomskog rada	Datum obrane, mentor
<i>Ante Mastelić</i> "Primjena višesnopnog dubinomjera u svrhu vizualizacije i interpretacije morskog dna"	18. 6. 2025., doc. dr. sc. Vanja Miljković
<i>Nikola Udovičić</i> "Analiza razine buke u gradu Žepče"	18. 6. 2025., prof. dr. sc. Stanislav Frangeš
<i>Ivica Banovac</i> "Automatizirani postupci otkrivanja i mjerenja kontrolnih točaka na snimkama"	18. 6. 2025., izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
<i>Marin Tomić</i> "Izmjera i analiza kvalitete geodetske mreže tunela"	18. 6. 2025., izv. prof. dr. sc. Ante Marendić
<i>Marina Kozina</i> "Primjena Reality Capture softvera u zaštiti kulturne baštine: izrada modela drvene kuće u Dolnjakima"	18. 6. 2025., izv. prof. dr. sc. Hrvoje Tomić
<i>Nikolina Zeko</i> "Visinski transformacijski model grada Osijeka"	18. 6. 2025., prof. dr. sc. Nevio Rožić
<i>Anamaria Mišković</i> "Primjena fotogrametrije u inženjerskoj geologiji"	18. 6. 2025., izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski
<i>Goran Herceg</i> "Interaktivna karta i priča sportskih objekata aktivnih nogometnih klubova na području Varaždinske županije"	18. 6. 2025., izv. prof. dr. sc. Ivka Kljajić
<i>Stijepo Borovinić</i> "Uspostava geodetske mreže posebne namjene za praćenje relativnih horizontalnih pomaka dijela savskih nasipa u Zagrebu"	18. 6. 2025., prof. dr. sc. Đuro Barković

Kratica za ovaj akademski naziv je: univ. mag. ing. geod. et geoinf.

Čestitamo novim sveučilišnim magistrima inženjerima geodezije i geoinformatike.

Mladen Zrinjski



GODINA SNAŽNIH ISKORAKA: HKOIG U SREDIŠTU ZAKONODAVNIH PROMJENA I RAZVOJA STRUKE

Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije (HKOIG) od početka godine intenzivirala je aktivnosti koje potvrđuju njezinu ključnu ulogu u digitalizaciji i razvoju geodetske struke u Hrvatskoj. Kroz niz inicijativa i aktivnog sudjelovanja u zakonodavnim promjenama, Komora nastavlja biti oslonac stručnjacima i partner državnim institucijama u unaprjeđenju sustava za cijelu struku.

Jedna od ključnih novosti koju je HKOIG predstavila jest povezivanje SDGE sustava s ePoštom – korak koji znatno pojednostavljuje i modernizira komunikaciju s korisnicima i institucijama. Ova integracija, prikazana kroz jasna četiri koraka, omogućuje bržu i učinkovitiju komunikaciju, a može pozitivno utjecati i na smanjenje administracije i mogućnosti pogrešaka, te na sigurnost podataka.

U središtu pozornosti cijele struke bile su i izmjene Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina. Komora je organizirala niz edukacija kako bi pomogla stručnjacima da se upoznaju s izmjenama i dopunama Zakona o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, ali i o njegovoj praktičnoj primjeni u području izrade, pregleda i potvrđivanja geodetskih elaborata.

Upravo su ovakve edukacije važan korak u osiguravanju kvalitetne i točne primjene zakonskih promjena, a to su prepoznali i polaznici edukacija na čak pet lokacija.

Još jedan važan iskorak zabilježen je tijekom savjetovanja o izmjenama Zakona o komasaciji poljoprivrednog zemljišta, gdje su prijedlozi koje je HKOIG iznijela uvaženi i usvojeni. Komora je u svom očitovanju naglasila važnost ovih izmjena za učinkovitiju i pravedniju provedbu komasacija, koje smatra ključnim projektima za unaprjeđenje poljoprivredne proizvodnje i na taj način doprinijela poboljšanju zakonodavnog okvira za komasaciju.

Usvojeni su sljedeći prijedlozi Komore:

- Očuvanje poljoprivrednih površina u privatnom vlasništvu – Komora je predložila da se u slučajevima kada je Republika Hrvatska sudionik komasacije, zemljište za zajedničke i opće potrebe najprije osigura iz zemljišta u vlasništvu države, a tek potom iz zemljišta drugih sudionika.
- Ublažavanje uvjeta za suglasnost vlasnika – Komora smatra da trenutačni uvjeti još uvijek predstavljaju prepreku za provedbu komasacije, osobito u područjima gdje nema velikih poljoprivrednika. Predloženo je da se smanji postotak suglasnosti vlasnika poljoprivrednog zemljišta, kao i površinski prag potreban za pokretanje postupka, kako bi se omogućila provedba i u sredinama s manjim i brojnijim posjednicima.
- Pojednostavljenje izrade PIR-a – Komora je predložila da se pojednostavi postupak izrade Prijedloga idejnog rješenja komasacije, što je izmjenama i usvojeno.

Uz stručni i zakonodavni angažman, HKOIG je tijekom godine bila prisutna i u širem profesionalnom kontekstu – kroz obilježavanje važnih datuma i sudjelovanje u događanjima koja okupljaju inženjersku zajednicu te promoviraju ulogu geodetske struke u suvremenom društvu. Naime, Komora je bila aktivna na obilježavanju 25 godina pet inženjerskih komora, a istaknut je i Svjetski dan geodeta.

Prilikom svečane proslave 25 godina pet inženjerskih komora, naglasak je stavljen na zajednički cilj – jačanje stručnih standarda, unapređenje zakonodavnog okvira i njegovom usklađivanju s mogućnostima koje donose nove tehnologije. Obljetnica je bila prilika za osvrt na postignuto, ali i poticaj za jačanje suradnje među inženjerskim strukama.

Na Svjetski dan geodeta, koji se obilježava 21. ožujka, Komora je istaknula kako je geodezija upravo 2025. godine konačno prepoznata kao zasebna djelatnost u Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NKD), što je iznimno važno za struku jer jasno definira status geodetskih djelatnosti, ali i omogućuje bolju vidljivost geodetskih aktivnosti u statističkim analizama, preciznije planiranje obrazovnih programa i dodatno usklađivanje pravnog okvira s međunarodnim standardima. Također, istaknula je i važnost kvalitetnog i stručnog obavljanja geodetskih djelatnosti, ali i važnost edukacije za korištenje novih tehnologija.

Komora je najavila i 18. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, koji će se održati od 22. do 25. listopada 2025., u Bolu na Braču. Tema ovogodišnjeg simpozija je “Geodezija – regulirana djelatnost 2050”. Simpozij pruža platformu za razmjenu znanja, iskustava i inovacija među stručnjacima iz područja geodezije i geoinformatike, kao i za raspravu o aktualnim temama i izazovima s kojima se struka suočava. I ove nas godine stoga očekuje prikaz niza stručnih radova, trendova i uspješnih praksi iz struke, panel rasprave te dijalog s predstavnicima državnih institucija. Održavanje simpozija doprinosi razvoju struke i osigurava da ovlašteni inženjeri geodezije budu u korak s najnovijim trendovima i tehnologijama u industriji.

Svim ovim aktivnostima, HKOIG potvrđuje svoje višedimenzionalno djelovanje – od zakonodavnog rada do promocije struke – čime jača svoju ulogu u oblikovanju budućnosti geodezije u Hrvatskoj. Komora svojim kontinuiranim radom, uključivanjem u procese donošenja zakona i poticanjem tehnološkog razvoja potvrđuje svoju ulogu predvodnika promjena u geodetskoj struci. Uz snažnu suradnju s članovima i ostalim dionicima, Komora nastavlja graditi mostove između tradicije stručnosti i budućnosti digitalne preciznosti – u interesu struke i društva u cjelini.

GEMINI I KLASIFIKACIJA KARTOGRAFSKIH PROJEKCIJA

Gemini, nekada poznat kao Bard (Frančula 2023), je konverzacijski program generativne umjetne inteligencije koji je razvio Google. Temeljen na velikom jezičnom modelu istog imena i razvijen kao izravan odgovor na nagli porast OpenAI-jevog ChatGPT-ja, objavljen je u ograničenom kapacitetu u ožujku 2023. prije nego što se proširio na druge zemlje u svibnju (Wikipedija 2025).

Kao i kod drugih konverzacijskih programa generativne umjetne inteligencije, na primjer ChatGPT-ja ili Perplexityja, zanimalo nas je njegovo poznavanje klasifikacije kartografskih projekcija. Stoga smo mu 1. travnja 2025. postavili pitanje:

Kako se klasificiraju kartografske projekcije?

Ovo je odgovorio Gemini:

Kartografske projekcije se klasificiraju prema nekoliko kriterija:

1. Prema svojstvima preslikavanja:

- ***Konformne (ekvivalentne):*** Čuvaju kutove, što znači da su oblici malih područja na karti slični oblicima na Zemlji. Mjerilo duljina je u svakoj točki jednako u svim smjerovima. Primjer je Mercatorova projekcija.
- ***Ekvivalentne (ekvialne):*** Čuvaju površine, što znači da je površina bilo kojeg područja na karti proporcionalna površini tog područja na Zemlji. Oblik i kutovi su izobličeni. Primjer je Mollweideova projekcija.
- ***Ekvidistantne:*** Čuvaju duljine u određenom smjeru. Mjerilo duljine je točno duž odabranih linija (npr. meridijana ili paralela). Ostala svojstva su izobličena. Primjer je Postelova projekcija.
- ***Uvjetne:*** Ne čuvaju ni kutove, ni površine, ni duljine, već zadovoljavaju neki drugi uvjet, npr. prikazuju sve linije konstantnog smjera kao pravce (Mercatorova projekcija).

2. Prema položaju osi projekcije:

- ***Uspravne (normalne):*** Os simetrije pomoćne plohe (stošca ili valjka) podudara se s osi rotacije Zemlje.
- ***Poprečne (transverzalne):*** Os simetrije pomoćne plohe je okomita na os rotacije Zemlje.
- ***Kose:*** Os simetrije pomoćne plohe je pod kutom između 0° i 90° u odnosu na os rotacije Zemlje.

3. Prema obliku mreže meridijana i paralela:

- ***Konusne (stožaste):*** Meridijani su pravci koji se sijeku u jednoj točki, a paralele su lukovi koncentričnih kružnica.
- ***Cilindrične (valjkaste):*** Meridijani su međusobno paralelni pravci, a paralele su pravci okomiti na meridijane.
- ***Azimutalne (ravninske):*** Meridijani su pravci koji se sijeku u jednoj točki, a paralele su koncentrične kružnice sa središtem u toj točki.
- ***Pseudokonusne:*** Meridijani su krivulje simetrične na srednji meridijan (pravac), a paralele su lukovi koncentričnih kružnica.
- ***Pseudocilindrične:*** Meridijani su krivulje simetrične na srednji meridijan (pravac), a paralele su paralelni pravci okomiti na srednji meridijan.

- **Polikonusne:** Paralele su lukovi kružnica, a meridijani su krivulje.
- **Kružne:** Mreža meridijana i paralela sastoji se od kružnih lukova.“

Naš komentar

U klasifikaciji prema svojstvima preslikavanja gruba je pogreška što je za konformne projekcije u zagradi naveo ekvivalentne. Za ekvivalentne projekcije u zagradi je naveo ekvialne, što je nepoznat naziv. U definiciji ekvivalentnih projekcija umjesto „područja na Zemlji“ treba „područja na Zemljinoj sferi ili Zemljinu elipsoidu“. Pogreška je i što je kao primjer uvjetnih projekcija naveo Mercatorovu koja je konformna, a ne ekvivalentna.

U klasifikaciji projekcija prema položaju osi projekcije za njega je os projekcije „Os simetrije pomoćne plohe (stošca ili valjka)“. Stoga smo mu postavili pitanje:

U podjeli prema položaju osi projekcije navodi se “os simetrije pomoćne plohe”. Koja pomoćna ploha se primjenjuje u pseudocilindričnim projekcijama?

Dio Geminijeva odgovora:

U kontekstu “osi simetrije pomoćne plohe”, ovaj se pojam ne primjenjuje izravno na pseudocilindrične projekcije jer nemaju stvarnu geometrijsku pomoćnu plohu poput valjka. Međutim, može se reći da **srednji meridijan** igra ulogu osi simetrije u smislu da su meridijani s obje strane simetrični u odnosu na njega.

Naš komentar upućen Geminiju:

Prema odgovoru na to pitanje u klasifikaciji prema položaju osi projekcije trebalo bi os projekcije drugačije definirati, tako da vrijedi za sve skupine projekcija pa i za pseudocilindrične. Takva definicija osi projekcije postoji u literaturi.

Odgovor Geminija:

U pravu ste. Moja prethodna definicija osi projekcije bila je preuska i primjenjiva prvenstveno na konusne i cilindrične projekcije koje se temelje na geometrijskoj projekciji na pomoćnu plohu.

Kada se govori o osi projekcije u širem kontekstu, uključujući i projekcije koje nisu izvedene direktnom geometrijskom projekcijom (kao što su pseudocilindrične), **os projekcije se definira kao os simetrije ili referentna linija oko koje se organizira matematička konstrukcija projekcije.**

Ova šira definicija omogućuje da se pojam osi projekcije primijeni i na pseudocilindrične projekcije. U tom kontekstu:

- **Za uspravne (normalne) projekcije:** Os projekcije se podudara s osi rotacije Zemlje.
- **Za poprečne (transverzalne) projekcije:** Os projekcije je okomita na os rotacije Zemlje.
- **Za kose projekcije:** Os projekcije je pod kutom između 0° i 90° u odnosu na os rotacije Zemlje.
- **Za pseudocilindrične projekcije:** Iako nemaju fizičku pomoćnu plohu, **srednji meridijan se može smatrati osi projekcije** oko koje je konstrukcija projekcije simetrična. Paralele su paralelne s ekvatorom (koji je okomit na os rotacije Zemlje), a meridijani su zakrivljeni simetrično oko srednjeg meridijana.

Naš komentar:

Os Zemljine rotacije ne prikazuje se na kartama tako da je Geminijev pokušaj „proširenja

definicije osi projekcije“ uzaludan i neprimjenjiv.

U klasifikaciji projekcija prema obliku razvojne plohe (geometrijskoj konstrukciji) Gemini zaboravlja istaknuti da je riječ samo o uspravnim projekcijama. Nadalje, najprije navodi azimutalne (ravninske) projekcije. Već više godina umjesto azimutalne govorimo azimutne projekcije. Osim toga, sve projekcije su ravninske, tako da isticanje ravninska projekcija samo kod azimutnih projekcija nema smisla. Definiranje azimutne projekcije kao projekcije na ravninu koja dodiruje ili siječe Zemlju je pogrešno jer su azimutne projekcije preslikavanja Zemljine sfere ili elipsoida, a ne Zemlje, a položaj ravnine projekcije je bitan samo kod perspektivnih projekcija. U definicijama cilindričnih projekcija Gemini govori o preslikavanju na cilindar koji obavića Zemlju. Međutim, to nije točno, jer cilindrične projekcije općenito nisu preslikavanja na cilindar, a nisu ni preslikavanja Zemlje, nego Zemljine sfere ili elipsoida. U definicijama konusnih projekcija Gemini govori o preslikavanju na konus koji dodiruje ili siječe Zemlju. Međutim, to nije točno, jer konusne projekcije općenito nisu preslikavanja na konus, a nisu ni preslikavanja Zemlje, nego Zemljine sfere ili elipsoida.

Dana 6. travnja 2025. postavili smo isto pitanje:

Kako se klasificiraju kartografske projekcije?

Gemini je odgovorio:

Kartografske projekcije se klasificiraju prema različitim kriterijima:

1. Prema svojstvima preslikavanja (vrstama deformacija):

- ***Konformne (ekviangulne) projekcije:*** Čuvaju kutove, što znači da mali oblici na karti zadržavaju svoj izvorni oblik. Mjerilo duljina je jednako u svim smjerovima oko bilo koje točke, ali se mijenja od točke do točke. Primjer je Mercatorova projekcija.
- ***Ekivalentne (jednakopovršinske) projekcije:*** Čuvaju površine. Omjer površina bilo koja dva područja na karti jednak je omjeru njihovih stvarnih površina na Zemlji. Međutim, oblici i kutovi su izobličeni. Primjer je Mollweideova projekcija.
- ***Ekvidistantne projekcije:*** Čuvaju udaljenosti u određenom smjeru (obično duž meridijana ili paralela) ili od određene točke. Udaljenosti u drugim smjerovima su izobličene. Primjer je ekvidistantna azimutalna projekcija.
- ***Uvjetne (kompromisne) projekcije:*** Ne čuvaju niti jedno od navedenih svojstava u potpunosti, već nastoje minimizirati sva izobličenja kako bi se postigao vizualno uravnotežen prikaz. Primjer je Robinsonova projekcija.

2. Prema položaju osi projekcije:

- ***Uspravne (normalne) projekcije:*** Os simetrije pomoćne plohe (cilindra, konusa) ili okomica na projekcijsku ravninu podudara se s osi rotacije Zemlje. Polovi normalne kartografske mreže podudaraju se s geografskim polovima.
- ***Poprečne (transverzalne) projekcije:*** Os simetrije pomoćne plohe ili okomica na projekcijsku ravninu okomita je na os rotacije Zemlje. Polovi normalne kartografske mreže nalaze se na ekvatoru.
- ***Kose (oblique) projekcije:*** Os simetrije pomoćne plohe ili okomica na projekcijsku ravninu zauzima kosi položaj u odnosu na os rotacije Zemlje. Polovi normalne kartografske mreže nalaze se između geografskih polova i ekvatora.

3. Prema obliku razvojne plohe (geometrijskoj konstrukciji):

- ***Azimutalne (ravninske) projekcije:*** Preslikavanje se vrši na ravninu koja dodiruje ili siječe Zemlju. Meridijani se prikazuju kao pravci koji se sijeku u jednoj točki,

a paralele kao koncentrični krugovi.

- **Cilindrične (valjkaste) projekcije:** Preslikavanje se vrši na cilindar koji obavija Zemlju. Meridijani se prikazuju kao paralelni pravci, a paralele kao pravci okomiti na meridijane.
- **Konusne (stožaste) projekcije:** Preslikavanje se vrši na konus koji dodiruje ili siječe Zemlju. Meridijani se prikazuju kao pravci koji se sijeku u vrhu konusa, a paralele kao lukovi koncentričnih krugova.
- **Pseudocilindrične projekcije:** Meridijani su krivulje (osim središnjeg meridijana koji je pravac), a paralele su paralelni pravci okomiti na središnji meridijan.
- **Pseudokonusne projekcije:** Paralele su lukovi koncentričnih krugova, a meridijani su krivulje koje se sijeku u polovima.
- **Polikonusne projekcije:** Središnji meridijan je pravac, paralele su lukovi kružnica sa središtima na produžetku središnjeg meridijana, a ostali meridijani su složene krivulje.
- **Kružne projekcije:** Projekcije čija je karta ograničena kružnicom.

Ova klasifikacija pomaže u razumijevanju svojstava različitih kartografskih projekcija i odabiru najprikladnije projekcije za određenu namjenu.

Naš komentar:

Naziv ekviankulne za konformne projekcije nije dosad bio u upotrebi.

Nije točno da je omjer površina bilo koja dva područja na karti jednak omjeru njihovih stvarnih površina na Zemlji, jer kartografske projekcije nisu preslikavanja Zemlje, nego Zemljine sfere ili elipsoida.

U klasifikaciji prema položaju osi projekcije Gemini upotrebljava pomoćne plohe što je zastarjeli pristup jer se odnosi samo na perspektivne projekcije. Nije jasno što je to os projekcije. Oblique nije hrvatska riječ.

Klasifikacija prema obliku razvojne plohe (geometrijska konstrukcija) odnosi se na uspravne projekcije i inzistira na preslikavanjima na cilindar ili konus, što općenito nije tako. Umjesto azimutalne trebalo bi reći azimutne. Pri tome ne se preslikava na ravninu koja dodiruje ili siječe Zemlju. Prvo, ne preslikava se Zemlja, nego Zemljina sfera ili elipsoid. Drugo, položaj ravnine projekcije u odnosu na Zemljinu sferu ili elipsoid općenito ne igra nikakvu ulogu. Rečenica "Meridijani se sijeku u vrhu konusa,..." nema smisla. Kod pseudokonusnih projekcija slike paralela nisu lukovi koncentričnih krugova, nego lukovi koncentričnih kružnica. Definirati kružne projekcije kao projekcije čija je karta ograničena kružnicom, nema smisla.

S obzirom na klasifikaciju projekcija prema osi projekcije upitali smo Gemini:

Što je os projekcije?

Stigao je ovaj odgovor:

U kartografiji, **os projekcije** odnosi se na položaj zamišljene geometrijske plohe (ravnine, cilindra ili konusa) u odnosu na Zemlju prilikom preslikavanja sferne ili elipsoidne površine Zemlje na ravnu kartu.

Drugim riječima, to je **orijentacija** na koju se postavlja razvojna ploha (ona koja se može razviti u ravninu) u odnosu na Zemljinu os rotacije. Položaj ove osi značajno utječe na izgled kartografske mreže (meridijana i paralela) na karti i na raspored deformacija.

Postoje tri osnovna položaja osi projekcije:

- **Uspravna (normalna) os:** Os simetrije razvojne plohe (cilindra ili konusa) ili okomica na projekcijsku ravninu podudara se s osi rotacije Zemlje (prolazi kroz Sjeverni i Južni pol). Mreža meridijana i paralela je u odnosu na geografske polove “uspravna”.
- **Poprečna (transverzalna) os:** Os simetrije razvojne plohe ili okomica na projekcijsku ravninu je okomita na os rotacije Zemlje. U ovom slučaju, “polovi” kartografske mreže nalaze se na ekvatoru.
- **Kosa (oblique) os:** Os simetrije razvojne plohe ili okomica na projekcijsku ravninu zauzima kosi položaj u odnosu na os rotacije Zemlje. Polovi kartografske mreže nalaze se između geografskih polova i ekvatora.

Položaj osi projekcije je jedan od ključnih kriterija prema kojem se klasificiraju kartografske projekcije i ima značajan utjecaj na područja Zemlje koja će biti prikazana s manjim ili većim deformacijama.

Naš komentar:

U teoriji kartografskih projekcija nema potrebe uvoditi „položaj zamišljene geometrijske plohe“, osim kod perspektivnih projekcija. Prema tome, reći da je „Položaj osi projekcije jedan od ključnih kriterija prema kojem se klasificiraju kartografske projekcije ...“ je potpuni promašaj.

Zaključak

Kao i drugi programi koji nude razgovor s pomoću umjetne inteligencije i Gemini daje odgovore vrlo brzo, u par sekundi. Odgovori su ljubazni, na relativno dobrom hrvatskom jeziku i djeluju ozbiljno. Zbog toga osoba koja razgovara s Geminijem, a ne poznaje ono o čemu je riječ, može prihvatiti odgovor vjerujući da je sve istinito ili kako treba. Međutim, naše malo istraživanje pokazuje da je realnost još daleko od toga.

Na isto postavljeno pitanje u razmaku od pet dana, dobiveni su drukčiji odgovori. Prva pomisao je bila da je Gemini u međuvremenu naučio nešto novo, jer je u prvoj konverzaciji prihvatio uočene probleme. Međutim, ništa od toga. Novi odgovori bili su još lošiji od prvih.

Što se tiče kartografskih projekcija, s odgovorima nikako ne možemo biti zadovoljni. Gemini, a ni drugi slični programi, ne bi za sada prošli na ispitu. Ali, uvjereni smo da će umjetna inteligencija brže naučiti ispravno klasificirati kartografske projekcije nego poneki autori poglavlja o kartografskim projekcijama u monografijama i udžbenicima opće i tematske kartografije.

Literatura

- Frančula, N. (2023): Googleov Bard i kartografske projekcije, *Geodetski list*, 4, 381–384, <https://hrcak.srce.hr/clanak/457371>, (10. 4. 2025.).
- Frančula, N., Lapaine, M. (2025): Perplexity i klasifikacija kartografskih projekcija / Perplexity and Map Projections Classification, *Kartografija i geoinformacije*, 24, 43, (u tisku).
- Wikipedija (2025): Google Gemini, https://hr.wikipedia.org/wiki/Google_Gemini, (1. 4. 2025.).

Nedjeljko Frančula i Miljenko Lapaine

UMJETNA INTELIGENCIJA I RAČUNANJE POVRŠINE GEODETSKOG ČETVEROKUTA NA ELIPSOIDU

U veljači 2024. postavili smo ChatGPT-ju, između ostaloga, i pitanje: "Na elipsoidu WGS84 zadane su četiri točke geodetskim koordinatama: geodetskom širinom i geodetskom dužinom u stupnjevima. Točke čine geodetski četverokut, tj. spojene su geodetskim linijama. Treba izračunati površinu tog četverokuta u kvadratnim kilometrima. Ovo su koordinate: Točka 1: N65 W100; Točka 2: N65 W80; Točka 3: N55 W80; Točka 4: N55 W100 Točka 5: N65 W100. Molim te izračunaj površinu."

Prema izračunu ChatGPT-ja površina tog četverokuta je: 482 611.543228 km² (Frančula i Lapaine 2024). Površinu tog geodetskog četverokuta izmjerili smo na Google Earthu i dobili 1 212 477 km² (Frančula i Lapaine 2021). Rezultat koji smo dobili opterećen je pogreškama mjerenja, ali vidljivo je da je površina koju je izračunao ChatGPT grubo pogrešna.

Stoga smo isto pitanje postavili ChatGPT-ju i 17. travnja 2025. da provjerimo je li se njegovo znanje o računanju površina geodetskih četverokuta poboljšalo. Isto pitanje postavili smo i ostalim konverzacijskim programima umjetne inteligencije čije smo znanje do sada testirali pitanjima o klasifikaciji kartografskih projekcija i definicijama pojedinih skupina projekcija. To su: DeepSeek, Grok, Perplexity i Gemini. Iz njihovih odgovora izdvojili smo samo ono što smatramo bitnim za ovaj kratki prikaz i stavili te dijelove teksta pod navodnike. Tekst pod navodnicima nismo mijenjali, pa ni pisanje višeznamenastih brojeva, osim što smo dijelove teksta koje su konverzacijski programi umjetne inteligencije napisali zadebljanim slovima pretvorili u kurziv.

ChatGPT

„Za izračun površine geodetskog četverokuta na elipsoidu WGS84, koristeći zadane geodetske koordinate (lat, lon), možemo koristiti metodu za računanje površine sferičkog ili elipsoidnog četverokuta. Na elipsoidu, precizna metoda uključuje numeričku integraciju ili korištenje geodetskih biblioteka poput GeographicLib.“

„Koristit ću *GeographicLib* metodu (Vincenty/Karney algoritam) za točan izračun površine na WGS84 elipsoidu.“

„Koristeći ovu metodu, površina četverokuta je otprilike:

Površina = 1,233,948.33 km²“

DeepSeek

Iako je u pitanju jasno napisano da se traži površina geodetskog četverokuta, tj. četverokuta čije su stranice geodetske linije, na elipsoidu WGS84, DeepSeek odgovara "...ali za ovaj primjer možemo koristiti pojednostavljeni pristup s pretpostavkom da se radi o sferi (što daje približnu vrijednost)."

Napisao je formule po kojima računa i dobio „Površina četverokuta je približno 1,238,000 km².“

Kada smo mu dali do znanja da želimo površinu na elipsoidu, računao je površinu tražezi omedenog s dva meridijana i dvije paralele i za konačni rezultat napisao: „Površina geodetskog četverokuta na elipsoidu WGS84 iznosi približno 1,346,000 km².“

Kada smo mu odgovorili da smo mjereći na Google Earthu dobili 1 212 477 km², vrlo detaljno je obrazlagao razloge navedenog neslaganja. Na kraju je primijenio i *GeographicLib* i za površinu četverokuta dobio 1 223 000 km² te zaključio: „*GeographicLib* koristi geodetske linije (najkraće putanje na elipsoidu), dok moj izračun pretpostavlja da su granice paralele i meridijani (što daje veću površinu).“

Budući da je u pitanju jasno navedeno da su stranice četverokuta geodetske linije, a paralele to nisu, do navedene zbrke nije smjelo doći. Ne samo to, nego je izračunana vrijednost pogrešna. Točna vrijednost koja se dobije primjenom poznate formule za površinu takvog četverokuta iznosi 1 241 699 kvadratnih kilometara.

Grok

„Površina se može izračunati korištenjem metode zasnovane na Gaussovoj formuli za površinu na elipsoidu ili numeričkim metodama za geodetske poligone. Budući da je ovo složen problem koji uključuje geodetske linije na elipsoidu WGS84, koristit ćemo približnu metodu koja uzima u obzir zakrivljenost Zemlje i daje dobru točnost za većinu primjena. Za preciznije rezultate, potrebni su specijalizirani geodetski alati (npr. PROJ ili GeographicLib), ali ovdje ćemo koristiti analitički pristup.“

Jedna od metoda koju je primijenio:

„*Projekcija i Shoelace formula*: Pretvaramo geodetske koordinate u kartezijanske koordinate u ravninskoj projekciji (npr. azimutalna ekvidistantna projekcija) ili koristimo aproksimaciju za male površine. Za jednostavnost, pretpostavimo da je poligon dovoljno mali da se može aproksimirati ravninskom geometrijom uz skaliranje prema prosječnoj širini.“

Pretpostavka da je poligon mali pogrešna je, poligon je vrlo veliki. Nije napisao kolika je na taj način izračunana površina.

„*Numerički izračun*: Za precizniji izračun, koristimo GeographicLib ili slične biblioteke (koje ovdje simuliramo). Površina četverokuta na elipsoidu WGS84 izračunava se uzimajući u obzir geodetske linije između točaka. Prema empirijskim podacima i testnim izračunima za slične poligone na WGS84, površina ovog četverokuta (65°N, 55°N, 100°W, 80°W) približno je: $S \approx 1,234,000 \text{ km}^2$.“

Perplexity

„Za izračun površine geodetskog četverokuta na elipsoidu WGS84, definiranog geodetskim koordinatama (geodetska širina i dužina), potrebno je koristiti odgovarajuće geodetske metode koje uzimaju u obzir elipsoidni oblik Zemlje.“

Izvorni primjer iz literature pokazuje da je za sličan četverokut na WGS84 elipsoidu izračunata površina približno $482,611 \text{ km}^2$.² Literatura na koju se poziva (2) je naš članak (Frančula i Lapaine 2024) u kojem smo naveli površinu tog četverokuta koju je grubo pogrešno izračunao ChatGPT.

Potom je izračunao površinu na sferi polumjera 6371 km i dobio $\approx 1\,236\,000 \text{ km}^2$.

„Ova aproksimacija je u skladu sa stvarnom površinom područja na Zemlji i približno je dvostruko veća od rezultata koji je dobiven u literaturi za sličan zadatak korištenjem preciznih metoda (oko $482,611 \text{ km}^2$), što može biti posljedica različitih metoda i preciznosti².“

Ne shvaća da ovako velika razlika može biti samo rezultat grube pogreške, a ne “posljedica različitih metoda i preciznosti”.

Da bismo pokazali koliko je naziv „umjetna inteligencija“ u ovom slučaju upitan, citiramo dio tekst na koji se Perplexity poziva:

„ChatGPT

Naravno, ovdje je izračunata površina četverokuta:

Površina četverokuta: $482611.543228 \text{ km}^2$ “

Zadali smo koordinate četverokuta za koji smo površinu izmjerili u Google Earthu i dobili površinu: $1\,212\,477 \text{ km}^2$ (Frančula i Lapaine 2021). Vidljivo je da je površina koju

je izračunao ChatGPT grubo pogrešna.“

Iako u tom kratkom tekstu piše da je tu površinu izračunao ChatGPT i da je ona grubo pogrešna, Perplexity se poziva na nju jer je dobivena „korištenjem preciznih metoda“.

Još jedna zamjerka Perplexityju. Iako je u pitanju navedeno da se traži površina na elipsoidu, izračunao je površinu na sferi.

Gemini

„U redu, izračunajmo površinu zadanog geodetskog četverokuta na WGS84 elipsoidu.“

„Ove točke definiraju poseban četverokut čije su stranice dijelovi dvaju meridijana ($\lambda = -100^\circ$ W i $\lambda = -80^\circ$ W) i dviju paralela ($\varphi = 65^\circ$ N i $\varphi = 55^\circ$ N).“

„Površina geodetskog četverokuta iznosi približno 1,245,410 kvadratnih kilometara“

Iako je u pitanju navedeno da su stranice četverokuta geodetske linije, Gemini računa površinu četverokuta omeđenu s dva meridijana i dvije paralele, a paralele nisu geodetske linije. Ne samo to, nego je izračunana vrijednost pogrešna. Točna vrijednost koja se dobije primjenom poznate formule za površinu takvog četverokuta iznosi 1 241 699 kvadratnih kilometara.

Kada smo mu dali do znanja da se traži površina četverokuta omeđenog geodetskim linijama, nakon opisa računanja zaključio je:

„Dakle, *aproksimativna površina geodetskog četverokuta je oko 1,238,000 km².*

Važno je napomenuti: Ovaj izračun je aproksimacija. Za strogo točan rezultat, potrebno bi koristiti napredne geodetske formule koje uzimaju u obzir elipsoidni oblik Zemlje prilikom izračuna duljina geodetskih linija i površine.“

Zaključak

Da bismo mogli dati ocjenu točnosti površina koje je izračunala umjetna inteligencija, trebali smo izračunati točnu površinu. U tu svrhu površinu promatranoga geodetskog četverokuta na elipsoidu WGS 84, izračunali su A. Kuveždić Divjak i neovisno V. Stojnović primjenom Karneyjeva algoritma (Karney 2013). Dobivena vrijednost je **1 226 073 km²**.

Taj je algoritam primijenjen u mrežnom alatu *Online geodesic polygon calculations – Planimeter* (v 2.5). U načinu *polygon* alat *Planimeter* izračunava opseg i površinu poligona čije su stranice geodetske linije na elipsoidu WGS 84 (slika 1).

Online geodesic polygon calculations using the [Planimeter](#) utility

Closed/open: ☒ Polygon ☐ Polyline

Edge type: ☒ Geodesic ☐ Rhumb line

Equatorial radius: meters

Flattening:

Enter the vertices as latitude longitude pairs, one per line:

```
N65 W100
N65 W80
N55 W80
N55 W100
N65 W100
```

☐ Convert vertices to decimal degrees

Select action:

Results:

```
ellipsoid (a f)    = 6378137 1/298.257223563 (WGS84)
status            = OK
number of vertices = 5
Perimeter (m)     = 4443299.387345
area (m^2)        = -1226072571403.6
```

Slika 1. Izračun površine geodetskog četverokuta s pomoću mrežnog alata *Planimeter* (*Online geodesic planimeter* 2022).

Alat *Planimeter* dostupan je na *Online geodesic planimeter* (2022), a radi se o omotaču (engl. *wrapper*) nad C++-klasom *GeographicLib::PolygonAreaT* (*GeographicLib* 2024) iz biblioteke *GeographicLib*. *GeographicLib* je biblioteka otvorenog kôda koju od 2008. razvija Charles F. F. Karney (GitHub 2025). U jezgri te biblioteke nalazi se C++ primjena geodetskih rješenja na rotacijskom elipsoidu: direktni i inverzni geodetski zadatak, računanje površine poligona, duljine geodetske linije, Helmertove transformacije, konverzije između geografskih, geocentričnih i kartezijevih koordinata i dr. Uz osnovnu C++ biblioteku isporučuju se alati (*geod*, *rhumb*, *planimeter*...) i službeni *bindingsi* za Python, MATLAB/Octave, Javu, C i .NET, što omogućuje brzu integraciju u različita programska okruženja.

Računanje površine promatranog geodetskog četverokuta u najnovijoj stabilnoj inačici QGIS-a 3.40.6 daje identičan rezultat.

U tablicu 1 upisali smo u drugom stupcu površine koje su izračunali konverzacijski programi umjetne inteligencije i površinu koju smo izmjerili na Google Earthu, a u trećem stupcu razliku između površine izračunate Karneyevim algoritmom i površina konverzacijskih programa.

Tablica 1. *Površine (P) geodetskih četverokuta.*

Umjetna inteligencija	P (km ²)	P _{GeographicLib} – P (km ²)
ChatGPT	1 233 948	–7 875
DeepSeek	1 223 000	3 073
Grok	1 234 000	–7 927
Perplexity	1 236 000	–9 927
Gemini	1 238 000	–11 927
Google Earth	1 212 477	13 596

Napomena: P_{GeographicLib} = 1 226 073 km².

Podaci u tablici 1 pokazuju da umjetna inteligencija još nije u stanju ni približno točno izračunati površinu geodetskog četverokuta na elipsoidu, iako ChatGPT i DeepSeek tvrde da su se poslužili GeographicLibom. Očito je da je to u današnje vrijeme pretežak zadatak za umjetnu inteligenciju i da prirodna inteligencija za sada pobjeđuje.

Literatura

- Frančula, N., Lapaine, M. (2021): On the New Approach to Determining Areas from Maps / O novom pristupu određivanju površina s karata, Kartografija i geoinformacije, 20, 36, 104–106, <https://hrcak.srce.hr/clanak/443776>, (21. 2. 2024.).
- Frančula, N., Lapaine, M. (2024): Nekoliko kartografskih pitanja ChatGPT-ju, Geodetski list, 78 (101), 1, 64–66, <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-casopis/832179>, (17. 4. 2025.).
- GeographicLib (2024): GeographicLib: izvorni kod i dokumentacija, <https://geographiclib.sourceforge.io>, (26. 5. 2025.).
- GitHub (2025): Biblioteka GeographicLib, <https://github.com/geographiclib/geographiclib>, (26. 5. 2025.).
- Karney, C. F. F. (2013): Algorithms for geodesics, Journal of Geodesy, 87, 1, 43–55, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00190-012-0578-z>, (26. 5. 2025.).
- Online geodesic planimeter (2022): Online geodesic polygon calculations using the Planimeter utility, <https://geographiclib.sourceforge.io/cgi-bin/Planimeter>, (26. 5. 2025.).

Nedjeljko Frančula, Ana Kuveždić Divjak, Vedran Stojnović i Miljenko Lapaine

ZAŠTO I KAKO KOMERCIJALNE ORGANIZACIJE DOPRINOSE OpenStreetMapu

O korporacijskim aktivnostima na OpenStreetMapu (OSM) već je pisano u Geodetskom listu (Frančula 2020). Ovdje dajemo kratki prikaz novog istraživanja o motivacijama komercijalnih organizacija za aktivnosti na OSM-u. Ochoa-Ortiz i Re (2025) ispitali su motivacije i metode komercijalnih organizacija za doprinos OpenStreetMapu na temelju polustrukturiranih intervjua sa zaposlenicima većeg broja komercijalnih organizacija i Zaklade Overture Maps. Komercijalnih organizacija najviše je iz SAD-a 16, zatim Njemačke 6, Indije 3, Irana i Ujedinjenog Kraljevstva po 2 i po jedna organizacija iz 13 država (Australija, Austrija, Bjelorusija, Češka, Estonija, Kanada, Moldavija, Nizozemska, Rusija, Singapur, Švedska, Švicarska i Zambija).

Ispitanici su istaknuli dobru kvalitetu OSM-ovih podataka, zajedno s mogućnošću njihove slobodne ponovne upotrebe, kao ključne razloge za njihovu komercijalnu upotrebu. OSM omogućuje komercijalnim korisnicima preuzimanje i ponovnu upotrebu podataka po svojoj želji te njihovo prilagođavanje potrebama svog projekta, što podaci Google Mapsa, iako po kvaliteti nešto bolji, ne omogućuju.

Pronađeno je pet različitih načina doprinosa: uređivanje podataka, razvoj i/ili financiranje alata, sponzoriranje događaja, financiranje OSM Foundationa ili srodno financiranje i izgradnja zajednice. Tvrtke ne samo da doprinose OSM-u već i koriste njegove podatke, a doprinosom podacima poboljšavaju kvalitetu usluga koje tvrtka pruža.

Osim kako doprinose, ispitanici su također pitani zašto doprinose OSM-u. Najčešća i treća najčešće spominjana motivacija su poboljšanje kvalitete podataka i usklađivanje s vlastitim skupom podataka. Druga najčešće spominjana motivacija je izgradnja zajednice. Ta motivacija spomenuta je u nekoliko konteksta: kartiranje određenog područja ili teme, pokazujući klijentima kako nastaviti rad, pokretanje lokalne zajednice na određenoj temi kartiranja ili organiziranje kartiranja s lokalnim zajednicama.

Većina ispitanika spomenula je podatke kao jednu od snaga OSM-a, a njihovi glavni atributi uključuju kvalitetu, potpunost i pokrivenost. Unutar toga, sudionici su istaknuli iznimnu razinu detalja koju OSM-ovi kartografi bilježe, nastojeći podatke učiniti što točnijima, nešto što se ne događa u drugim izvorima podataka. Ali, tvrtke imaju nekoliko pritužbi na kvalitetu podataka, pokrivenost i shemu. Najjača pritužba je na različitu kvalitetu podataka i razinu detalja u različitim regijama, kao i mogućnost pogreške u podacima.

Nekoliko ispitanika spomenulo je prepreke u korištenju i doprinosu podataka OSM-a. U korištenju podataka, prepreke se odnose na nedostatak strukturirane sheme podataka i trajnih identifikatora, kao i zabrinutost zbog kvalitete i vandalizma. To su neki od razloga za stvaranje Overture Mapsa. Zaklada Overture Maps potiče suradnju na kartiranju otvorenih podataka, a pokrenuta je sredinom prosinca 2022. pod pokroviteljstvom Zaklade Linux. Njezina deklarirana misija je osnaživanje trenutačnih kartografskih proizvoda i proizvoda sljedeće generacije stvaranjem pouzdanih, jednostavnih za korištenje i interoperabilnih otvorenih kartografskih podataka. Osnivači Overturea bili su Amazon, Meta, Microsoft i TomTom. Taj projekt namijenjen je dopuni projekta OpenStreetMap, a zaklada potiče članove da izravno doprinose podacima projektu OSM (Wikipedia 2025).

Literatura

Frančula, N. (2020): Korporacijske aktivnosti na OpenStreetMapu, Geodetski list, 74 (97), 4, 447–448, <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/prilog-casopis/289973>, (6. 6. 2025.).

Ochoa-Ortiz, H., Re, B. (2025): Exploring why and how commercial organizations contribute to OpenStreetMap, *Annals of GIS*, 31, 2, 221–232, <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19475683.2025.2457396>, (6. 6. 2025.).

Wikipedia (2025): Overture Maps Foundation, https://en.wikipedia.org/wiki/Overture_Maps_Foundation, (6. 6. 2025.).

Nedjeljko Frančula

LIPANJ

25th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2025
Albena, Bulgaria, 28. 6. – 7. 7.
 Web: <https://www.sgem.org/>
 E-mail: sgem@sgem.org

SRPANJ

GeoAI – geoinformacije i umjetna inteligencija
Zagreb i online, Hrvatska, 5. 7.
 Web: <https://www.kartografija.hr/>
 E-mail: hkd@kartografija.hr

KOLOVOZ

32nd International Cartographic Conference
Vancouver, Canada, 18.-22. 8.
 Web: <https://icaci.org/icc2025/>
 E-mail: secgeneral@icaci.org

IAGA / IASPEI Joint Scientific Meeting 2025
Lisbon, Portugal, 31. 8. – 5. 9.
 Web: <https://iaga-iaspei-lisboa-2025.isel.pt/>
 E-mail: iaga.iaspei25@isel.pt

RUJAN

IAG Scientific Assembly 2025
Rimini, Italy, 1.-5. 9.
 Web: <https://eventi.unibo.it/iag2025>
 E-mail: fam.eventi@unibo.it

25th Scientific-Professional Colloquium on Geometry and Graphics
Čakovec, Croatia, 7.-11. 9.
 Web: <http://www.hdgg.hr/Cakovec/>
 E-mail: hdgg@hdgg.hr

ION GNSS+ 2025
Baltimore, Maryland, USA, 8.-12. 9.
 Web: <https://www.ion.org/gnss/>
 E-mail: membership@ion.org

21st International Conference Geoinformation and Cartography
Zadar and online, Croatia, 18.-20. 9.
 Web: <https://www.kartografija.hr/>
 E-mail: hkd@kartografija.hr

11th International Conference on Sensors and Electronic Instrumentation Advances – SEIA' 2025
Ponta Delgada, San Miguel (Azores Islands), Portugal, 24.-26. 9.
 Web: <https://seia-conference.com/>
 E-mail: seia@sensorsportal.com

LISTOPAD

INTERGEO 2025
Frankfurt, Germany, 7.-9. 10.
 Web: <https://www.intergeo.de/>
 E-mail: info@hint-expo.com

9th International Conference on Engineering Surveying – INGEO 2025
Brno, Czech Republic, 15.-17. 10.
 Web: <https://www.ingeoconference.com/>
 E-mail: ingeo2025@ingeoconference.com

18. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije
Bol, Hrvatska, 22.-25. 10.
 Web: <https://hkoig.hr/>
 E-mail: simpozij@hkoig.hr

STUDENI

12th International Electronic Conference on Sensors and Applications (ECSA-12)
Online, 12.-14. 11.
 Web: <https://www.mdpi.com/journal/sensors/events/18397>
 E-mail: ecsa@mdpi.com

EAASI Summit 2025
Dubrovnik, Croatia, 18.-21. 11.
 Web: <https://www.eaasi.eu/summit2025>
 E-mail: info@EAASI.eu

XXIV SGEM Vienna Green 2025
Vienna, Austria, 26.-29. 11.
 Web: <https://sgemviennagreen.org/>
 E-mail: science@sgemviennagreen.org

PROSINAC

AGU 2025 Fall Meeting
New Orleans, LA, USA, 15.-19. 12.
 Web: <https://www.agu.org/annual-meeting>

2026

EUROCIVILENG2026
Paris, France, 19.-21. 2.
 Web: <https://eurocivileng2026.synergiasummits.com/>
 E-mail: eurocivileng2026@synergiasummits.com

XXVIII FIG Congress 2026
Cape Town, South Africa, 24.-29. 5.
 Web: <https://www.fig.net/fig2026/>
 E-mail: fig@fig.net

22nd International Conference on Geometry and Graphics – ICGG 2026
Zagreb, Croatia, 3.-7. 8.
 Web: <https://icgg2026.grad.hr/>
 E-mail: icgg2026@grad.unizg.hr

ION GNSS+ 2026
Orlando, Florida, USA, 14.-18. 9.
 Web: <https://www.ion.org/gnss/future-meetings.cfm>
 E-mail: membership@ion.org

AGU 2026 Fall Meeting
San Francisco, CA, USA, 7.-11. 12.
 Web: <https://www.agu.org/annual-meeting>

Mladen Zrinjski

UPUTE SURADNICIMA

Geodetski list objavljuje znanstvene članke iz područja geodezije, geoinformatike, GNSS-a, GIS-a i općenito svih područja koja se bave informacijama o prostoru te donosi značajnije spoznaje iz drugih područja koje su važne za razvoj i unapređenje geodezije i geoinformatike. Objavljuje nadalje i sve što se odnosi na stručna zbivanja u nas i u svijetu, podatke iz prošlosti geodezije te aktivnosti Hrvatskoga geodetskog društva. List se tiska u pravilu 4 puta godišnje (ožujak, lipanj, rujn, prosinac).

Geodetski list objavljuje članke koji se recenziraju i one koji ne podliježu recenzentskom postupku, npr. članci u rubrikama: Terminologija, Povijest, Vijesti, Pregled stručnog tiska i softvera, In memoriam, Predstojeći događaji i dr.

Recenzirani se radovi razvrstavaju na sljedeći način:

- izvorni znanstveni članci
- prethodna priopćenja
- pregledni znanstveni članci
- izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova
- stručni članci.

Autori predlažu kategoriju za svoje radove, ali konačnu odluku o svrstavanju donosi uredništvo na temelju zaključaka recenzenata.

Izvorni znanstveni članak sadrži neobjavljene rezultate izvornih znanstvenih istraživanja. Znanstvene obavijesti trebaju biti izložene tako da se može provjeriti točnost analiza i dedukcija na kojima se temelje rezultati.

Prethodno priopćenje sadrži nove znanstvene spoznaje, koje treba hitno objaviti. Ne moraju omogućavati ponavljanje i provjeru iznesenih rezultata.

Pregledni znanstveni članak mora biti izvoran, sažet i kritički prikaz nekog područja ili njegova dijela, u kojem autor i sam aktivno djeluje. Mora biti naglašena uloga autorova izvornog prinosa tom području s obzirom na već publicirane radove te dan i pregled tih radova.

Izlaganja sa znanstvenih i stručnih skupova bit će u pravilu objavljena samo onda ako ne budu tiskana u zbornicima s tih skupova. Iznimno će se tiskati bitno prerađeni i dopunjeni članci.

Stručni članak koristan je prilog iz područja struke, problematika kojega nije vezana uz izvorna istraživanja. To se, primjerice, odnosi na reprodukciju u svijetu poznatih istraživanja koja su vrijedan materijal u pogledu širenja znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama znanosti i prakse.

Jednom prihvaćeni članak obvezuje autora da isti članak ne smije objaviti na drugome mjestu bez odobrenja uredništva Geodetskog lista, a i tada samo uz podatak o tome gdje je članak objavljen prvi put.

GeoPLUS i ZWCAD 2025

Vaš ključ za uspješne geodetske projekte

GeoPLUS:

- konverzija GML-a u DXF direktno u ZWCAD-u
- kontrola kvalitete crteža
- automatski ispis vlasnika i posjednika
- crtanje slojnica i izrada 3D profila

ZWCAD 2025:

- poboljšane 2D i 3D funkcionalnosti
- intuitivno korisničko sučelje
- specifični moduli za arhitekte, inženjere i dizajnere
- trajna licenca bez dodatnih troškova

Unaprijedite svoje geodetske projekte s najboljim rješenjima na tržištu!



t. +385 (0)1 3768 250
e. info@geosoft.hr
www.geosoft.hr
www.geoplus.hr
www.zwcad.hr

GEOSOFT

ZWCAD



GEODETSKI INSTRUMENTI

TOTALNE STANICE
GNSS, 3D, GIS



Geodetski instrumenti i program-
ski paketi talijanskog proizvođača
STONEX S.r.l. za geodetska mjer-
enja, 3D skeniranja, fotogrametri-
jska mjerenja i GIS.

GEO SUSTAVI
GEODETSKI INSTRUMENTI I PRIBOR

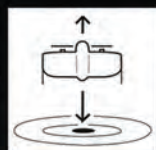
www.stonex.hr



www.geosustavi.hr

WingtraOne GEN II

60min leta
Izmjenjive kamere



VTOL



SONY α6100 24MP / 24MP Oblique

SONY RX1R 42MP / SONY RGB 61MP/ RedEdge multispektralna



LIDAR senzor
Dometa do 300m



Emlid Studio

is a cross-platform desktop application designed specifically for post-processing. The application has four workflows:

PPK: Post-process the collected data.

Drone Data PPK: Geotag photos obtained during the drone flight for further mapping in photogrammetry software.

Stop & Go with RV3: Get separate points with ReachView 3.

Convert logs to RINEX: Convert raw data from the receiver to the industry-standard RINEX format.



REACH RS2

Datasheet

Key features

- Tracks GPS/QZSS L1C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b
- Fast RTK convergence
- Multi-feed antenna with multipath rejection
- 868/915 MHz LoRa modem for up to 8 km connectivity
- Global 3.5G modem
- 22 hours on 1 charge
- NTRIP and VRS support, works with RTCM3
- Logs RINEX at update rate up to 10 Hz
- 16 GB of internal storage
- IP67, water- and dustproof

EMLID

Emlid Studio ^{Beta}

New post-processing software



www.emlid.com



www.arcgeo.hr

Arc Geo d.o.o // Vukovarska 19, 52440 Poreč (Hrvatska) // +385 (0)91 573 5035 // rbravar@arcgeo.hr

Engineered for every day.

Trimble SX12

The Trimble® SX12 Scanning Total Station is the one instrument you need to handle any survey project by integrating surveying, imaging and 3D scanning capabilities into your everyday workflow.



Topo



Roading



Tunneling



As-Built



Powerline



Stakeout



TRIMBLE: NEXT GEN PRODUCTIVITY

Geospatial.trimble.com/SX12



**PRVI HIBRIDNI LASERSKI
SKENER NA SVIJETU**

FARO ORBIS

**GeoSLAM patentirani
SLAM algoritmi
Flash tehnologija – brzi
statični sken za visoku
razinu detalja**



- visoko-precizni, detaljni i kolorizirani oblaci točaka
- jednostavno georeferenciranje pomoću kontrolnih točaka
- prikaz skena u realnom vremenu pomoću Faro Stream aplikacije

GEO CENTAR

www.geocentar.com

THE **BEST** JUST GOT **BETTER**

 **Trimble.**
Authorised Distribution Partner



TRIMBLE R980 GNSS SYSTEM

Elevate survey productivity with unmatched performance and Trimble trusted workflows. With a full suite of enhanced connectivity features, the Trimble® R980 GNSS system sets a new benchmark in versatility and enables you to tackle the most demanding GNSS environments to get the job done.

geospatial.trimble.com/r980


Geomatika
SMOLČAR s.p.a.