REPUBLIKA HRVATSKA
Državna geodetska uprava

Specifikacija proizvoda

LiDAR snimanje iz zraka

Europska unija
Zajedno do fondova EU

EUROPSKI STRUKTURNI I INVESTICIJSKI FONDOVI

Operativni program KONKURENTNOST I KOHEZIJA

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj

NAKLADNIK
Republika Hrvatska – Državna geodetska uprava
Gruška 20, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

ZA NAKLADNIKA
dr. sc. Damir Šantek, dipl. ing. geod.

UREDNICI
dr. sc. Luka Babić, dipl. ing. geod.
Martina Ciprijan, dipl. ing. geod.
dr. sc. Marijan Marjanović, dipl. ing. geod.
Marija Pejaković, dipl. ing. geod.

TEHNIČKI UREDNIK
Ivana Šimat, dipl. ing. geod.

DIZAJN I GRAFIČKA PRIPREMA
K&K PROMOCIJA d.o.o.

TISAK
Kerschoffset d.o.o.

NAKLADA
30

ISBN broj
ISBN 978-953-293-911-8

Ovaj priručnik izrađen je u okviru projekta Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa.

SADRŽAJ

1. Općeniti prikaz dokumenta **6**

1.1. Skraćenice i akronimi 6
1.2. Opće informacije 8
1.3. Područje primjene podataka zračnog LiDAR snimanja 8
1.4. Relevantni zakoni i propisi 9

2. Primarni zahtjevi **9**

2.1. Oznake položajnog i visinskog referentnog koordinatnog sustava 9
2.2. Podjele i slovnobrojčane oznake listova 10

3. Terenske kontrolne točke i kontrolni profili **10**

3.1. Zahtjevi za kontrolne točke 11
3.2. Planiranje kontrolnih točaka 11
3.3. Stabilizacija i signalizacija kontrolnih točaka 12
3.4. Mjerenje i obrada podataka 14
3.5. Točnost kontrolnih točaka 15
3.6. Kontrolni profili 16

4. Snimanje iz zraka **17**

4.1. Oprema i instrumenti 18
4.1.1. Zrakoplov 18
4.1.2. LiDAR skener 18
4.1.3. Integrirani sustav GNSS-a s inercijalnim mjernim sustavom (GNSS/INS) 18
4.2. Kalibracija sustava za zračno LiDAR snimanje 18
4.2.1. Kalibracija LiDAR skenera 18

4.2.1.1. Kalibracija istrumenata 19
4.2.1.2. Kalibracija istalacije 20
4.2.1.3. Dnevna kalibracija 20

4.3. Planiranje snimanja iz zraka 20
4.3.1. Projekt zračnog LiDAR snimanja 21
4.3.2. Elementi za planiranje snimanja iz zraka 23

4.4. Zahtjevi ostvarenog snimanja iz zraka 23
4.4.1. Uvjeti snimanja 23
4.4.2. Gustoća točaka 24
4.4.2.1. Pojašnjenje nedostatka podataka 26
4.4.3. Preklop između nizova 26
4.4.3.1. Nizovi presijecanja 26
4.4.4. Smjer leta 27
4.4.5. Identifikacija niza 27
4.4.6. Visina leta 27
4.4.7. Vrijeme snimanja 27
4.4.8. Prekid niza/kontinuirani nizovi 28

4.5. Točnost 28
4.5.1. Objašnjenje točnosti 29

4.6. Klasifikacija laserskih točaka 30

5. Obrada podataka 34

5.1. Sparivanje točaka u oblaku 35
5.1.1. Dokumentacija dnevne kalibracije 35
5.1.2. Podešavanje nizova 36
5.2. Kontrola kvalitete oblaka točaka 36
5.2.1. Podešavanje u visinskom smislu 36
5.2.2. Provjeravanje u položajnom smislu 37
5.2.3. Homogenost oblaka točaka 37

5.3. Klasifikacija oblaka točaka 38
5.3.1. Analiza pogrešaka 38
5.3.2. Klasifikacija terena 38
5.3.3. Klasifikacija drugih objekata 38

5.4. Pregled zračnih snimaka u svrhu kontrole područja posebnih interesa za Republiku Hrvatsku 39

5.5. Isporuka rezultata snimanja iz zraka 39

6. Kontrola kvalitete 40

6.1. Kontrola kvalitete izvoditelja 40
6.2. Kontrola kvalitete i uvjeti prihvatljivosti naručitelja 40

7. Isporuka 41

7.1. Podaci za isporuku 41
7.1.1. Dokumenti i izvješća vezani uz isporuku podataka 44
7.1.2. Format podataka 44
7.1.3. Izvješća 44
7.1.4. Struktura direktorija za isporuku 48
7.1.5. Metapodaci 48
7.1.6. Područje mjerenja 49
7.1.7. Nizovi leta mjerenja 49

8. Vlasništvo materijala 50

1. OPĆENITI PRIKAZ DOKUMENTA

Ovaj je dokument specifikacija proizvoda za LiDAR snimanje iz zraka.

Tehničke specifikacije i izvedbeni zahtjevi za zračno LiDAR snimanje definirani su kao preporučeni parametri za postizanje odgovarajuće kvalitete proizvoda.

1.1. Skraćenice i akronimi

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAD	Computer Aided Design
CROPOS	CROatian POsitionig System
CRP	Central Reference Point
DGN	Design file – Bentley Systems, MicroStation i Intergraph-ovi CAD datotečni format
DMP	Digitalni model površina
DMR	Digitalni model reljefa
DWG	Drawing file format datoteke
EPSG	European Petroleum Survey Group – EPSG Geodetic Parameter Registry sadrži kodove referentnih koordinatnih sustava
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
FTP	File Transfer Protocol
GIS	Geografski informacijski sustav
GNSS	Global Navigation Satellite Systems; Globalni navigacijski satelitski sustav
GPPS	Geodetski precizni pozicijski servis
GPS	Global Positioning System; Globalni položajni sustav
HTRS96	Hrvatski terestrički referentni sustav 1996
HVRS71	Hrvatski visinski referentni sustav 1971
ID	Identifikacijski broj niza
INS	Inercijalni navigacijski sustav
KT	Kontrolna točka
LAS	LASer file, nekomprimirani razmjenski format za LiDAR podatke
LAZ	LASzip file, komprimirani razmjenski format za LiDAR podatke
LiDAR	Light Detection And Ranging
PDF	Portable Document Format
PDOP	Position (3D) dilution of precision
RH	Republika Hrvatska
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTK	Real-time kinematic
SDF	Signed distance fields
SHP	Shapefile format datoteke
TFW	Format tekstualne datoteke koja sadrži podatke o položaju, orijentaciji i skali Tiff datoteka
TIFF	Tagged Image File Format
TM	Transverse Mercator
VPPS	Visokoprecizni pozicijski servis u realnom vremenu
WEB	The World Wide Web

1.2. Opće informacije

Ova specifikacija izrađena je u okviru projekta *„Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“*. Svrha ove Specifikacije proizvoda je osigurati odgovarajuću kvalitetu podataka prikupljenih zračnim LiDAR snimanjem. Specifikacije proizvoda definiraju procese prikupljanja i obrade podataka, proizvode zračnog LiDAR snimanja, proces proizvodnje i kontrolu kvalitete proizvoda i trajnu pohranu podataka.

Cilj ovog dokumenta je osigurati da prikupljeni skup izvornih podataka, uključujući metapodatke, opisnu dokumentaciju, popratne podatke, budu prikupljeni u skladu s preporučenim parametrima.

Državna geodetska uprava korisnik je bespovratnih sredstava u okviru Operativnog programa *„Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020.“* (OPKK), prioritetne osi 5 *„Klimatske promjene i upravljanje rizicima“*, specifičnog cilja 5b1 *„Jačanje sustava upravljanja katastrofama“.* Ugovor o dodjeli bespovratnih sredstava za projekt *„Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa – KK.05.2.1.10.0001“* potpisan je između Ministarstva zaštite okoliša i energetike, Hrvatskih voda i Državne geodetske uprave.

Projekt *„Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“* obuhvaća prikupljanje i analizu odgovarajuće razine prostornih podataka u svrhu modeliranja rizika na području Republike Hrvatske.

1.3. Područje primjene podataka zračnog LiDAR snimanja

Podaci zračnog LiDAR snimanja osnova su za:

- izradu i ažuriranje digitalnog modela reljefa (DMR)
- izradu i ažuriranje digitalnog modela površina (DMP)
- poslove državne izmjere i katastra nekretnina.

1.4. Relevantni zakoni i propisi

- Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (Narodne novine, br. 112/2018 i 39/2022)
- Pravilnik o topografskoj izmjeri i izradbi državnih karata (Narodne novine, br. 15/2020)
- Uredba o snimanju iz zraka (Narodne novine, br. 77/2020)
- Uputa o načinu prikazivanja i provođenja zaštite vojnih i drugih objekata posebno važnih za obranu na kartografskim proizvodima (Narodne novine, br. 29/2012)
- Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske (Narodne novine, br. 110/2004 i 117/2004)
- 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, 2009. god.)
- Pravilnik o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova (Narodne novine, br. 15/2020)

2. PRIMARNI ZAHTJEVI

Područje obuhvata pojedinog zadatka definirano je ugovorom i projektnim zadatkom.

2.1. Oznake položajnog i visinskog referentnog koordinatnog sustava

EPSG kodovi referentnih koordinatnih sustava Republike Hrvatske (EPSG Geodetic Parameter Registry http://www.epsg-registry.org/):

Tablica 1: EPSG kodovi

Referentni koordinatni sustav	Naziv	Oznaka	Opis
Visinski	ETRS89 HTRS96	EPSG:4889 HTRS96	elipsoidne visine
Visinski	HVRS71	EPSG:5610 HVRS71	ortometrijske visine
Položajni	HTRS96	EPSG:4761 HTRS96	elipsoidne koordinate
Položajni	HTRS96/TM	EPSG:3765 HTRS96/TM	ravninske koordinate

2.2. Podjele i slovnobrojčane oznake listova

Podjele i slovnobrojčane oznake listova službenih državnih karata i planova određuju se prema Tehničkim specifikacijama za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske – HTRS96/TM.

3. TERENSKE KONTROLNE TOČKE I KONTROLNI PROFILI

Terenske kontrolne točke su točke koje se mogu identificirati, s određenim koordinatama u službenom referentnom koordinatnom sustavu. Skupovi terenskih kontrolnih točaka služe za procjenu apsolutne točnosti laserskih točaka. Terenske kontrolne točke mjere se uobičajenim geodetskim metodama mjerenja. Broj i raspored terenskih kontrolnih točaka određuje se prilikom izrade plana leta, a točke trebaju biti smještene na ravnom i čvrstom terenu. Točke mogu biti smještene na šljunku (makadam) ukoliko asfalt ili beton nisu dostupni.

3.1. Zahtjevi za kontrolne točke

Terenske kontrolne točke moraju biti izmjerene geodetskim metodama mjerenja (GNSS) koje osiguravaju traženu točnost. Kontrolna točka je uobičajeno signalizirana prije snimanja iz zraka, zbog boljeg kontrasta i identifikacije na snimku, dok se točka bez signala zove prirodna kontrolna točka.

Određivanje kontrolnih točaka (KT) odvija se u sljedećim fazama:

- planiranje broja i položaja KT – da se osigura stabilnost i homogenost modela bloka koji će se izjednačavati
- stabilizacija točaka – ukoliko odabrana kontrolna točka već nije stabilizirana, točku je potrebno trajno ili privremeno stabilizirati tako da se omogući tražena točnost određivanja koordinata te na način kako bi se mogle koristiti tijekom samog mjerenja, naknadnog dopunskog i kontrolnog mjerenja
- signalizacija točaka – osiguranje točaka identifikacije
- mjerenje i obradu – zadovoljenje uvjeta točnosti i pouzdanosti
- izrada tehničkog izvješća i isporuka rezultata određivanja KT.

Koordinate KT trebaju biti određene s točnošću od ±3 cm u položajnom i visinskom smislu. Vrijednosti horizontalne i vertikalne točnosti navode se u položajnom opisu KT.

Kontrolne točke označavaju se rednim brojem točke unutar zadatka (npr.: KT001, KT002.). Sve orijentacijske točke moraju biti dokumentirane te je za njih potrebno izraditi položajni opis.

3.2. Planiranje kontrolnih točaka

Broj i položaj kontrolnih točaka mora biti prilagođen planiranom procesu zračnog LiDAR snimanja, sustavu GNSS/INS, veličini bloka, konfiguraciji terena itd.

Zadaća i odgovornost izvoditelja je planiranjem broja i položaja točaka osigurati stabilnost i homogenost modela bloka te zadovoljiti točnost prostornih podataka i modela proizvoda. Planirano rješenje izvoditelja potrebno je dokumentirati i obrazložiti u izvješću projekta LiDAR snimanja.

Skup kontrolnih točaka – broj i raspored:

- Trebalo bi biti najmanje 5 skupova kontrolnih točaka raspoređenih u svakom bloku. Područje valjanosti za skup definirano je krugom radijusa 6 – 10 km. Taj radijus ovisi o veličini bloka i zahtjevu od najmanje 5 skupova točaka.
- Postavljanje skupova kontrolnih točaka treba biti planirano tako da cjelokupno područje snimanja bude prekriveno područjima njihove valjanosti.
- Ukoliko zahtjev za brojem i rasporedom skupova kontrolnih točaka nije moguće ispuniti (područja bez infrastrukture), dogovor o rješenju treba biti raspravljen s naručiteljem.
- Skupovi kontrolnih točaka trebaju biti smješteni na čvrstom i ravnom terenu (asfalt, beton, kompaktni makadam). Skupovi kontrolnih točaka trebaju biti raspoređeni unutar područja snimanja, međutim ukoliko to nije moguće, mogu se smjestiti i izvan područja snimanja te je u tom slučaju potrebno dostaviti LiDAR oblak točaka koji obuhvaća i to područje.
- Maksimalni nagib za ravninu skupa kontrolnih točaka ne smije prelaziti 5% zbog rizika od horizontalne pogreške koja ima utjecaja na vertikalnu točnost.
- Skup kontrolnih točaka mora sadržavati razmak od 0,5 m bez prepreka.

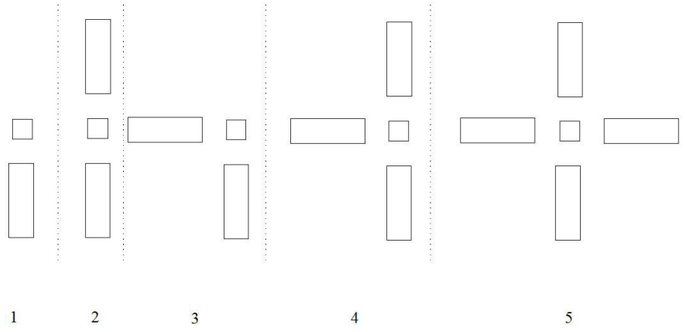
3.3. Stabilizacija i signalizacija kontrolnih točaka

Za LiDAR snimanje centar skupa kontrolnih točaka može se označiti kao signal za aerotriangulaciju (orijentacijska točka).

Kontrolne točke trebaju prije snimanja iz zraka biti stabilizirane i signalizirane.
Ukoliko odabrana kontrolna točka već nije stabilizirana, točku treba trajno ili privremeno stabilizirati radi postizanja tražene točnosti određivanja koordinata na način kako bi se mogla koristiti tijekom samog mjerenja, naknadnog dopunskog i kontrolnog mjerenja te pregleda elaborata.

Prirodna kontrolna točka mora biti dobro definiran topografski detalj na terenu koji se može identificirati na snimkama, tj. mora biti odabrana na način da se zadovolji tražena točnost mjerenja na KT. Kod oblika signala važno je zadovoljiti uvjet simetričnosti radi boljeg prepoznavanja i identificiranja na snimku.

Slika u nastavku prikazuje moguće oblike i veličine signala kontrolnih točaka.



Slika 1: *Oblici signala na kontrolnim točkama*

Skup kontrolnih točaka – veličina:

- gustoća točaka LiDAR snimanja = 4 točke/m^2, minimum 16 m^2 veličina skupa kontrolnih točaka
- gustoća točaka LiDAR snimanja = 8 točaka/m^2, minimum 4 m^2 veličina skupa kontrolnih točaka.

3.4. Mjerenje i obrada podataka

Određivanje položaja kontrolnih točaka potrebno je izvršiti GNSS metodom mjerenja, odnosno korištenjem trajnog višenamjenskog sustava za satelitsko pozicioniranje CROPOS-a. Koordinate kontrolnih točaka potrebno je prikazati u HTRS96 (ETRS89) referentnom koordinatnom sustavu (φ, λ, h) i ravninskoj kartografskoj projekciji HTRS96/TM (E, N, H) s ortometrijskim visinama u HVRS71. Preračunavanje elipsoidnih koordinata φ i λ u ravninske pravokutne koordinate E i N, kao i visina kontrolnih točaka iz sustava elipsoidnih visina h (HTRS96) u sustav normalnih ortometrijskih visina H (HVRS71), potrebno je napraviti programom T7D tj. uporabom službenog modela geoida HRG2009. GNSS uređaji korišteni za određivanje kontrolnih točaka moraju biti minimalno dvofrekvencijski i moraju imati mogućnost prijema i primjene RTK korekcije CROPOS sustava. Kod GNSS mjerenja općenito je potrebno zadovoljiti sljedeće uvjete: u blizini mjerenih točaka ne smije biti fizičkih zapreka (visoki objekti, visoka vegetacija i sl.), osobito južno od točke na kojoj se mjerenja obavljanju te u blizini točke mora biti minimalan potencijalni utjecaj multipatha i radio-elektroničkog zračenja. Preporučeno je koristiti elevacijsku masku od 15° i PDOP vrijednost manju od 6 s minimalnim brojem od 5 satelita.

Određivanje koordinata kontrolnih točaka GNSS metodama mjerenja obavlja se:

- RTK metodom
- statičkom metodom (brza statika).

Određivanje koordinata pomoću CROPOS sustava obavlja se:

- korištenjem VPPS servisa u realnom vremenu
- korištenjem GPPS servisa za naknadnu obradu podataka.

Mjerenja se mogu obavljati samo GNSS uređajima koji imaju opremu minimalnih tehničkih specifikacija propisanih Pravilnikom o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova. Pri mjerenju i računanju treba voditi računa o sljedećem: treba provjeriti ispravnost korištenih stativa odnosno nosača GNSS antene, prije početka mjerenja i nakon mjerenja treba provjeriti libele na nosačima antene, obaviti mjerenje visine antene prije i nakon mjerenja, svakodnevno pohranjivati sve digitalne podatke na sigurno mjesto.
Za GNSS mjerenja korištenjem RTK metode potrebno je dostaviti sljedeće digitalne zapise terenskih mjerenja KT:

- Datoteke projekta mjerenja (datoteke GNSS mjerenja od različitih proizvođača GNSS uređaja, npr. job, raw, asc...) s prikazom postavki mjerenja. Potrebno je navesti tip GNSS antene, mjerenu visinu antene i način mjerenja visine.
- Datoteke izvješća mjerenja (ASCII ili neki drugi format) u kojoj se nalaze rezultati mjerenja (koordinate točaka) s ocjenom točnosti (horizontalnom i vertikalnom), početak i kraj mjerenja te broj epoha mjerenja.

Za GNSS mjerenja korištenjem statičke metode potrebno je dostaviti sljedeće digitalne zapise terenskih mjerenja koordinata KT:

- Datoteke RINEX podataka mjerenja (GNSS uređaja i podataka preuzetih s WEB/FTP servera CROPOS sustava).
- Backup projekta iz programa za obradu podataka GNSS mjerenja, s opisom parametara korištenih za obradu i izjednačenje. Potrebno je navesti tip GNSS antene, mjerenu visinu antene i način mjerenja visine.
- Datoteke izvještaja (ASCII ili neki drugi format) izračunatih koordinata točaka s prikazom ocjene točnosti (elipsa pogrešaka). Položajna nesigurnost točke iskazuje se 95% kružnicom povjerenja. Izjednačenjem podataka mjerenja dobiveni su elementi 95% elipse pogrešaka iz koje se računa položajna nesigurnost točke geodetske osnove prema Pravilniku o načinu izvođenja osnovnih geodetskih radova.

3.5. Točnost kontrolnih točaka

Skup kontrolnih točaka – točnost:

- svaki skup kontrolnih točaka treba biti mjeren metodom koja osigurava standardnu devija-

ciju položaja ≤ 3 cm

- isti položajni i visinski datum trebaju biti korišteni za LiDAR snimanje i mjerenje kontrolnih točaka
- mjerenja trebaju biti dokumentirana u izvješću.

3.6. Kontrolni profili

Svaka sistematska pogreška u horizontalnoj ravnini procjenjuje se pomoću parova kontrolnih profila. Postojeći vektorski podaci mogu se koristiti kao kontrolni profili ukoliko imaju zadovoljavajuću točnost. Nakošeni krovovi mogu se koristiti kao kontrolni profili.

Kontrolni profili – broj i raspored:

- jedan par kontrolnih profila sastoji se od profila u smjeru sjever-jug i profila u smjeru istok-zapad
- minimalno 3 kontrolna profila trebaju biti korištena u projektu mjerenja
- profili moraju biti okomiti jedan na drugi kako bi se riješio mogući pomak dE i dN
- isti položajni i visinski datum trebaju biti korišteni za LiDAR snimanje i mjerenje kontrolnih profila
- mjerenja trebaju biti dokumentirana u izvješću.

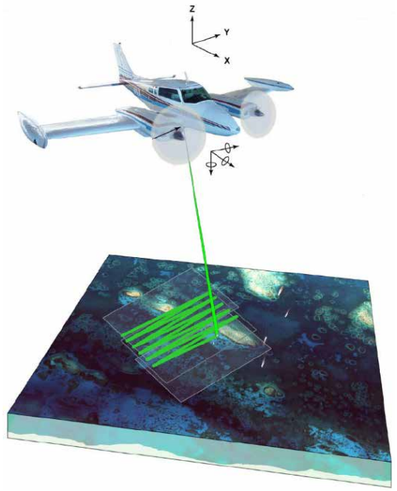
Kontrolni profili – oblik i veličina:

- Kontrolni profili koji se temelje na kosim linijama krova mogu se direktno mjeriti ili izvesti presijecanjem dvije krovne ravnine. Krovna ravnina treba biti određena s najmanje 4 točke.
- Profili terena mogu se koristiti i trebaju biti definirani s najmanje 1 točkom po metru. Ukupna dužina profila – veća od 10 m.
- Nagib na profilu terena treba biti manji od 60˚, a minimalna razlika terena u profilu ne manja od 2 m.

4. SNIMANJE IZ ZRAKA

Postupak izvođenja zračnog LiDAR snimanja obuhvaća:

- odgovarajuća oprema i instrumentarij
- planiranje snimanja tj. izrada projekta LiDAR snimanja i pripremne radnje prije početka snimanja iz zraka
- odobrenje za snimanja iz zraka i korištenje zračnih snimaka i podataka snimanja iz zraka
- ostvareno snimanje iz zraka prema zahtjevima specifikacije
- obrada prikupljenih podataka i izrada snimaka
- isporuka rezultata snimanja iz zraka.



Slika 2: *zračno LiDAR snimanje*

4.1. Oprema i instrumenti

4.1.1. Zrakoplov

Snimanje iz zraka mora se obaviti zrakoplovom koji ima valjani certifikat za obavljanje radova iz zraka izdan od nadležne institucije. U operativnim specifikacijama zrakoplova mora biti navedeno da je zrakoplov certificiran za snimanje iz zraka.

4.1.2. LiDAR skener

Prikupljanje LiDAR podataka treba biti obavljeno punovalnim (full-waveform) ili jednako vrijednim laserskim skenerom Mora se koristiti laserski skener s pravilnim uzorkom skeniranja, promjer mjesta skeniranja (footprint) ne smije biti veći od 0,3 m.

4.1.3. Integrirani sustav GNSS-a s inercijalnim mjernim sustavom (GNSS/INS)

Svi zadaci snimanja iz zraka moraju biti podržani uporabom GNSS/INS ili jednako vrijednim sustavom za pozicioniranje. Istovremeno se najmanje moraju zabilježiti vrijeme mjerenja (GPS Time), svi odjeci signala (echos – najmanje 3), podaci geometrije skeniranja, jačina i širina odjeka signala.

Apsolutne koordinate izmjerene točke na terenu izračunavaju se iz apsolutnog položaja i nagiba dobivenog GNSS/INS sustavom s relativnom udaljenosti i kuta dobivenih LiDAR skenerom. Sva georeferenciranja trebaju biti izvedena u globalnom referentnom koordinatnom sustavu koji koristi GNSS. Inicijalizacija GNSS komponente sustava također je važna za pravilan rad i potrebno je istu provesti neposredno prije polijetanja i u zraku prema tehničkim uputama uređaja. Preračunavanje koordinata u službeni lokalni referentni koordinatni sustav obavlja se kasnije tijekom obrade podataka.

4.2. Kalibracija sustava za zračno LiDAR snimanje

4.2.1. Kalibracija LiDAR skenera

Kalibraciju (umjeravanje) LiDAR sustava za skeniranje u jednom dijelu obavlja proizvođač instrumenta, a u jednom dijelu izvoditelj. Parametri koji se određuju kalibracijom ovise o proizvođaču i vrsti instrumenta.

Kalibracija je podijeljena u tri dijela:

- kalibracija instrumenta od strane proizvođača
- kalibracija instalacije instrumenta od strane izvoditelja
- dnevna kalibracija od strane izvoditelja.

4.2.1.1. Kalibracija instrumenta

Kalibraciju instrumenta obavlja proizvođač skenera. Kalibracija se uobičajeno obavlja u tvornici, ali kalibracija može biti djelomično obavljena i na terenu ukoliko je to potrebno. Frekvencija za kalibraciju instrumenta ovisi o vrsti skenera.

Primjer parametara određenih tijekom kalibracije instrumenta:

- udaljenost i kutovi između različitih koordinatnih sustava unutar LiDAR sustava
- vrijednosti pomaka za mjerene udaljenosti (fiksna pogreška sata)
- tablični prikaz korekcija udaljenosti za različite intenzitete povratnog signala (kada je primjenjivo)
- korekcijski parametri za mjerenja kuta koji su dobiveni od skenera
- izračunate vrijednosti vremenskog kašnjenja za različite komponente sustava.

Kalibracija instrumenta:

- izvoditelj snimanja treba dati opis postupaka kalibracije instrumenta koje je proveo proizvođač
- izvoditelj snimanja treba dokumentirati trenutnu kalibraciju instrumenta.

4.2.1.2. Kalibracija instalacije

Za svaku primjenu sustava mora se obaviti kalibracija instalacije instrumenta uključujući sljedeće parametre:

- udaljenost između GNSS antene i središnje referentne točke (CRP – Central Reference Point) u referentnom sustavu LiDAR skenera
- instalacija se mora ispitati u zraku kako bi se provjerilo da li je kalibracija instalacije ispravna. Ukoliko to nije zadovoljeno, treba primijeniti korektivne mjere.

Kalibracija instalacije:

- kalibraciju instalacije treba obaviti najmanje jednom godišnje
- kalibraciju instalacije treba obaviti ukoliko se instalacija promijeni
- izvoditelj treba dokumentirati trenutnu kalibraciju instalacije.

4.2.1.3. Dnevna kalibracija

Dnevna kalibracija odnosi se na sam let. Prikupljeni podaci u nizovima poprečnih presjeka mogu se koristiti za dnevnu kalibraciju. Uobičajeni parametri koji se trebaju riješiti su kutne udaljenosti između različitih koordinatnih sustava skenera i parametara korekcije sustava za mjerenje kutova skenera.

Dnevna kalibracija:

- dnevna kalibracija treba biti obavljena računanjem preostalih kutnih udaljenosti i korekcijskih parametara za skener koji se koristi. Ukoliko te vrijednosti pokazuju neslaganja, treba primijeniti korektivne mjere.

4.3. Planiranje snimanja iz zraka

Snimanje iz zraka državnog područja Republike Hrvatske mogu obavljati pravne i fizičke osobe registrirane za djelatnost snimanja iz zraka. Odobrenje za snimanje iz zraka donosi Državna geodetska uprava temeljem podnesenog zahtjeva. Odmah po obavljenom snimanju, a najkasnije u roku od osam dana od završetka snimanja svi materijali se trebaju dostaviti na pregled Državnoj geodetskoj upravi. Iznositi iz Republike Hrvatske ili razmjenjivati putem interneta mogu se isključivo zračni snimci i podaci snimanja iz zraka koji su pregledani i odobreni od strane Povjerenstva za pregled zračnih snimaka.

Na temelju podataka o području koje će biti obuhvaćeno mjerenjem, zahtijevane gustoće točaka i položaja terenskih orijentacijskih i kontrolnih točaka izrađuje se plan leta i dostavlja na ovjeru.

4.3.1. Projekt zračnog LiDAR snimanja

Zadaća i odgovornost izvoditelja je da prije početka snimanja iz zraka planiranim letom i planiranim karakteristikama snimanja dokaže da će zadovoljiti zahtjeve postizanja kvalitete konačnog proizvoda definiranima specifikacijom i projektnim zadatkom.

- Svi pripremni radovi za prikupljanje LiDAR podataka i osiguravanja potrebne kvalitete su odgovornost i zadaća izvoditelja, uključujući: mjerenja kontrolnih točaka i područja kalibracije, nužnih općih i specifičnih dozvola za let i snimanje, uzimajući u obzir ograničenja leta, plan leta, osiguravanje raspoloživosti osoblja, materijala i infrastrukture.
- Laserski skener mora biti kalibriran tako da ispunjava postavljene zahtjeve točnosti. Postupak kalibracije treba biti dokumentiran. Dokumentacija treba biti dostavljena naručitelju.
- Svi tehnički parametri koji se odnose na upotrebu laserskog skenera moraju biti precizno definirani i dokumentirani te dostavljeni naručitelju za postupke kontrole kvalitete.

Projekt zračnog LiDAR snimanja isporučuje se kao prilog zahtjeva za odobrenje snimanja iz zraka. Plan snimanja te broj i položaj KT ovisi o tehnološkim rješenjima, opremi, metodama i alatima koje će izvoditelj koristiti u naknadnim procesima proizvodnje. Plan leta označava nizove mjerenja i detaljno opisuje parametre LiDAR sustava za skeniranje, visinu i brzinu leta mjerenja područja zadatka. Plan leta treba zadovoljavati zahtjeve kao što su gustoća točaka, apsolutna točnost i raspored terenskih orijentacijskih i kontrolnih točaka. Utjecaji kao što su očekivana gustoća vegetacije, topografija i specifikacije skenera trebaju biti uzeti u obzir. Plan leta treba biti iscrtan s obuhvatom zadatka, stvarnim planom leta i terenskim orijentacijskim i kontrolnim točkama u vektorskom SHP i DGN/DWG formatu.

Plan leta LiDAR mjerenja treba minimalno uključiti sljedeće:

- čitljivu topografsku kartu u pozadini
- prikazane planirane nizove snimanja s očekivanim obuhvatom niza, preklapanje nizova i jedinstvenu ID oznaku niza. Minimalno preklapanje nizova zračnog LiDAR snimanja s obzirom na varijacije terena i turbulencije ne smije biti manje od 30%. Planirani nizovi mjerenja za snimanje Republike Hrvatske trebaju biti prikazani s očekivanim obuhvatom za pojedini niz s linijama koje označavaju preklapanje i jedinstvenim identifikacijskim (ID) brojem niza.
- presijecanje nizova
- planirane orijentacijske i kontrolne točke s područjem valjanosti
- tablični prikaz ukupnog broja nizova snimanja, ukupne duljine nizova snimanja i procijenjenog vremena leta uključujući zaokrete
- parametre LiDAR skenera.

Parametri LiDAR skenera:

- vrsta instrumenta (proizvođač i tip)
- zračna platforma (zrakoplov)
- broj zraka i broj laserskih izvora
- područje obuhvata
- frekvencija ponavljanja impulsa (ukupno za sve zrake)
- frekvencija skenera
- broj impulsa (ukupno)
- gustoća točaka (nadir)
- gustoća točaka (prosjek)
- maksimalna udaljenost između točaka uzdužnih linija
- maksimalna udaljenost između točaka poprečnih linija
- brzina leta
- visina leta.

4.3.2. Elementi za planiranje snimanja iz zraka

Osnovni elementi za planiranje snimanja iz zraka su:

- područje obuhvata snimanja iz zraka
- gustoća točaka
- karakteristike skenera
- visina leta
- smjer leta
- uzdužni i poprečni preklop nizova
- jedinstvena identifikacija nizova i blokova
- karakteristike GNSS/INS sustava
- očekivano vrijeme leta i uvjeti snimanja
- tehnološko rješenje izvoditelja u procesu proizvodnje.

Izvoditelj je dužan osim navedenih elemenata zadovoljiti i sve ostale moguće elemente planiranja kako bi osigurao traženu točnost i kvalitetu konačnog proizvoda (npr. promjena visine terena, brzina leta, provjera svih uređaja u zrakoplovu i dr.).

4.4. Zahtjevi ostvarenog snimanja iz zraka

Prikupljeni podaci zračnog LiDAR snimanja moraju biti prikladni za izradu digitalnog modela reljefa (DMR) i digitalnog modela površina (DMP) s širinom grida od 1 m za područje Republike Hrvatske. Korišteni skeneri i parametri snimanja moraju biti podešeni tako da se osigura optimalno homogeno snimanje površina i terena.

4.4.1. Uvjeti snimanja

Pri prikupljanju LiDAR podataka moraju se poštivati sljedeći uvjeti okoliša:

- nema snijega

- nema lišća
- vodostaj mora biti srednji do niski.

Laserski podaci prikupljeni tijekom visokih voda i poplava neće biti prihvaćeni. Čak i mala izlijevanja spadaju u pojam poplava. Korito rijeke ili potoka mora biti jasno prepoznatljivo i razgraničeno od drugog područja. Kao prepoznatljiva točka za tu granicu može se uzeti prijelaz između pijeska, šljunka, trske u travnata područja odnosno zimzelena u neposrednoj blizini korita rijeke ili potoka.

Smanjenje kvalitete podataka uzrokovano npr. oblacima, kišom, snijegom, visokim vodostajem, poplavom (veće od 20 m^2) nije prihvatljivo. Bilo koji prepoznati rizik mora se unaprijed raspraviti s naručiteljem.

Za LiDAR prikupljanje podataka koristi se aktivni skener, mjerenje bi trebalo obaviti u rano proljeće, zimu ili kasnu jesen bez snijega i lišća (minimalna vegetacija). Vlaga zraka između skenera i terena može smanjiti jačinu LiDAR signala što će rezultirati manjim ili nikakvim povratom signala od terena. Kako bi se osigurala homogenost rasporeda točaka, LiDAR mjerenja ne bi trebalo obavljati u vjetrovitim ili turbulentnim uvjetima.

LiDAR prikupljanje podataka:

- paralelne linije mjerenja trebaju biti prikupljene u suprotnom položaju (opposite headings) kako bi se olakšalo podešavanje niza (strip adjustment).

Sve informacije u vezi s prikupljanjem podataka moraju se pažljivo bilježiti, dokumentirati i dostaviti u okviru kontrole kvalitete, posebno plan leta, nizovi leta s datumom u vektorskom SHP i DGN/DWG formatu, vremenski uvjeti itd.

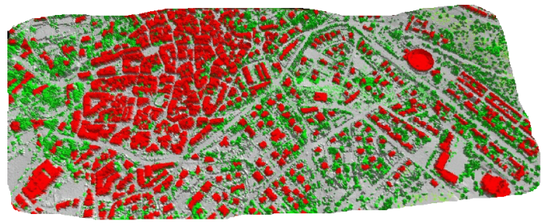
4.4.2. Gustoća točaka

Za određivanje gustoće točaka uzima se u obzir broj odaslanih laserskih impulsa i samo jedan odjek po odaslanom laserskom impulsu (gustoća točaka stvarno prikupljenih točaka). Točke laserskog skeniranja trebaju biti homogeno raspoređene. Stvarna gustoća prikupljenih točaka treba biti dostavljena u obliku podataka rastera 1 x 1 m, kao i obliku histograma gustoće točaka.

Gustoća točaka provjerava se na temelju kontrolnog rastera 1 x 1 m koji se izrađuje pravilnom prostornom podjelom područja snimanja. Prilikom provjere stvarno prikupljenih točaka, vodene površine i stakleni krovovi se ne uzimaju u obzir. Međutim, one moraju biti prikupljene u dovoljnoj mjeri da se mogu modelirati zadovoljavajućom točnosti.

Zahtijevana minimalna gustoća točaka mora biti zadovoljena:

- minimalna gustoća točaka od 4 točke/m^2 u izvan urbanim područjima (nenaseljenim i rjeđe naseljenim mjestima) i minimalna gustoća točaka od 8 točaka/m^2 u urbanim područjima (gradovima i naseljima veće gustoće)
- u područjima prekrivenim šumama (listopadnim i crnogoričnim) minimalna gustoća točaka iznosi 4 točke/m^2
- u urbanim područjima za potrebe izrade 3D modela minimalna gustoća točaka za izradu DMR-a i DMP-a iznosi 8 točaka/m^2.



Slika 3: *DMP – digitalni model površina urbanog područja*

4.4.2.1. Pojašnjenje nedostatka podataka

a) Nedostaci podataka (praznine)

Veći nedostaci podataka (praznine) dopuštene su samo na vodenim površinama ili područjima prekrivenim stijenama. Praznine zbog zaklanjanja visokih zgrada nisu dozvoljene. Praznine ne smiju biti sustavne i bit će provjerene od strane naručitelja. Ukoliko se utvrdi da su pojedine praznine neosnovane, izvoditelj snimanja ih je dužan ispraviti. Praznine i objekte koji su veći od 20 m^2 koje nisu mogle biti laserski snimljene moraju se identificirati, dokumentirati i prijaviti te prikazati u datoteci shape formata koja se dostavlja naručitelju. Praznine uzrokovane vodom u bazenima nije potrebno dokumentirati.

b) Gustoća točaka zgrada

Podaci svih krovova zgrada moraju biti prikupljeni s definiranom minimalnom gustoćom. Zgrade koje nemaju takvu gustoću točaka moraju se identificirati, dokumentirati i prijaviti te prikazati u datoteci shape formata koja se dostavlja naručitelju. Takve praznine ne smiju biti sustavne.

c) Gustoća točaka šuma

Osim kod tipičnih problematičnih šumskih područja (crnogorične i guste strme šume), udaljenost između točaka na tlu u šumi pri traženoj gustoći točaka od minimalno 4 točke/m^2 ne smije biti veća od 2,5 m. Problematična područja u šumi ili na strmim padinama moraju se identificirati, dokumentirati te prikazati u datoteci shape formata koja se dostavlja naručitelju.

4.4.3. Preklop između nizova

Minimalno preklapanje nizova zračnog LiDAR snimanja s obzirom na varijacije terena i turbulencije ne smije biti manje od 30%.

4.4.3.1. Nizovi presijecanja

Nizovi presijecanja se koriste za dnevnu kalibraciju i povećanje kvalitete podešavanja nizova. Tijekom planiranja leta, treba nastojati zadržati nizove presijecanja okomito na glavne nizove i izbjegavati točke presjeka iznad vodenih površina.

Nizovi presijecanja:

- svi nizovi trebaju biti prekriveni s najmanje nizom presijecanja na 60 km
- za nizove koji su dulji od 40 km, niz presijecanja treba biti na oba kraja niza
- nizovi presijecanja bi trebali imati 90˚ u odnosu na glavne nizove. Najmanji dopušteni kut je 50˚.

4.4.4. Smjer leta

Smjer leta može biti istok – zapad ili sjever – jug ili najbolje popunjeno kako bi poligon bio pokriven.

4.4.5. Identifikacija niza

Identifikacija niza:

- svaki niz treba imati jedinstvenu i smisleno kontinuiranu identifikaciju
- svaki ponovljeni niz treba imati oznaku rednog broja ponavljanja.

Identifikacija niza sastoji se od godine i rednog broja niza (npr: 2022079).
Broj znamenaka rednog broja niza uvijek je 3 tj. 001 – 999.

4.4.6. Visina leta

Iskazuje se nadmorska apsolutna visina leta u metrima.
Odstupanje visine leta od planirane mora biti manje od 5%.

4.4.7. Vrijeme snimanja

Izvoditelj planira približno vrijeme ili epohu snimanja iz zraka.
Izvoditelj mora obavijestiti naručitelja o stvarnom početku i kraju snimanja (početak i završetak procesa snimanja iz zraka kompletnog zadatka).

4.4.8. Prekid niza/kontinuirani nizovi

Snimanja u svakom nizu moraju biti obavljena kontinuirano. Ako vremenski uvjeti ili druge okolnosti sprječavaju kontinuirano snimanje niza, nizovi unutar bloka mogu biti spojeni. U slučaju prekida niza mora postojati preklop od najmanje 100% širine niza između dva niza. Prekid niza ne smije se dogoditi na rubu bloka snimanja ili kod poprečnih nizova. Prekid niza može se dogoditi ako postoje signalizirane točke u području prekida. Ponovno snimanje treba izvršiti čim su vremenski uvjeti prihvatljivi za novi let, ali nakon što je provjereno prethodno snimanje.

4.5. Točnost

Očekuje se najmanje sljedeća točnost pojedinačnih izmjerenih laserskih točaka (na čvrstim, nezaklonjenim objektima tipa zgrade, prometnice i sl., u skladu s poglavljem 4.5.1):

- visinska točnost ±0,1 m
- položajna točnost ±0,2 m.

Izmjerene koordinate točaka (3D) prikazuju se u metrima s najviše 2 decimalna mjesta.
Točnost prikupljenih podataka procjenjuje se pomoću skupova kontrolnih točaka i kontrolnih profila.

Apsolutna točnost oblaka točaka ovisi o sljedećim komponentama:

- GNSS/INS rješenju (položaj i nagib)
- mjerenim udaljenostima i kutu LiDAR skenera
- kvaliteti kalibracije sustava
- kvaliteti podešavanja nizova
- kvaliteti podešavanja visine.

Apsolutna točnost za izvedene proizvode ovisi o sljedećem:

- raspodjela točaka (manje točaka će rezultirati lošijom interpolacijom)
- klasifikacija (pogrešna klasifikacija točaka može dovesti do izrade netočnih proizvoda npr. točke vegetacije klasificirane kao teren).

4.5.1. Objašnjenje točnosti

a) Visinska točnost

Izvoditelj mora obaviti mjerenja tako da slučajnom usporedbom visina laserskih točaka (ima) s kontrolnim visinama točaka (treba) utvrđene razlike budu najmanje u 68% mjerenih ≤ 0,1 m i u najmanje 95% mjerenih točaka ≤ 0,2 m. Ponajprije, ali ne isključivo, visine se uspoređuju na glatkim, gotovo ravnim kontrolnim površinama (npr. sportski tereni, ceste i sl.) na kojima nema ometanja od vegetacije. Razlike (reziduali) između laserski mjerenih i kontrolnih točaka koriste se za računanje točnosti. Sistematski pomak visine kontrolne površine rezultat je srednje vrijednosti reziduala u kontrolnom području.

Lokacije kontrolnih točaka potrebno je fotografirati s položajem stativa i terenskim uvjetima okolnog područja. Orijentacijske točke korištene za kalibraciju ne smiju se koristiti kao kontrolne točke.

b) Položajna točnost

Pogreška položaja određuje se korištenjem obrisnih poligona zgrada ili krovova:

- Obrisni poligoni zgrada: Obrisni poligoni zgrada moraju biti unutar položajne točnosti od ≤ 0,2 m. Zgrade koje nemaju nadstrešnicu se primarno koriste za provjeru položajne točnosti.
- Krovovi: Za provjeru položajne i visinske točnosti pomoću krovova zgrada, poligoni krovova zgrada se određuju terestričkim laserskim skeniranjem vrhova zgrada i rubova krovova visoke točnosti (≤ 0,05 m). Iznos položajne pogreške smije iznositi najviše 0,2 m.

c) Neispravna registracija laserskog skenera i šum.

Izvoditelj mora osigurati da se u isporučenim podacima ne nalaze neispravno registrirani podaci

laserskog skenera npr. točke ispod površine terena ili previsoke točke u oblacima. Šum u podacima mora biti sveden na najmanju mjeru (raspršenje laserskih točaka unutar definirane visinske točnosti na tvrdim površinama poput asfaltiranih cesta, trgova, krovova zgrada...) i ne smije prelaziti zadanu visinsku točnost ±0,1 m. Laserske točke koje se smatraju šumom moraju se odgovarajuće klasificirati (vidi 4.6).

4.6. Klasifikacija laserskih točaka

Klasifikacija laserskih točaka temelji se na kodovima klasa LAS (LASer) formata. Osnovu za filtriranje i klasifikaciju laserskih točaka čine precizno georeferencirani izvorni podaci mjerenja. Pojedinačne laserske točke klasificiraju se ručno ili automatski s ručnim provjerama klasifikacije prema sljedećoj tablici s minimalnom podjelom klasa:

Tablica 2: *Minimalna podjela po klasama*

			Grid modeli (korištene klase)	
LAS klasa	**Opis**	**Obavezna klasa**	**DMR**	**DMP**
0	Neklasificirano (podaci koji nisu procesirani)	X		
1	Neklasificirano (procesirani podaci, koji nisu dodijeljeni nijednoj klasi)	X		
2	Tlo/teren (također točke ispod mostova, nadvožnjaka i sl.)	X	X	X
3	Niska vegetacija	X		X
4	Srednja vegetacija	X		X
5	Visoka vegetacija	X		X
6	Zgrade (krovovi i fasade)	X		X
7	Šum (noise)	X		
9	Vode (također točke voda ispod mostova)	X	X	
17	Mostovi, vijadukti	X		X
	Ukupno	**10 klasa**		

Klasifikacija se kontrolira na cijelom području i ukoliko je potrebno ručno revidira. Nepouzdane točke klasificiraju se u Klasu 1. Najviše 5% svih točaka može biti klasificirano u Klasi 1.

Posebnu pozornost potrebno je posvetiti klasifikaciji struktura terena velike razvedenosti reljefa (grebeni, rubovi, sedla i sl.).

Slika 4: *Razvedenost reljefa Jadranske obale*

Izvoditelj mora osigurati da se u postupku klasifikacije ne uklone značajnije forme terena poput grebena, rubova, sedla, stijena ili brana. Ukoliko postupak automatskog filtriranja podataka stvara pogrešnu klasifikaciju ili praznine u podacima točaka tla (terena), izvoditelj mora klasifikaciju podataka ručno ispraviti. Gubitak formi terena s gustoćom od minimalno 4 točke/m^2 znači kada objekti s površinom od 5 x 2 m na čistini i 10 x 20 m u šumi više ne opisuju točke tla.

Pokretni i privremeni objekti (osobe, auti, vlakovi, autobusi, kranovi, brodovi, itd.) moraju biti u Klasi 1 (neklasificirani). Trajni objekti koji se ne mogu klasificirati u Klase 2 do 17, pripadaju Klasi 1 (neklasificirani). Klasa 7 (šum) uključuje sve točke koje onemogućavaju ispravno modeliranje. Morska obala, zaljevi, uvale, močvare, velika jezera i druga područja koja su pod utjecajem plimnih valova trebaju biti klasificirana kao tlo u što većoj mjeri koliko prikupljeni podaci dopuštaju. Stalni otoci površine 0,4 ha ili veći trebaju biti razgraničeni s vodenim tijelima.

Klasifikaciju treba obaviti u ETRS89 (HTRS96) referentnom koordinatnom sustavu s elipsoidnim visinama. Nakon dovršetka klasifikacije, elipsoidne visine u datotekama u LAS formatu treba preračunati u HTRS96/TM s visinama u HVRS71 sustavu.

Za klasifikaciju laserskih podataka vrijede sljedeći zahtjevi:

Tablica 3: *Zahtjevi za klase točaka*

Klasa (br.)	Opis	Primjeri
Neklasificirano (0)	Ova klasa sadrži sve točke (podatke) na koje nije primijenjen proces ili algoritam klasificiranja.	Potrebno za kompatibilnost alata za obradu LiDAR podataka.
Neklasificirano (1)	Ova klasa sadrži sve točke koje ne pripadaju niti jednoj drugoj klasi. Radi se o privremenim objektima ili trajnim objektima koji nisu obuhvaćeni drugim klasama.	Privremeni objekti: šatori, gradilišta, instalacije, kontejneri, privremeni silosi, prijevozna sredstva (brodovi, avioni, automobili, kamioni, tramvaji, poljoprivredna vozila, žičare, ...), građevinske dizalice, ljudi. Trajni objekti: silosi, zidovi, spremnici za vodu, jarboli, krovne antene, ovjesi i kabine žičara, stupovi mostova, osvjetljenja sportskih terena, semafori, skladišta drva, plastenici.
Tlo (2)	Klasifikacija tla mora se obaviti tako da se može stvoriti najbolji mogući precizni digitalni model reljefa (DMR).	Tlo, umjetno nepomično tlo (betonirano, asfaltirano), stijene, navozi, kameni blokovi, šljunak, hrpe šljunka, brda pijeska.
Niska vegetacija (3)	Ova klasa sadrži sve točke koje se odnose na nisku vegetaciju.	< 0,3 m visine iznad tla.
Srednja vegetacija (4)	Ova klasa sadrži sve točke koje se odnose na srednju vegetaciju.	Od 0,3 m do 2 m visine iznad tla.
Visoka vegetacija (5)	Ova klasa sadrži sve točke koje se odnose na visoku vegetaciju.	Šuma, pojedinačna stabla, vinogradi, voćnjaci, stalno raslinje, itd. > 2 m visine iznad tla.
Zgrade (6)	Ova klasa sadrži krovove zgrada i pripadajuće fasade.	Krovovi zgrada i fasade.

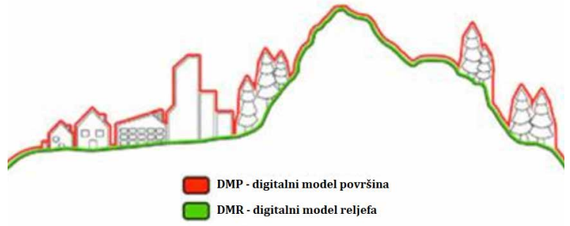
Šum (7)	Ova klasa sadrži pogrešna mjerenja, točke oblaka, točke koje su previsoke ili preduboke.	Oblaci, pogrešna mjerenja.
Vode (9)	Ova klasa sadrži točke voda.	Stajaće vode: lokve, jezera, bare, močvare, bazeni, more, itd. Tekuće vode: rijeka, potok, itd.
Mostovi, vijadukti (17)	Ovoj klasi pripadaju mostovi i vijadukti. Ako se u podacima sadržani stupovi mostova, njihove točke klasificiraju se u Klasu 1.	Mostovi, vijadukti.

5. OBRADA PODATAKA

Svi postupci (algoritmi) obrade koji se koriste za obradu laserskih točaka, klasifikaciju laserskih točaka i izradu grid proizvoda moraju biti detaljno opisani, dokumentirani i dostavljeni naručitelju u okviru kontrole kvalitete.

Da bi se osigurala gustoća točaka u skladu s specifikacijama, izvoditelj treba izraditi i isporučiti preglednu kartu s prostornom gustoćom rastera 1 x 1 m. Karta gustoće točaka izračunava se na temelju rezultata mjerenja odnosno klasificiranih originalnih podataka.

Za izradu DMR grida koriste se isključivo LiDAR točke klasificirane u Klasi 2. Za izradu DMP grida koriste se LiDAR točke klasificirane u Klase 2, 3, 4, 5, 6, 17 (poglavlje 4.6).



Slika 5: *DMR - digitalni model reljefa i DMP - digitalni model površina*

5.1. Sparivanje točaka u oblaku

Da bi se postigla tražena točnost potrebno je obaviti podešavanje nizova. Podešavanje nizova izračunava i ispravlja sistematske i slučajne pogreške između nizova leta koji stvaraju oblak točaka. Sparivanje točaka u oblaku sastoji se od dvije komponente: dnevne kalibracije i podešavanja nizova.

5.1.1. Dokumentacija dnevne kalibracije

Dnevna kalibracija temelji se na kalibraciji skenera i odnosi se na svaku pojedinačnu sesiju prikupljanja podataka. Tijekom dnevne kalibracije izračunava se preostala kutna razlika između unutarnjeg koordinatnog sustava skenera i faktora korekcije za mehaniku skenera.

Dokumentacija dnevne kalibracije:

- opis metode koja se koristi za dnevnu kalibraciju
- prikaz parametara kalibracije prije i poslije korekcije
- zapažanja u svezi dobivenih rezultata.

5.1.2. Podešavanje nizova

Nakon dovršetka dnevne kalibracije mogu se uočiti odstupanja između različitih nizova leta. Podešavanje nizova treba biti obavljeno korištenjem svih nizova leta i poprečnih nizova.

Izvješće o podešavanju niza:

- opis metode koja se koristi za podešavanje niza
- određivanje parametara korekcije za liniju leta sa standardnom devijacijom prije i poslije primjene korekcije
- zapažanja u svezi dobivenih rezultata.

5.2. Kontrola kvalitete oblaka točaka

Podešavanje nizova i drugi izvori pogrešaka doprinijet će ukupnoj sistematskoj pogrešci oblaka točaka:

- kvaliteta GNSS/INS rješenja
- preostale pogreške podešavanja nizova
- vremenski uvjeti (npr. tlak, temperatura)
- kalibracija instrumenata.

Ova sistematska pogreška je ublažena korištenjem skupa kontrolnih točaka za podešavanje u visinskom smislu i kontrolnih profila za podešavanje u položajnom smislu.

5.2.1. Podešavanje u visinskom smislu

Skupovi kontrolnih točaka koriste se za određivanje mogućih sistematskih pogrešaka u visinskom smislu. Analiza treba biti obavljena korištenjem svih LiDAR klasa osim šuma signala (za analizu se koriste elipsoidne visine). Ukoliko jedan ili više skupova kontrolnih točaka pokazuju značajne razlike u odnosu na srednju vrijednost (promjena terena, pogreške u mjerenim podacima) takav skup kontrolnih točaka treba biti izuzet iz zajedničkog podešavanja u visinskom smislu. U tom slučaju izvoditelj radova treba obrazložiti naručitelju razlog i utjecaj uklanjanja prije isporuke. U tom slučaju možda će postojati potreba za dodatnim skupovima kontrolnih točaka. Izvješće o podešavanju u visinskom smislu:

- opis metode koja se koristi za podešavanje u visinskom smislu
- izvješće o provedenim računanjima vezanim uz podešavanje u visinskom smislu
- izvješće o primjeni vrijednosti vezanih uz podešavanje u visinskom smislu
- samo jedno podešavanje u visinskom smislu može biti primijenjeno za blok mjerenja
- konačna sistematska pogreška u visinskom smislu treba biti prikazana po skupu kontrolnih točaka, kao i u tablici koja prikazuje sve skupove kontrolnih točaka
- zapažanja u svezi dobivenih rezultata
- oznake skupova kontrolnih točaka trebaju biti iste u izvješćima za planiranje, mjerenje i podešavanje.

5.2.2. Provjeravanje u položajnom smislu

Točnost u položajnom smislu ocjenjuje se pomoću kontrolnih profila. izvoditelj treba ocijeniti razliku u položajnom smislu između kontrolnih profila i oblaka točaka te navesti zapažanja u svezi dobivenih rezultata.

Izvješće o provjeri u položajnom smislu:

- opis metode koja se koristi za podešavanje u položajnom smislu
- tablica razlika između kontrolnih profila i oblaka točaka u položajnom smislu
- zapažanja u svezi dobivenih rezultata
- oznake skupova kontrolnih točaka trebaju biti iste u izvješćima za planiranje i mjerenje.

5.2.3. Homogenost oblaka točaka

Nakon primjene svih korekcija prikaz homogenosti oblaka točaka treba biti izrađen na način da pokazuje razlike između nizova mjerenja i preklapanja između glavnih nizova mjerenja i poprečnih nizova. Prikaz homogenosti treba imati rezoluciju 1 x 1 m i koristiti samo klasifikaciju terena. Visinska razlika (dH) treba biti u metrima.

Homogenost oblaka točaka:

- u svim područjima preklapanja potrebno je izračunati razliku dH između linija leta i poprečnih linija
- rezultati se trebaju prikazati izradom Tiff/TFW grida 1 x 1 m koji slijedi istu podjelu kao i glavna isporuka oblaka točaka
- grid treba sadržavati dH vrijednosti bez primjene ikakve palete boja
- zapažanja u svezi dobivenih rezultata.

5.3. Klasifikacija oblaka točaka

Klasificirani oblak točaka je korigirani (nagibi) i georeferencirani (položaj) oblak točaka u kojem je svakoj točki dodijeljena pripadnost pojedinoj klasi (definirane u poglavlju 4.6). Svaka točka u oblaku točaka treba biti klasificirana prema klasama definiranim u poglavlju 4.6. Kako bi se osigurao pouzdan krajnji proizvod, izvoditelj treba obaviti ručnu provjeru automatiziranih postupaka klasifikacije koji se koriste u obradi oblaka točaka.

5.3.1. Analiza pogrešaka

Sirovi podaci LiDAR oblaka točaka uključivat će točke opterećene pogreškama koje su uzrokovane utjecajem atmosfere, višeznačnim povratom signala ili pogreškom detekcije posljednjeg povratnog impulsa terena. Analiza pogrešaka uključuje automatiziranu i vizualnu kontrolu kvalitete.

5.3.2. Klasifikacija terena

Klasifikacija terena razdvaja sve povratne impulse terena od ostalih točaka oblaka. Ovaj postupak se prvenstveno provodi pomoću automatizirane klasifikacije, nakon čega slijedi ručna procjena.

5.3.3. Klasifikacija drugih objekata

Za klasifikaciju drugih objekata (mostovi, zgrade) postojeći podaci u vektorskom obliku mogu biti od pomoći u tim postupcima.

Klasifikacija objekata:

- izvoditelj treba dokumentirati metode i programsku opremu korištenu za analizu grubih pogrešaka (outliers)
- izvoditelj treba dokumentirati metode i programsku opremu korištenu za automatizirano razvrstavanje i klasifikaciju točaka na zemlji
- ručni pregled razvrstavanja i klasifikacije treba biti obavljen kako bi se osiguralo da su sve rutine za automatizirano razvrstavanje i klasifikacije ispravne.

5.4. Pregled zračnih snimaka u svrhu kontrole područja posebnih interesa za Republiku Hrvatsku

Izvoditelj snimanja pri obradi podataka mora poštovati zakone i propise Republike Hrvatske koji se odnose na zaštitu vojnih i drugih objekata posebno važnih za obranu. Iz obrambeno sigurnosnih razloga neki objekti ne smiju biti prikazani na krajnjim proizvodima klasificiranih izvornih podataka LiDAR snimanja i DMP-a. Kriteriji za prikaz objekata dani su u Uputi o načinu prikazivanja i provođenja zaštite vojnih i drugih objekata posebno važnih za obranu na kartografskim proizvodima. Listovi isporuke koji sadrže štićene objekte izrađuju se u dvije verzije, od kojih se verzija s izmijenjenim sadržajem isporučuje zajedno s ostalim listovima isporuke, a listove sa štićenim sadržajem (nepromijenjenim) isporučuje se na zasebnom mediju uz prethodni dogovor s Državnom geodetskom upravom.

5.5. Isporuka rezultata snimanja iz zraka

Jednoznačno definiranje rezultata rada prilikom snimanja iz zraka u sadržajnom i tehničkom smislu prikazuje sastavne dijelove koje je izvoditelj obvezan isporučiti u analognom i digitalnom obliku.

Ukoliko ugovorom ili projektnim zadatkom nije definirano i odobreno drugačije, izvoditelj mora isporučiti sljedeće rezultate rada:

- izvješće o snimanju iz zraka
- tablična izvješća
- datoteka ostvarenog snimanja
- GNSS/INS podaci
- digitalni zračni snimci.

Isporuka, struktura i formati opisani su u poglavlju 7 Isporuka.

6. KONTROLA KVALITETE

6.1. Kontrola kvalitete izvoditelja

Prije dostave podataka izvoditelj mora izvršiti kontrolu kvalitete kako bi osigurao da rezultati odgovaraju postavljenim zahtjevima. Kontrole kvalitete moraju biti dostavljene naručitelju u obliku izvješća i odgovarajućeg skupa GIS podataka.

6.2. Kontrola kvalitete i uvjeti prihvatljivosti naručitelja

Nakon dostave podataka naručitelj obavlja kontrolu kvalitete LiDAR mjerenja i proizvoda. Obavljaju se najmanje sljedeće kontrole kvalitete:

- izračun karte gustoće točaka
- provjera odstupanja od planiranih nizova snimanja
- usporedba s postojećim podacima visina
- usporedba sa stalnim točkama mjerenja
- provjera klasifikacije podataka na temelju postojećih vektorskih podataka.

Naknadna provjera klasifikacije cijelog područja zadatka obavlja se korištenjem kontrolne jedinice od 100 x 100 m. Za svaku kontrolnu jedinicu vrijedi sljedeće:

- maksimalno 3% točaka Klase 3, 4 ili 5 može biti dodijeljeno Klasi 6
- maksimalno 3% točaka Klase 6 može biti dodijeljeno Klasi 3, 4 ili 5
- niti jedna klasa ne smije sadržavati više od 5% pogrešno klasificiranih točaka.

Proizvodi i podaci koji ne zadovolje kontrolu kvalitete bit će dostavljeni izvoditelju na ispravak.

7. ISPORUKA

Svi isporučeni podaci moraju biti u skladu sa zahtjevima ove specifikacije ili uputama definiranima ugovorom ili projektnim zadatkom.
Izvješća i zapisi podataka moraju biti izrađeni kako bi se dobio jasan i jednoznačan pregled svih postupaka izvođenja radova u okviru jednog zadatka te da se omogući neovisno ponavljanje radova, obradu podataka, analizu, kontrolu i korištenje podataka. Svaka isporuka podataka mora proći internu kontrolu kvalitete izvoditelja, te mora biti najavljena i dogovorena s naručiteljem.

7.1. Podaci za isporuku

Izvorni LIDAR podaci u obliku „full-waveform" i rezultati obrade podataka moraju biti isporučeni na vanjskom tvrdom disku (diskovima) koji nakon dostave postaje vlasništvo naručitelja i ne vraća se izvoditelju. Za sve LiDAR podatke sukladno ovim specifikacijama, trebaju za svaki blok biti isporučeni sljedeći proizvodi:

- izvorni podaci LiDAR snimanja u LAZ formatu
- sve točke LiDAR snimanja u LAS formatu (Ovaj proizvod sadrži kompletan georeferencirani skup podataka nakon obrade podataka i stoga će sadržavati različite klase. Točke se ne smiju uklanjati u preklapanju između linija mjerenja. Isporuka treba sadržavati područje širine

100 m izvan svakog pojedinog bloka).

- prikaz analize homogenosti
- prikaz analize gustoće
- metapodaci
- izvješća
- digitalni model reljefa (DMR) u Tiff/TFW formatu
- digitalni model površina (DMP) u Tiff/TFW formatu.

Tablica 4: *Podaci za isporuku*

Proizvod	Model/Format	Koordinatni sustav/ Ravninska projekcija/ Visinski sustav
Nefiltrirani izvorni podaci LiDAR snimanja	• LAS format X, Y, Z, intenzitet, broj povrata, oznaka smjera skeniranja, rub niza leta, kut skeniranja, GPS vrijeme. Podijeljeno na područja sukladno podjeli na listove 1:2000.	HTRS96 (h)
Klasificirani izvorni podaci laserskog mjerenja	• LAS format X, Y, Z, intenzitet, broj povrata, oznaka smjera skeniranja, rub niza leta, kut skeniranja, GPS vrijeme, klasifikacija prema poglavlju 4.6. Podijeljeno na područja sukladno podjeli na listove 1:2000.	HTRS96 (h) HTRS96/TM (HVRS71) (izrađuju se i isporučuju nakon isporuke izvornih podataka u HTRS96)
DMR grid 1 m	• Tiff/TFW Podijeljeno na područja sukladno podjeli na listove 1:2000.	HTRS96 (h) HTRS96/TM (HVRS71) (izrađuju se i isporučuju nakon isporuke izvornih podataka u HTRS96)
DMP grid 1 m	• Tiff/TFW Podijeljeno na područja sukladno podjeli na listove 1:2000.	HTRS96 (h) HTRS96/TM (HVRS71) (izrađuju se i isporučuju nakon isporuke izvornih podataka u HTRS96)
Plan leta i nizovi leta	• SHP i DGN/DWG format	HTRS96 (h)
Karta gustoće izvornih laserskih podataka (DMR)	• Tiff/TFW • Rezolucija 1 x 1 m	HTRS96 (h)
Karta gustoće izvornih laserskih podataka (DMP)	• Tiff/TFW • Rezolucija 1 x 1 m	HTRS96 (h)
Karta homogenosti izvornih laserskih podataka (DMR)	• Tiff/TFW	HTRS96 (h)
Karta homogenosti izvornih laserskih podataka (DMP)	• Tiff/TFW	HTRS96 (h)
Praznine podataka (DMR)	• Shape datoteka • Po područjima snimanja	HTRS96 (h)
Praznine podataka (DMP)	• Shape datoteka • Po područjima snimanja	HTRS96 (h)
LiDAR „full-waveform“ podaci	• Za svaki niz leta u LAZ ili SDF (signed distance fields)	HTRS96 (h)

HTRS96 (h) – treba biti tumačeno kao EPSG:4889 s elipsoidnim visinama u ETRS89.
HTRS96/TM (HVRS71) – treba biti tumačeno kao EPSG:3765 s visinama u HVRS71 (EPSG: 5610).
Nazivi datoteka koje su podijeljene na područje listova, trebaju sadržavati u svome nazivu nomenklaturu lista 1:2000 u HTRS96/TM.

7.1.1. Dokumenti i izvješća vezani uz isporuku podataka

Izvoditelj će dostavljati sljedeće dokumente:

- Tehničko izvješće u analognom i digitalnom obliku. Izvješće treba sadržavati opis svih koraka i procesa prikupljanja i obrade podataka, programa korištenih za obradu LiDAR podataka, njihovu klasifikaciju i izradu proizvoda.
- Svi dokumenti služe za dokazivanje kvalitete obrađenih LiDAR podataka.
- Posebno su važni dokumenti koji dokazuju postignutu visinsku i položajnu točnost, postignutu gustoću točaka, kvalitetu klasifikacije laserskih točaka i grid proizvoda DMR i DMP;
    - karta gustoće točaka (rezolucija 1 x 1 m)
    - razlika modela visina nizova za područja preklapanja nizova
    - dokaz o točnosti visina i položaja dobiven za kontrolna područja korištenjem terenskih mjerenja.
- Privremena izvješća i izvješća o isporukama tijekom izvođenja radova.

7.1.2. Format podataka

Obrađeni skupovi podataka trebaju biti isporučeni u LAS formatu. LAS datoteke treba komprimirati u LAZ format korištenjem aktualne verzije LASzip programa (https://laszip.org/). Svi atributi navedeni u LAS formatu, zaglavlje i oblak točaka, trebaju biti uključeni u isporuku. GPS vrijeme treba biti standardno GPS vrijeme. Vrijednosti jačine signala/impulsa trebaju biti isporučene za sve točke povratka registrirane u LiDAR sustavu.

7.1.3. Izvješća

Izvoditelj provjerava cjelovitost i točnost podataka odmah nakon snimanja te o tome izvještava naručitelja tjedno putem elektroničke pošte od dana potpisa ugovora:

- vremenska razdoblja i područja snimanja
- status i stanje obrade podataka korištenjem grafičkog prikaza koji prikazuje snimljeno područje zadatka.

Izvoditelj izvještava naručitelja o svim nedostacima i rizicima čim mu budu poznati npr. podatkovne praznine, kvarovi na mjernoj opremi i skeneru i sl.
Izvješće LiDAR mjerenja treba najmanje sadržavati elemente navedene u tablici.

***Tablica 5**: Sadržaj izvješća*

Kategorija	Element	Sadržaj
Opće informacije	Naručitelj	(adresa, voditelj projekta)
	Projekt	(naziv projekta)
	Referentni broj naručitelja	
	Izvoditelj	(adresa, voditelj projekta, tehnički voditelj projekta, podizvditelji)
	Opis projekta	(proizvodi, područje obuhvata, tehnički standardi, moguće promjene u odnosu na ugovor)
	Broj primjeraka izvješća	

	Datum i potpis	
Izvješće o mjerenju	Skupovi kontrolnih točaka	
	Kontrolni profili	
Prikupljanje podataka	Zračna platforma	(podaci o zrakoplovu, tip, proizvođač)
	Podaci o skeneru	• LiDAR (proizvođač, tip, serijski broj, broj revizije, kalibracija) • žiro platforma (proizvođač, tip) • GNSS (proizvođač, tip, serijski broj, interval registracije podataka) • INS (proizvođač, tip, serijski broj, interval registracije podataka) • podaci i opis mjerenja instalacije skenera i instrumentarija na zračnu platformu • kalibracija instrumenata • opis postupaka GNSS/INS inicijalizacije

	Početak mjerenja	• datum kada je naručitelj dao odobrenje za početak mjerenja • potvrda ugovaratelja o odobrenju za početak mjerenja
	Tijek mjerenja	• tablični prikaz obavljenih mjerenja nizova snimanja za svaki dan
	Vremenski uvjeti	Opis općih vremenskih uvjeta tijekom prikupljanja podataka. U slučaju nepovoljnih vremenskih uvjeta izvijestiti koji su nizovi snimanja obuhvaćeni.
	Problemi	Opisati probleme koji su se pojavili tijekom prikupljanja podataka: • opis problema • način na koji je problem riješen • opis utjecaja problema na prikupljene podatke ukoliko ih ima
	Realizacija	Dati sažetak obavljenih mjerenja i kvalitete prikupljenih podataka.
Obrada podataka	GNSS/INS	• datum obrade • program (proizvođač, verzija) • korištena metoda za naknadnu obradu • primijenjena metoda za transformaciju • način preračunavanja visina • sažeti prikaz rezultata
	Sparivanje oblaka točaka	
	Kontrola kvalitete oblaka točaka	
	Homogenost oblaka točaka	
	Klasifikacija oblaka točaka	

Isporuka	Specifikacija proizvoda	Važeća specifikacija proizvoda
	Isporuka	Lista isporuke svih isporučenih podataka, metapodataka i izvještaja: • format isporučenih podataka, način isporuke (medij) i struktura direktorija • korištene jedinice u dokumentu (koordinate, rotacije, udaljenosti...)

Sva izvješća trebaju biti dostavljena u analognom i digitalnom PDF formatu na hrvatskom jeziku.

7.1.4. Struktura direktorija za isporuku

Za svaki blok i svaki referentni sustav, podaci LiDAR mjerenja trebaju biti isporučeni poštujući sljedeću strukturu direktorija:

RH-BLOK-Referentni koordinatni sustav:

- \LAZ
- \LAS
- \Metapodaci\područje obuhvata i nizovi leta
- \Metapodaci\Izvješće i prilozi
- \Analiza\Gustoća
- \Analiza\Homogenost
- \Analiza\Kontrola kvalitete
- \DMR
- \DMP

7.1.5. Metapodaci

Sljedeći metapodaci trebaju biti generirani za svaki blok mjerenja:

- područje obuhvata mjerenja
- nizovi mjerenja.

Metapodaci trebaju biti isporučeni u HTRS96 s elipsoidnim visinama i HTRS96/TM s ortometrijskim visinama u HVRS71.

7.1.6. Područje mjerenja

Područje mjerenja treba biti prikazano u vektorskom formatu s poligonom prikaza područja obuhvata. Za svaki poligon trebaju biti dostavljeni atributi koji sadržavaju sve specifikacije i parametre mjerenja.
Primjer:

- POLYGON 1
- FeatureTYPE “LidarCoverage”
- CLIENT ”SGA”
- SURVEY_ID ”08777”
- LiDARSTANDARD ”LiDAR-B-DTM10”
- CONTRACTOR ”LiDAR Company”
- BLOCK_ID “2”

7.1.7. Nizovi leta mjerenja

Potrebno je dostaviti datoteku s prikazom svih linija mjerenja. Za svaku liniju mjerenja trebaju biti dostavljeni atributi s podacima visine skenera, datuma i vremena mjerenja, parametre mjernih instrumenata.

Primjer:

- POLYLINE 1
- OBJTYPE LiDARFlightLine

- SURVEY_ID ”08777”
- SURVEY_FLIGHT_LINE 001
- SURVEY_HEIGHT 1000
- SURVEY_DATE 20080506
- CONTRACTOR ”LiDAR Company”
- SURVEY_INFORMATION:
- LiDAR INSTRUMENTTYPE ”Instrument name – Instrument_ID”
- PULSEFREQUENCY 100000
- SCANNINGANGLE 20
- SCANNINGFREQUENCY 50

8. VLASNIŠTVO MATERIJALA

Svi podaci koji su ili će biti dostavljeni izvoditelju za potrebe izvođenja zadatka mogu se koristiti samo i isključivo za potrebe izvođenja poslova koji su definirani projektnim zadatkom.

Svi podaci koji nastanu kao rezultat provedenih poslova definiranih projektnim zadatkom ostaju u trajnom vlasništvu Državne geodetske uprave.

KONTAKT PODACI:

Državna geodetska uprava
Gruška 20, 10000 Zagreb
Tel: +385 1 6165 404
info@dgu.hr
https://dgu.gov.hr

Grad Zagreb
Trg Stjepana Radića 1, 10000 Zagreb
Tel: +385 1 6101 111 ili s mobitela *111
gradjani@zagreb.hr
https://www.zagreb.hr

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Kačićeva 26, 10000 Zagreb
Tel: +385 1 4639 222
info@geof.unizg.hr
https://www.geof.unizg.hr

Zagreb, svibanj 2022. godine

Za više informacija o EU fondovima posjetite https://strukturnifondovi.hr
Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost Državne geodetske uprave

REPUBLIKA HRVATSKA
Državna geodetska uprava

GRAD ZAGREB

Sveučilište u Zagrebu
GEODETSKI FAKULTET

HRVATSKE VODE

Europska unija
Zajedno do fondova EU

EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDOVI

Operativni program
KONKURENTNOST
I KOHEZIJA

ISBN 978-953-293-911-8