

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MANCA ŽUPEVEC

ANALIZA PODATKOV MISIJE NASA GEDI

DIPLOMSKA NALOGA

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA**

Ljubljana, 2023

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

MANCA ŽUPEVEC

**ANALIZA PODATKOV
MISIJE NASA GEDI**

Diplomska naloga št.:

**NASA GEDI MISSION
DATA ANALYSIS**

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

prof. dr. Krištof Oštir

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

asist. Ana Potočnik Buhvald

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Krištofu Oštirju, ki mi je s svojim pristopom in strokovnostjo vzbudil zanimanje za tovrstno področje. Posebna zahvala gre so mentorici asist. mag. Ani Potočnik Buhvald za prijaznost, pomoč, ter usmerjanje tekom izdelave zaključnega dela.

Zahvaljujem se Zavodu za gozdove Slovenije in dr. Andreju Koblerju iz Gozdarskega inštituta Slovenije za posredovane podatke.

Zahvalo namenjam družini za potrpežljivost in podporo, še posebno sestri Nataliji in njenemu soprogu Alexandru.

Navsezadnje gre zahvala tudi sošolcem, prijateljem in sovrstnikom, ki so me tekom študija spremljali in brez katerih bi bil študij veliko težji.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.8.044.6:633/635.055(043.2)
Avtor: Manca Župevec
Mentor: prof. dr. Krištof Oštir, univ. dipl. fiz.
Somentor: asist. Ana Potočnik Buhvald, mag. inž. geod. geoinf.
Naslov: Analiza podatkov misije NASA GEDI
Tip dokumenta: diplomska naloga
Obseg in oprema: 53 str., 5 pregl., 66 sl., 1 pril., 39 vir.
Ključne besede: GEDI, lidar, valovna dolžina, višine krošenj, vertikalna struktura gozda, geolokacija

Izvleček

Misija NASA GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) zagotavlja visokokakovostne meritve vertikalne strukture gozdov. Diplomska naloga zajema pregled podatkov, preverbo kakovosti, odstranitev slabih podatkov, izpeljavo GEDI produktov stopnje obdelave L2A in L2B, kot so višina krošenj, nadmorska višina, meritve RH, indeks listne površine in gostota prostornine vegetacije ter pretvorbo v primeren format (GeoJSON), ki omogoča analizo v odprtokodnem programu QGIS. V QGIS-u so podatki grafično prikazani. Nazadnje je izvedena primerjava višin krošenj GEDI s podatki Zavoda za gozdove Slovenije ter Gozdarskega inštituta Slovenije. Na podlagi razlik smo ocenili uporabno vrednost globalnega podatkovnega niza GEDI na ozemlju Slovenije.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.8.044.6:633/635.055(043.2)
Author: Manca Župevec
Supervisor: Prof. Krištof Oštir, PhD
Co-supervisor: Assist. Ana Potočnik Buhvald, MSc
Title: NASA GEDI Mission Data Analysis
Document type: Graduation Thesis
Notes: 53 p., 5 tab., 66 fig., 1 ann., 39 ref.
Keywords: GEDI, lidar, waveform, canopy height, vertical structure of the forest, geolocation

Abstract

The NASA GEDI (Global Ecosystem Dynamics Investigation) mission provides high-quality measurements of vertical forest structure. The thesis includes data overview, quality verification, removal of poor data, derivation of GEDI Level 2A and 2B products such as canopy height, elevation, RH measurements, leaf area index, and vegetation volume density, followed by conversion into an appropriate format (GeoJSON) for analysis in the open-source QGIS software. In QGIS, the data is visually represented. Lastly, a comparison between GEDI canopy heights and data from the Slovenian Forestry Institute and the Slovenian Forestry Research Institute is conducted. Based on the differences, the practical utility of the global GEDI dataset on Slovenian territory is assessed.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

POPRAVKI – ERRATA.....	I
ZAHVALA.....	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
KAZALO SLIK.....	XI
KAZALO PREGLEDNIC	XV
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS	XVII
1 UVOD	1
1.1 Namen in cilji naloge	2
1.2 Struktura naloge	2
2 NASA GEDI.....	3
2.1 Misija NASA GEDI	3
2.2 Delovanje instrumenta GEDI	3
2.2.1 Zgradba instrumenta GEDI	7
2.2.2 Orbita ISS in njen vpliv na delovanje instrumenta	8
2.3 Kalibracija in validacija podatkov.....	10
2.4 Shranjevanje in dostop do podatkov.....	11
2.4.1 LP DAAC.....	11
2.4.1.1 Data Pool.....	12
2.4.1.2 Nasa Earthdata Search.....	13
2.4.1.3 Javne skripte za pripravo podatkov.....	14
2.4.2 ORNL DAAC	14
2.5 Stopnje obdelave podatkov	15
2.5.1 Stopnja obdelave L1	16
2.5.2 Stopnja obdelave L2.....	16
2.5.2.1 Stopnja obdelave L2A	17
2.5.2.2 Stopnja obdelave L2B	18
2.5.3 Stopnja obdelave L3	19
2.5.4 Stopnja obdelave L4.....	20
2.6 Format podatkov GEDI.....	21
2.7 Poimenovanje datotek	21
3 METODOLOGIJA	23

3.1	Pregled in pridobitev podatkov	23
3.1.1	Študijsko območje	23
3.1.2	Izbor in prenos podatkov	24
3.1.2.1	Podatki GEDI	24
3.1.2.2	Podatki o višini krošenj DMK	25
3.2	Obdelava podatkov v obliki Jupyter Notebook	26
3.3	Obdelava podatkov v programu QGIS	26
3.3.1	Prostorska analiza	27
4	ANALIZA REZULTATOV	29
4.1	Obdelava in analiza podatkov v programskem jeziku Python	29
4.1.1	Meritve višin na tleh, v in nad krošnjo ter gostota vegetacije s podatki GEDI	32
4.1.2	GEDI in 3D višinska struktura krošenj	35
4.1.3	Prostorska vizualizacija	37
4.2	Obdelava v QGIS-u	38
4.2.1	Prostorska vizualizacija	38
4.2.2	Prostorska analiza podatkov GEDI	41
4.2.2.1	Prikaz podatkov GEDI in DMK	41
4.2.2.2	Primerjava podatkov GEDI in DMK	44
5	ZAKLJUČEK	47
VIRI		49

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz položaja GEDI instrumenta na mednarodni vesoljski postaji ISS (levo) in japonski modul, kjer se nahaja zlato obarvan GEDI instrument (desno) [11].	3
Slika 2: Konfiguracija zajema podatkov z laserskimi žarki, pri čemer je LASER 1 laser pokritosti ter LASER 2 in LASER 3 laserja polne moči [19].	5
Slika 3: Potek laserskih pulzov in sled na površini [20].	5
Slika 4: Krivulja, ki je obarvana ponazarja valovno obliko in črna krivulja (krivulja meritev RH) (levo), ter odtis impulza s premerom 25 metrov (desno) [18].	6
Slika 5: Zgradba instrumenta GEDI [11].	7
Slika 6: Prikaz vseh 16 orbit ISS in premik orbite za $22,9^\circ$ (rdeča barva) [21].	8
Slika 7: Prikaz orbit na severni polobli z dnevno svetlobo [21].	8
Slika 8: Prikaz prostorskega vzorčenja GEDI raven 3, V2 (od aprila 2019 do januarja 2022), kjer temno modra barva ponazarja nič odtisov, nasprotno rdeča barva prikazuje več kot 120 odtisov.	9
Slika 9: Višina orbite ISS in sicer od začetka izstrelitve instrumenta GEDI ter do konca delovanja misije [22].	9
Slika 10: Neodvisne tehnike zajema prostorskih podatkov, pripadajoče operativne višine ter sled prostorskega vzorčenja. Sled prostorskega vzorčenja ali prostorski odtisi so območja, od katerih se odbija laser lidar tehnologije [23].	10
Slika 11: Dostop do podatkov GEDI znotraj LP DAAC [26].	11
Slika 12: Možna izbira med izdelki [26].	12
Slika 13: Podmape za leto in posamezne dneve (levo) ter iskani produkti (desno) [26].	12
Slika 14: Osnovna stran portala za iskanje podatkov različnih zbirk [27].	13
Slika 15: Zbirka dostopnih ravni GEDI podatkov (levo) in dostopne datoteke oziroma granule izbrane ravni GEDI podatkov (desno) [27].	13
Slika 16: Prikaz razpoložljivih zbirk v ORLN DAAC [24].	14
Slika 17: Prikaz razpoložljivih GEDI zbirk v ORLN DAAC [24].	14
Slika 18: Potek valovne oblike GEDI L1B (levo) in valovna oblika za celoten presek razdalje (desno) [28].	16
Slika 19: Kriteriji, ki morajo biti izpolnjeni za dobro kakovost posnetka [14].	17
Slika 20: Primer izdelka GEDI L2A meritev relativnih višin (RH) [17].	17
Slika 21: Primer izdelka GEDI L2A, meritve RH (levo), k RH meritvam so dodane nadmorske višine (desno) [17].	18
Slika 22: Primer izdelka GEDI L2B, PAI (levo) in PAVD (desno) [30].	18
Slika 23: Primer izdelka GEDI L3; zemeljska površina [31].	19
Slika 24: Primer izdelka GEDI L3; povprečna višina krošenj (RH100) [31].	19
Slika 25: Primer izdelka GEDI L4 pričakovana napoved sloja v mrežnem prikazu [32].	20

Slika 26: Primer izdelka GEDI L4B povprečna nadzemna gostota biomase oziroma AGBD (Aboveground Biomass Density) [32].	20
Slika 27: Provenienčna območja Slovenije [36].	23
Slika 28: Gozdni tipi Slovenije [5].	24
Slika 29: Pokritost območja Slovenije (ROI) z granulami in prenos razpoložljivih granul [27].	25
Slika 30: Virtualni rastrski sloj digitalnega modela krošenj (DMK).	25
Slika 31: Prikaz podatkov NASADEM za pohorsko provenienčno območje v programu QGIS.	26
Slika 32: Prostorska delitev na različne mreže za predstavitev prostorskih podatkov, in sicer: heksagonalna, pravokotna in trikotna mreža [37].	27
Slika 33: Primer podatkovnega okvirja (2841 vrstic $\times$ 5 stolpcev) za opis žarka (BEAM0110).	30
Slika 34: Granula 1 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).	31
Slika 35: Granula 2 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).	31
Slika 36: Granula 3 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).	31
Slika 37: Granula 4 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).	32
Slika 38: Granula 1 (L2B) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).	32
Slika 39: RH prikaz prevzet algoritem za granulo 1 (levo) in granulo 2 (desno).	32
Slika 40: GEDI RH prikaz privzetega algoritma za granulo 3 (levo) in granulo 4 (desno).	33
Slika 41: GEDI L2A meritve RH; 1. granula (levo) in 2. granula (desno).	33
Slika 42: GEDI L2A meritve RH; 3. granula (levo), 4. granula (desno).	34
Slika 43: GEDI L2B granula 1, PAVD.	34
Slika 44: Prikaz višine krošenj (meritve RH) (levo) in nadmorske višine (desno), granula 1.	35
Slika 45: Prikaz višine krošenj (meritve RH) (levo) in nadmorske višine (desno) za granulo 2.	35
Slika 46: Meritve RH (levo) in nadmorske višine (desno), granula 3.	36
Slika 47: Meritve RH (levo) in nadmorske višine (desno), granula 4.	36
Slika 48: Meritve PAVD (L2B), granula 1.	36
Slika 49: Vizualizacija višin krošenj GEDI (levo) in nadmorske višine (desno) v Pythonu.	37
Slika 50: Vizualizacija GEDI PAI v Pythonu.	37
Slika 51: Granule (21) dobre kakovosti na podlagi provenienčnih območij.	38
Slika 52: Pohorska z sekajočimi granulami stopnje obdelave L2A (4).	38
Slika 53: Območje Pohorska z 4. granulami.	39
Slika 54: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 1).	39
Slika 55: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 2).	40

Slika 56: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 3).....	40
Slika 57: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 4).....	40
Slika 58: GEDI višine dreves (RH100).	41
Slika 59: GEDI višine dreves (RH98).	42
Slika 60: Povprečne višine dreves DMK.	43
Slika 61: Maksimalne višine dreves DMK.	43
Slika 62: Podroben pregled atributov naključnega heksagona.	44
Slika 63: Razlika med povprečnimi višinami DMK in RH100.	45
Slika 64: Razlika med maksimalnimi višinami DMK in RH100.....	45
Slika 65: Razlika med povprečnimi višinami DMK in RH98.	46
Slika 66: Razlika med maksimalnimi višinami DMK in RH98.	46

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam laserjev polne moči in laserjev pokritosti [17].	4
Preglednica 2: Tehnični podatki in specifikacije instrumenta GEDI.	7
Preglednica 3: Javno dostopni GEDI podatki, njihov opis, arhivska lokacija in oblika zapisa [4].	15
Preglednica 4: Granule L2A, preverjene na podlagi kakovosti.	29
Preglednica 5: Izbrani posnetek granul.	30

»Ta stran je namenoma prazna.«

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI / ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

AGBD	Above Ground Biomass Diversity – vegetacijska struktura površja
ALS	Airborne Laser Scanning – zračno lasersko skeniranje
BDU	Beam Dilther Units – enote za nihajni premik snopov
CCF	Canopy Cover Fraciton Profile – profil pokrova krošnj
CHM	Canopy Height Model – digitalni model krošenj (DMK)
EROS	Earth Resources Observation and Science Center – center za opazovanje in znanost o zemeljskih virih
GEDI	Global Ecosystem Dynamics Investigation – raziskava dinamike globalnega ekosistema
GeoTIFF	Geo Tagged Image File Format – podatkovni format
GLONASS	Global Navigation Satellite System – ruski sistem za globalno satelitsko navigacijo
GPS	Global Positioning System – ameriški globalni sistem za določanje položaja
HDF5	Hierarchical Data Format version 5 – hierarhični podatkovni format verzije 5
ICS	Inter-Orbit Communication System – sistem medorbitne komunikacije
ISS	International Space Station – mednarodna vesoljska postaja
JEM-EF	Japanese Experiment Module (Exposed Facility) – japonski eksperimentalni modul (izpostavljeni objekt)
LiDAR	Laser Imaging Detection and Ranging – lasersko snemanje, zaznavanje in merjenje razdalj
LP DAAC	Land Process Distributed Active Archive Center – aktivni arhivski in distribucijski center za zemeljske procese
LVIS	Land, Vegetation, and Ice Sensor – senzor zemlje, vegetacije in ledu
NASA	National Aeronautics and Space Administration – Nacionalna uprava za aeronavtiko in vesolje
NASADEM	NASA Digital Elevation Model – Nasin digitalni model reliefa
NIR	Near Infrared – bližnje infrardeča
ORLN DAAC	Oak Ridge National Labratory Distributed Active Archive Center – distribucijski aktivni arhivski center Oak Ridge National Laboratory
PAI	Plant Area Index – indeks listne površine
PAVD	Plant Area Volume Density – gostota prostornine rastlinja
ROI	Region Of Interest – območje zanimanja
TLS	Terrestrial Laser Scanning – terestrično lasersko skeniranje
USGS	United States Geological Survey – Center za geološke raziskave ZDA
WGS84	World Geodetic System – svetovni geodetski sistem iz leta 1984
WMS	Web Map Service – vmesnik za dostop do spletnih kartografskih storitev

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Ob primerjavi sedanjega časa z dogajanjem pred sto leti, je očiten napredek na številnih področjih. Razvoj je rezultat nenehnih sprememb, ki so zaznamovale življenje ljudi in postale stalnica, ki zahteva nujno razumevanje in kritično preučevanje.

Človeški um je z inovacijami in z razvojem tehnologije oblikoval današnji svet, ki ga poznamo kot sodobni digitalni svet. Tehnologija je postala neločljiv del našega vsakdana in ima bistven vpliv na naše delovanje v družbi. Spremenila je način komuniciranja, življenja in dela. Napredek informacijske tehnologije je prinesel revolucionarne spremembe. Od prvih omejenih računalnikov smo se premaknili k zmogljivim prenosnim napravam, kjer poteka izmenjava podatkov v oblaku. Izum umetne inteligence pa je odprl vrata reševanju najbolj zapletenih izzivov našega časa. Območje raziskovanja in delovanja se je preneslo tudi v vesolje. Z naprednimi sateliti opazujemo Zemljo, jo raziskujemo in za njo skrbimo. Vesoljska tehnologija je postala ključni steber globalne navigacije in komunikacije, brez katerega danes naš sodobni svet ne bi bil mogoč.

Razvoj tehnologije ima svoje pozitivne plati, vendar ima tudi negativne učinke na okolje. Proizvodnja in izdelava tehnoloških naprav povzročata akumulacijo odpadkov, onesnaževanje tal, vode in zraka ter izčrpavanje naravnih virov. Gradnja infrastrukture uničuje naravne habitate. Krčenje gozdov pa predstavlja veliko grožnjo biotski raznovrstnosti in ima resne posledice, kot so vremenski ekstremi, segrevanje planeta in dvig gladine morja.

Vendar se zavedamo teh izzivov in si prizadevamo poiskati trajnostne rešitve za ohranjanje našega okolja. Ena izmed pomembnih iniciativ za razumevanje strukture in dinamike gozdnih ekosistemov je misija GEDI (angl. Global Ecosystem Dynamics Investigation). GEDI uporablja lasersko tehnologijo (lidar) za natančno zaznavanje tridimenzionalne strukture gozdov [1]. GEDI produkti, kot so npr. višina krošenj, vertikalna struktura krošenj, indeks listne površine in topografije terena [2], nam omogočajo boljše razumevanje dinamike gozdov, njihovega odziva na podnebne spremembe ter na to, kako vse to vpliva na globalni ogljikov cikel in biotsko raznovrstnost [3].

Misija GEDI se je začela 5. decembra 2018, ko so instrument namestili na mednarodno vesoljsko postajo (v nadaljevanj ISS). Predhodno tovrstnih opazovanj s tako visoko ločljivostjo (~ 25 m), za območje cele Zemlje, nismo imeli. Instrument GEDI je v le dveh letih zagotovil več kot 10 milijard podatkov [4], kar je izjemno bogata zbirka informacij. Uporaba produktov je lahko še vedno zahtevna zaradi napake pri horizontalni geolokaciji, v prvi izdaji izdelkov L1-2 (R01). Problem je, da na svetovni ravni ne moremo zagotoviti natančnih referenčnih nizov geolociranih podatkov. Napake se večinoma gibljejo med 15 in 20 metrov in včasih presežejo 30 metrov, vendar so v drugi izdaji (R02) odstopanja geolokacije izboljšana [2].

Dejstvo, da je Slovenija zelena država, nam je dobro znano. Statistika pravi, da gozd pokriva slabih 60 % površine ozemlja naše države [5]. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS (v nadaljevanju MKGP) v sodelovanju z Zavodom za gozdove Slovenije (v nadaljevanju ZGS) in Gozdarskim inštitutom Slovenije (v nadaljevanju GIS) načrtujejo in usmerjajo rabo gozdov [6]. Seveda pa gospodarjenje z gozdovi ne bi bilo mogoče brez zanesljivih prostorskih podatkov in drugih informacij o gozdu, ki jih gozdarji zbirajo na terenu. En izmed takih podatkov je tudi digitalni model krošenj (v nadaljevanju DMK), pridobljen z lidarskim snemanjem Slovenije v letu 2014, ki zagotavlja podatke o višini drevja [7].

V diplomski nalogi želimo s primerjavo DMK in GEDI oceniti uporabno vrednost globalnega podatkovnega niza GEDI na ozemlju Slovenije.

1.1 Namen in cilji naloge

Cilj je pregled podatkov misije GEDI za Slovenijo v izbranem časovnem obdobju, od 31. 3. 2022 do 30. 6. 2022. Namen dela je na podlagi skript v obliki Jupyter Notebook (v programskem jeziku Python) preučiti podatke misije GEDI ter s shemami in prostorskimi prikazi v programu QGIS produkte vizualizirati in ovrednotiti njihovo praktično vrednost. Glavni cilj dela je primerjati ujemanje in morebitno odstopanje GEDI produktov višine krošenj s podatki DMK (vir: ZGS in GIS).

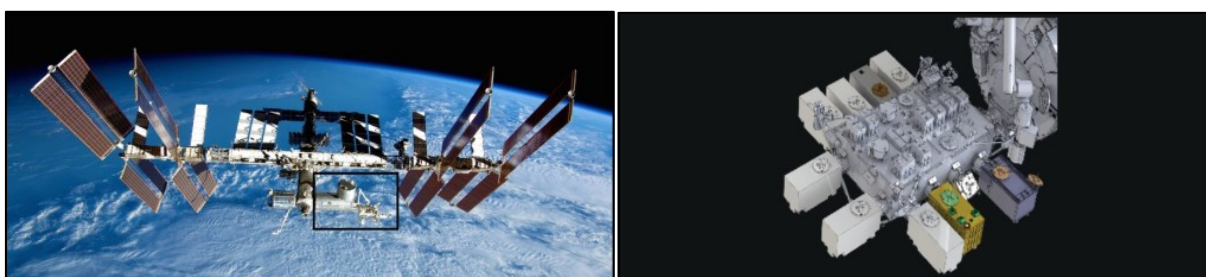
1.2 Struktura naloge

Diplomska naloga je sestavljena iz štirih sklopov. V uvodnem delu je predstavljena misija GEDI. Opisan je instrument GEDI, njegove tehnične in specifične lastnosti, način delovanja, morebitni vplivi orbite ISS, na kateri se instrument nahaja, kot tudi zakaj je kalibracija GEDI podatkov pomembna. Opisani sta arhivski mesti (LP DAAC in ORLN DAAC) za shranjevanje podatkov in na kakšen način lahko do le teh dostopamo. Opredeljene so vse ravni podatkov. Poudarek je na opisu stopnje obdelave L2, na podlagi katerih je sledila analiza. V tretjem sklopu je predstavljena metodologija, sestavljena iz treh delov. Prvi del zajema pridobitev podatkov, drugi, delo s Python kodo na podlagi pripravljenih skript in zadnji, obdelavo v QGIS programu. Obdelava zajema 3D vizualizacijo in primerjavo višin krošenj GEDI z referenčnimi podatki DMK. V zadnjem sklopu je predstavljena analiza z rezultati.

2 NASA GEDI

2.1 Misija NASA GEDI

V orbiti na mednarodni vesoljski postaji ISS se nahaja instrument GEDI (slika 1), ki je bil izstreljen konec leta 2018 z raketo SpaceX »Dragon capsule« [8]. GEDI je nameščen na japonskem modulu JEM-EF (»Japanese Experiment Module – Exposed Facility«) [9] na približni višini 400 kilometrov nad površjem Zemlje. NASA GEDI je misija, ki je bila specifično zasnovana za opazovanje vegetacijske strukture površja s strani Univerze Maryland v sodelovanju s Centrom za vesoljske polete Goddard (Goddard Space Flight Center) [10].



Slika 1: Prikaz položaja GEDI instrumenta na mednarodni vesoljski postaji ISS (levo) in japonski modul, kjer se nahaja zlato obarvan GEDI instrument (desno) [11].

ISS se v vesolju konstantno premika po predvideni orbiti s hitrostjo 28.000 km/h. Za pridobitev geolociranih podatkov ustrezne natančnosti je potrebno uskladiti lego ISS z izvajanjem opazovanj. Sistem GN&C omogoča komunikacijo z navigacijski sateliti (GPS in GLONASS) in postajami na Zemlji, momentni žiroskopi CMG pa poskrbijo za vzdrževanje orientacije, saj s svojo tehnologijo omogočajo vzdrževanje in premik ISS orbite [12]. Upoštevanje trenutne lege ISS in kompenzacija vseh vplivov omogoča pridobitev kakovostnih GEDI podatkov o vegetacij z 2 do 3 centimetrsko navpično natančnostjo merjenja. Na podlagi modeliranja GEDI podatkov lahko ocenimo višino krošenj in vertikalni profil krošenj [9].

GEDI uporablja lidar, tehnologijo optičnega daljinskega zaznavanja glede na referenčni elipsoid WGS 84. Referenčni elipsoid omogoča matematično aproksimacijo Zemlje na globalni ravni, z namenom določanja položaja in sicer, globalnih geografskih koordinat-zemljepisne širine in dolžine ter nadmorske višine in za namene navigacije [13].

2.2 Delovanje instrumenta GEDI

Tehnologija GEDI temelji na zaznavanju odbitih laserskih žarkov oziroma številu fotonov, ki se vrnejo nazaj do instrumenta GEDI [14]. Dobimo valovno obliko, ki vsebuje podatke o razporeditvi vegetacije glede na količino vrnjenih fotonov. Vrnjeno število fotonov igra glavno vlogo pri določanju razdalje,

več kot se fotonov vrne, večja je električna napetost. Električna napetost je predstavljena kot funkcija časa, ki nam da ob množenju s svetlobno hitrostjo podatek o razdalji [3].

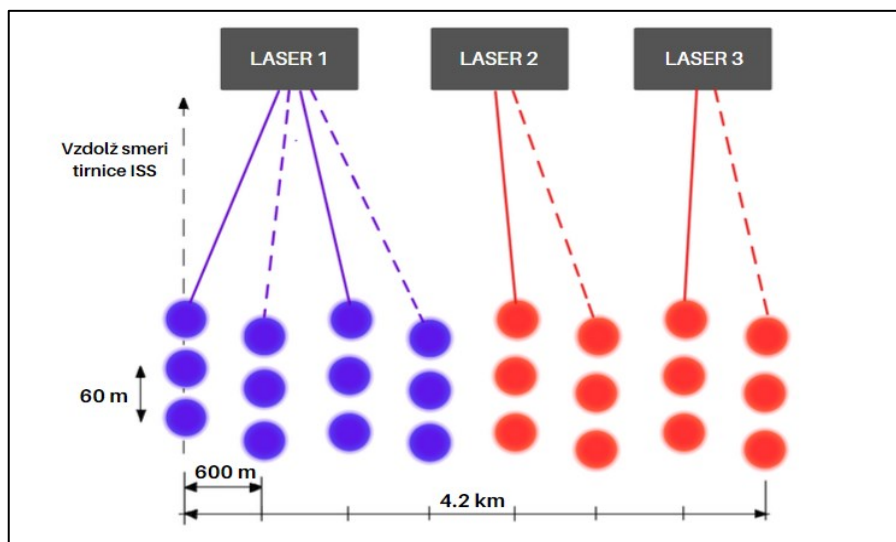
Lidar proti Zemlji pošlje lastno valovanje in pri tem beleži čas oddanega in sprejetega signala-laserskega impulza [15]. Med svojim prehodom nad območji na Zemlji instrument oddaja impulze vzdolž smeri tirnice ISS pod določenim kotom, ki se lahko spreminja do 6° [16]. Na instrumentu GEDI se nahajajo trije laserji, ki delujejo v območju bližnje infrardečega spektra NIR z valovno dolžino 1064 nm. Laserski žarki se odbijajo od tal in zajamejo vso 3D strukturo površja. Kako močan signal se vrne do sprejemnika pogojujejo razmere v atmosferi (prisotnost oblakov) in značilnosti vegetacije, kot npr. gostota vegetacije [9, 14].

Od omenjenih treh žarkov, sta dva laserja polne moči (angl. Full Power Laser) in en laser pokritosti (angl. Coverage Laser), ki se deli še na dva žarka [17]. Razlika med njima se kaže predvsem v prostorski ločljivosti in v površini, ki jo pokrivata. Laserja polne moči zagotavljata višjo prostorsko ločljivost vendar pri tem pokrijeta manjše območje. Laser pokritosti deluje obratno, torej z manjšo prostorsko ločljivostjo omogoča bolj celovit pregled območja, vendar se pri tem izgubi detajl. Predvsem pri analizi je pomemben podatek, ali gre za žarke polne moči (angl. Full Power Beam) ali za žarke pokritosti (angl. Coverage Beam) (preglednica 1).

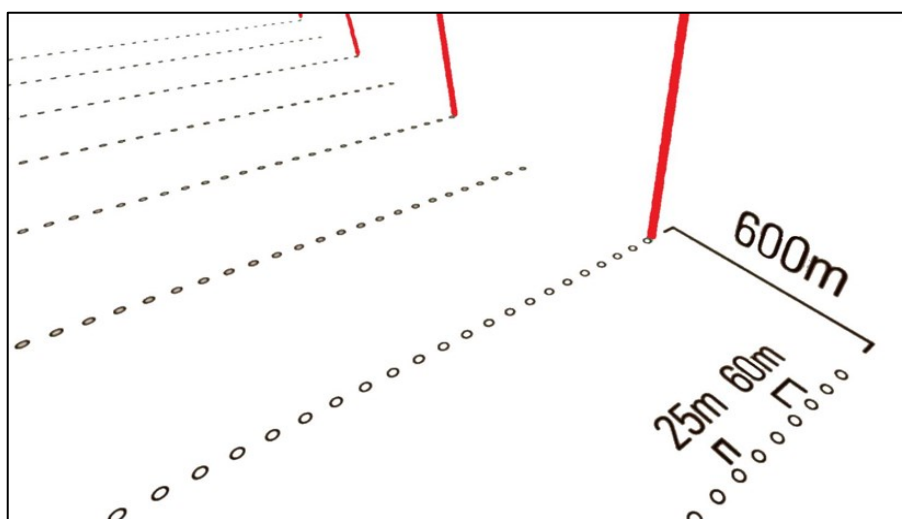
Preglednica 1: Seznam laserjev z žarki polne moči in z žarki pokritosti [17].

Laser	Ime žarka	Vrsta žarka
Laser1	BEAM0000	Coverage beam
Laser1	BEAM0001	Coverage beam
Laser1	BEAM0010	Coverage beam
Laser1	BEAM0011	Coverage beam
Laser2	BEAM0101	Full power beam
Laser2	BEAM0110	Full power beam
Laser3	BEAM1000	Full power beam
Laser3	BEAM1011	Full power beam

V procesu meritev se vsi 4 laserski žarki nadzorovano optično premikajo vstran, pravokotno na smer gibanja kot prikazuje slika 2. Skupaj torej pokrijejo 8 talnih sledi iz različnih zornih kotov, kar omogoča povečanje vzorčenja opazovanega območja. Med talnimi sledmi je 600 metrov razmika, laserji pa učinkovito prečesavajo območje, veliko 4,2 kilometra s premerom posameznega odtisa 25 metrov, na razdalji vsakih 60 metrov (slika 3). Laserski pulzi vsako sekundo oddajo žarke s frekvenco 424 Hz, ki se odbijejo od ovir nazaj proti senzorju GEDI, ta pa zazna bogate informacije o intenziteti odboja skozi čas [14]. Vsak pulz predstavlja en odtis, vsak odtis pa predstavlja eno valovno obliko. Tako se v vsaki sekundi pridobi 968 talnih odtisov [18].



Slika 2: Konfiguracija zajema podatkov z laserskimi žarki, pri čemer je LASER 1 laser pokritosti ter LASER 2 in LASER 3 laserja polne moči [19].

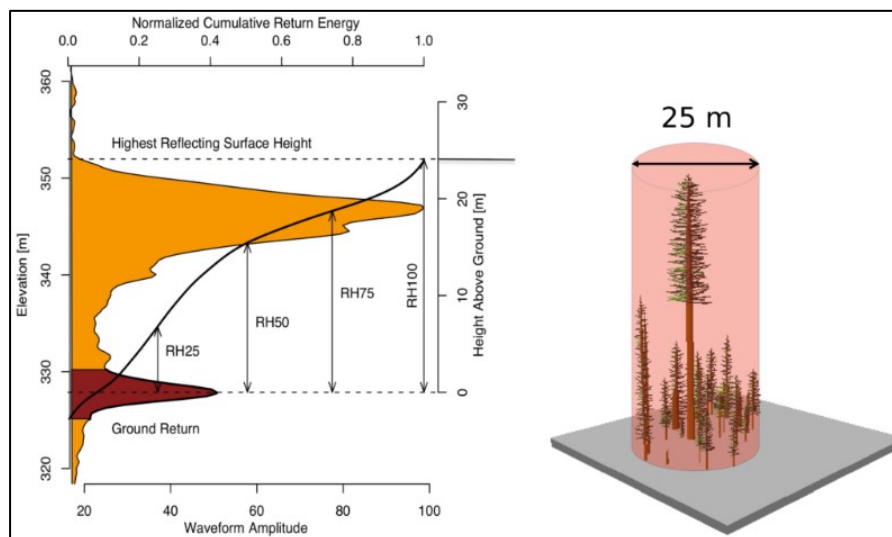


Slika 3: Potek laserskih pulzov in sled na površini [20].

Govorimo o odboju energije, ki je zapisana kot valovna oblika (angl. waveform). Valovna oblika je krivulja, ki ponazarja potek odboja žarka od površja Zemlje. Zapisi valovnih oblik so preprosti, kadar gre za odboj laserja od vodne površine ali preproste talne površine, kot so na primer gola tla. Ko pa govorimo o kompleksnejših odbojih imamo v mislih območja z visokimi in razgibanimi vrhovi in strmimi pobočji ter globokimi dolinami, nizke lege terena med vzpetinami, ki so največkrat obdane z vodnimi telesi, kraški teren ter vsa območja, ki so nekoliko bolj razgibana in pokrita z različno vegetacijo. V takem primeru gre za zapis valovne oblike, katere struktura ni preprosta in je sestavljena iz več vrhov [14]. Krivulja, ki je na sliki 4 obarvana, je v tem primeru sestavljena iz dveh vrhov, kjer

manjši vrh temne barve ponazarja odboj od tal in večji vrh v svetli barvi, vrnjeno energijo, ki ponazarja odboj od krošnje dreves ter preostale vegetacije [18].

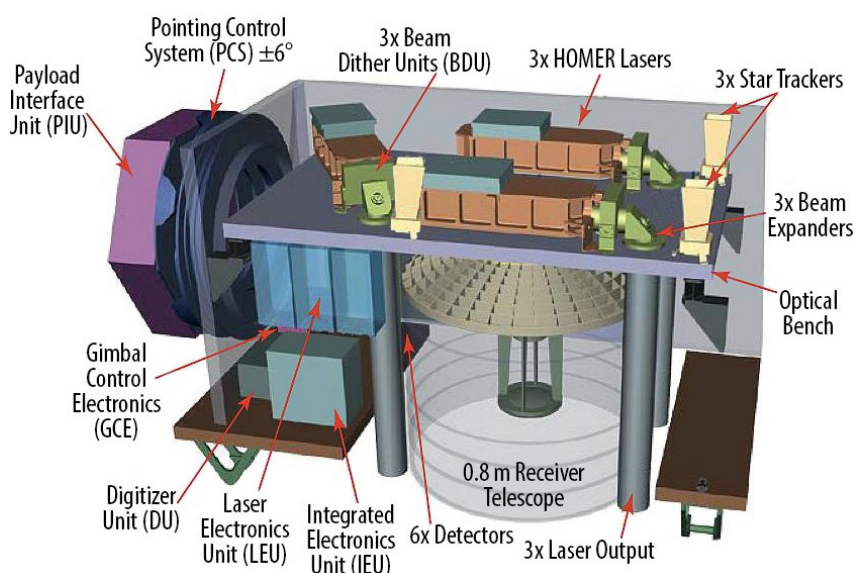
Črna krivulja prikazuje kumulativno vrnjeno energijo, ki jo prestreže senzor instrumenta GEDI. S kumulativno vrnjeno energijo označujemo vso energijo, ki se odbije oziroma razprši od površja. Zaradi različnih lastnosti objektov in vegetacije od katerih se laserski žarki odbijajo, je intenziteta oboja različna. Meritve relativne višine se nanašajo na višine, ki so bile pridobljene iz kvantilov vrnjene kumulativne energije. Kvantili predstavljajo percentilne višine znotraj posamezne valovne oblike. Dajejo nam vpogled v vertikalno strukturo vegetacije, torej kako potekajo posamezne plasti vegetacije, kje so tla, krošnja in kakšna je gostota vegetacije. Vrednosti naraščajo od 0 proti 1, kjer 0 simbolizira tla in 1 vrh krošenj [18].



Slika 4: Krivulja, ki je obarvana ponazarja valovno obliko in črna krivulja (krivulja meritev RH) (levo), ter odtis impulza s premerom 25 metrov (desno) [18].

2.2.1 Zgradba instrumenta GEDI

Na instrumentu GEDI je sistem usmerjanja in nadzora in sledilci zvezd, za določanje orientacije. Instrument sestavljajo trije laserski oddajniki, ki oddajajo kratke impulze laserske svetlobe. Enote za oscilacijo (BDU) omogočajo premik laserskih žarkov in podvojijo število talnih sledi. Svetloba potuje do šestih detektorjev, kjer kot po opisanem postopku v poglavju 2.1, pridobi informacijo o oddaljenosti med površino Zemlje in ISS postajo. Celotna zgradba instrumenta, ki je prikazana na sliki 5 zajema veliko elektronike in procesorjev za usklajeno delovanje vseh komponent instrumenta [11].



Slika 5: Zgradba instrumenta GEDI [11].

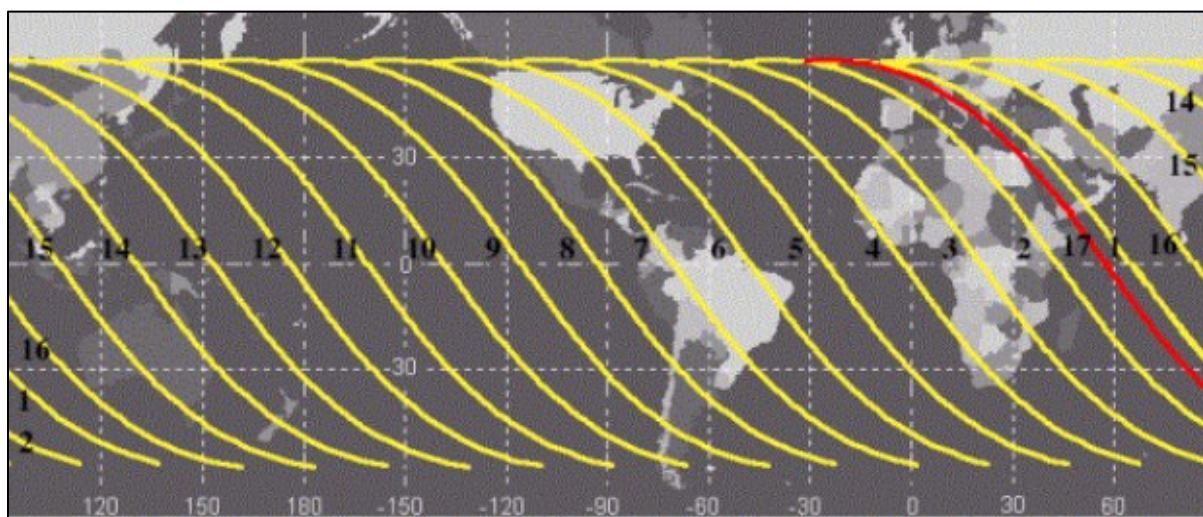
V preglednici 2 so prikazani tehnični podatki in specifikacije instrumenta.

Preglednica 2: Tehnični podatki in specifikacije instrumenta GEDI.

Valovna dolžina	1064 nm
Frekvenca laserskih pulzov	242 Hz oziroma 242 laserskih pulzov na sekundo
Premier laserskega žarka ali odtis (angl. footprint)	Na površini Zemlje približno 25 m
Orbita, inklinacija	Približno 400 km (tirnica ISS), 51.6°
Obhodni čas	90 min – 93 min
Območje snemanja	NIR
Teža	Približno 560 kg
Prostorska ločljivost	Globalno pokriva območje od 51.6° severno do 51.6° južno geografske širine
Geodetski datum	WGS84
Koordinatni sistem	Geografska širina, geografska dolžina
Spektralna ločljivost	~25 m
Časovna ločljivost	Različna

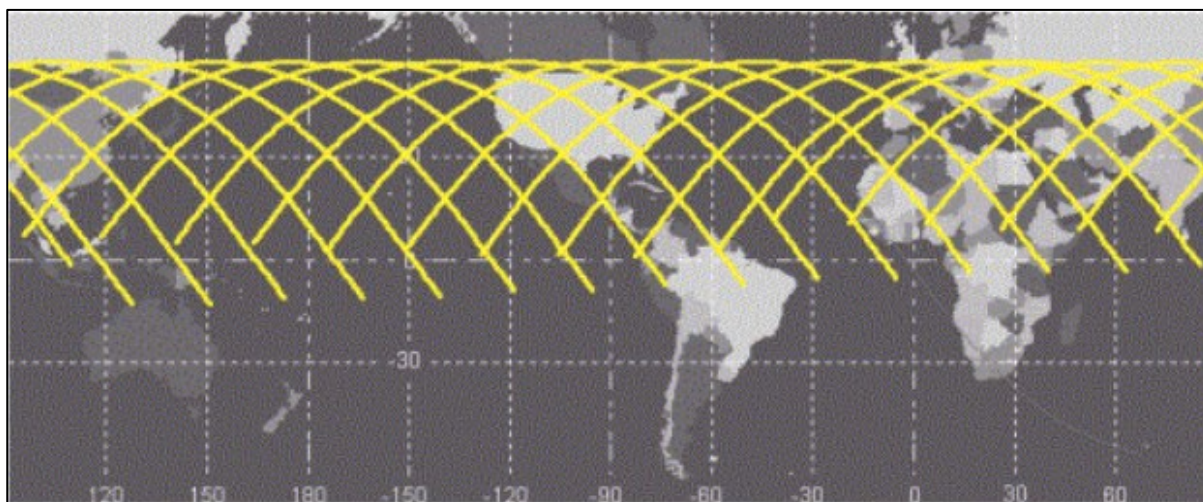
2.2.2 Orbita ISS in njen vpliv na delovanje instrumenta

Orbita ISS ima neposreden učinek na značilnosti meritev in vpliva na pridobljene podatke GEDI instrumenta. Mednarodna vesoljska postaja ISS potuje od zahoda proti vzhodu z inklinacijo $51,6^\circ$, pri kateri ima instrument GEDI isto inklinacijo [9]. Dnevno ISS obhodi Zemljo po navadi šestnajstkrat, kar pomeni, da je za vsako orbito potrebnih od 90 do 93 minut. Do časovne razlike pri obhodu prihaja zaradi sprememb v višine orbite, ki so posledica gravitacijskega privlaka [21]. Slika 6 prikazuje premik orbite (rdeča barva) proti vzhodu za približno $22,9^\circ$ v roku 24 ur. V roku štirih dni se tirnica orbite ponovi.

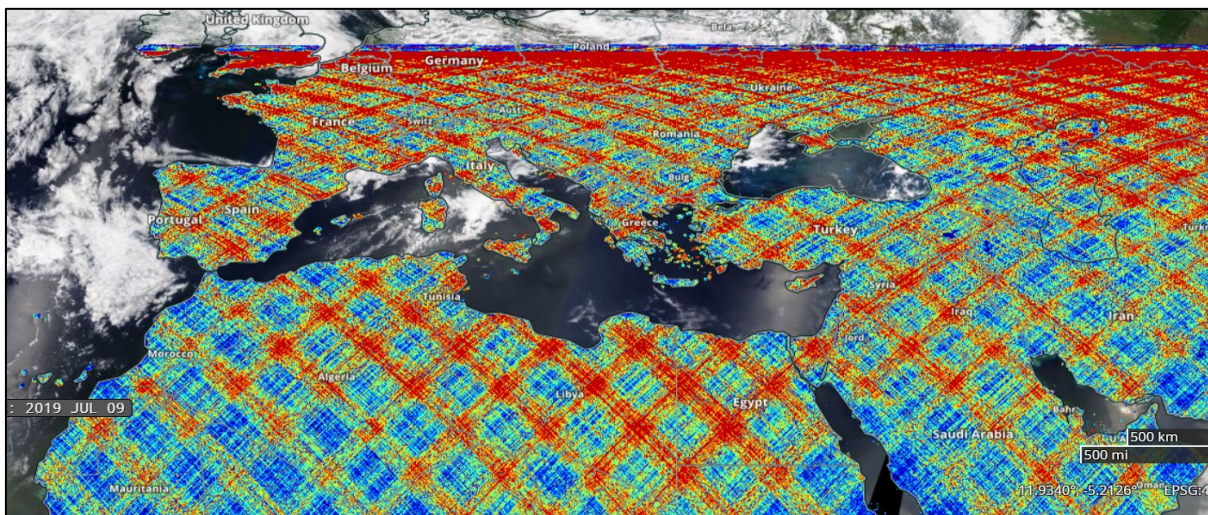


Slika 6: Prikaz vseh 16 orbit ISS in premik orbite za $22,9^\circ$ (rdeča barva) [21].

Slika 7 prikazuje potovanje ISS po severni polobli v dnevni svetlobi. Opazimo ujemanje poti ISS in podatkov GEDI na sliki 8, ki so bili pridobljeni na spletni strani NASA Worldview, na povezavi <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

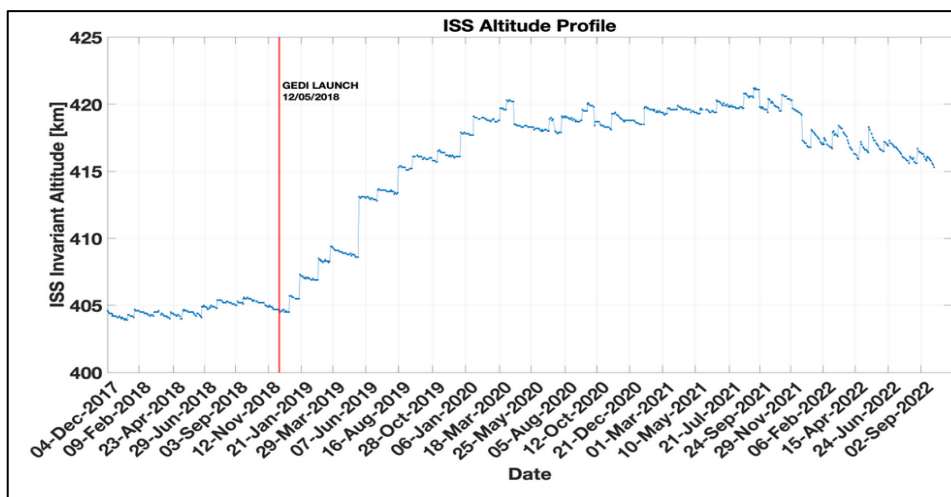


Slika 7: Prikaz orbit na severni polobli z dnevno svetlobo [21].



Slika 8: Prikaz prostorskega vzorčenja GEDI raven 3, V2 (od aprila 2019 do januarja 2022), kjer temno modra barva ponazarja nič odtisov, nasprotno rdeča barva prikazuje več kot 120 odtisov.

Slika 9 prikazuje višino orbite ISS vesoljske postaje v času izvajanja misije NASA GEDI [22]. Vidimo, da se je orbita ISS med obdobjem od 30. marca do 1. julija 2022 (časovno obdobje zajema podatkov uporabljenih v diplomski nalogi) spreminjala za približno 2 kilometra, pri tem je ISS v povprečju ostal na višini 416 kilometrov [22].



Slika 9: Višina orbite ISS in sicer od začetka izstrelitve instrumenta GEDI ter do konca delovanja misije [22].

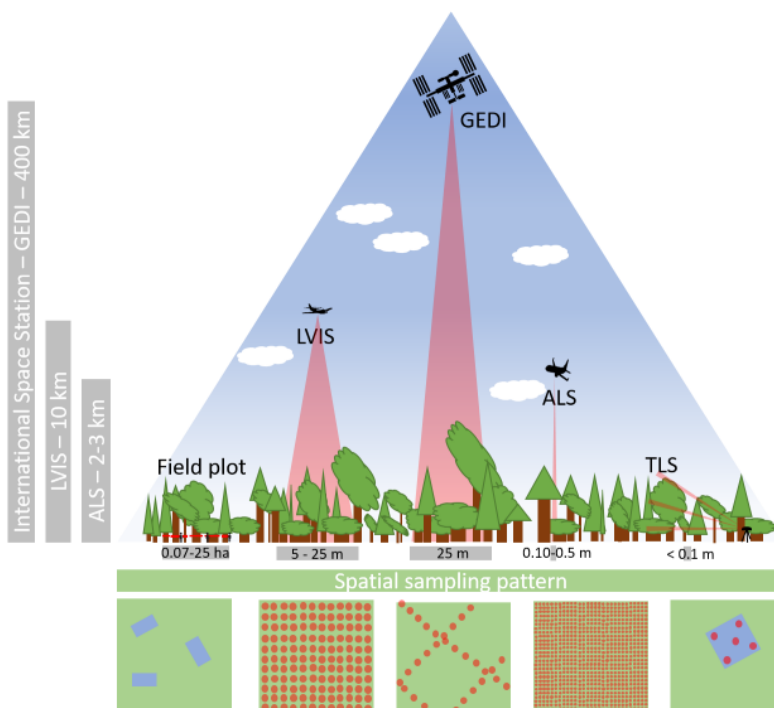
Morebitne vplive orbite, kot so nenadne spremembe višine orbite, spreminjajoča osvetlitev in različne vidne kote je potrebno pri obdelavi podatkov upoštevati in po potrebi s podatki kompenzirati.

2.3 Kalibracija in validacija podatkov

Kalibracija zajema aktivnosti pred in po izvedenih GEDI opazovanjih, ki skupno zagotavljajo točnost in zanesljivost podatkov misije NASA GEDI [8]. To se zagotovi s pomočjo referenčnih podatkov. Referenčne podatke neodvisno zagotavljata lidar tehniki, in sicer zračnega laserskega skeniranja (ALS) (letalniki in droni) v kombinaciji s terestričnim laserskim skeniranjem (TLS). Podatki omenjenih tehnik morajo izpolnjevati predpisane zahteve, da zadoščajo uporabnosti.

Eden izmed pomembnejših je LVIS (Land, Vegetation, and Ice Sensor), zračni laserski letalnik na podatke katerega GEDI primerja svoje meritve, odpravi morebitne prilagoditve in prevzema modele za obdelavo valovnih oblik [7, 23].

Omenjene tehnike (slika 10) skupno pokrijejo celotno domeno GEDI opazovanj. Podatke sistemov lidar se uporabi za ponazoritev valovnih oblik GEDI. Posledično pripomorejo k izboljšanju modelov in algoritmov za apliciranje GEDI podatkov [8, 9].



Slika 10: Neodvisne tehnike zajema prostorskih podatkov, pripadajoče operativne višine ter sled prostorskega vzorčenja. Sled prostorskega vzorčenja ali prostorski odtisi so območja, od katerih se odbija laser lidar tehnologije [23].

2.4 Shranjevanje in dostop do podatkov

Do podatkov GEDI dostopamo na več načinov prek arhivskih centrov. Arhivski centri so mesta, ki so vzpostavljena za hranjenje in distribucijo tovrstnih podatkov. Do njih lahko prosto dostopamo preko spleta. Pri prenosu smo neomejeni, edini pogoj je registracija (NASA Earthdata Login account), na spletni povezavi <https://urs.earthdata.nasa.gov/users/new/>.

V okviru dela z podatki GEDI misije poznamo dva arhivska centra, ki med seboj aktivno sodelujeta, in sicer Land Process Distributed Active Archive Center (v nadaljevanju LP DAAC) in Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center (v nadaljevanju ORNL DAAC) [24]. Spodaj so podrobneje opisani načini pridobitve podatkov v LP DAAC, saj v analizi diplomskega dela uporabimo podatke shranjene na mestu tega arhiva.

2.4.1 LP DAAC

LP DAAC je nastal v sodelovanju NASE in USGS (United States Geological Survey). Od svoje vzpostavitve uspešno povezuje skupnost uporabnikov; znanstvenike, raziskovalce, upravljalce ter ostale s podatki sprejetih iz satelitov, mednarodne vesoljske postaje ISS in drugih vesoljskih plovil. Uporabnikom zagotavlja več sto različnih produktov, med njimi podatke zbirk ECOSTRESS, S-NPP VIIRS, MODIS (Terra & Aqua), Terra ASTER, NASA MEaSUREs, GEDI, itd [25].

Znotraj LP DAAC imamo več možnosti dostopa do podatkov GEDI; prikazuje jih slika 11.

Access Data			
Tool	Functionality	Description	Download Data
Data Pool	Direct Download	The Data Pool is the publicly available portion of the LP DAAC online holdings. Data Pool provides ...	
NASA Earthdata Search	Browse Image Preview, Direct Download, Order, Search, Subset	Earthdata Search combines the latest EOSDIS service offerings with user experience, research, and e...	
Data Prep Scripts	Direct Download, Web Service	This collection of R and Python scripts can be used to download data and perform basic data process...	
Web Services	Web Service	The LP DAAC Web Services are a set of services that are meant to assist our users in interacting wi...	

Slika 11: Dostop do podatkov GEDI znotraj LP DAAC [26].

2.4.1.1 Data Pool

Neposreden dostop do podatkov omogoča Data Pool preko brskalnika. Ta deluje na podlagi zahteve, ki jo brskalnik pošlje strežniku, kjer so shranjeni podatki. Raziskujemo po mapah in podmapah, da pridemo do želenih podatkov. Slika 12 prikazuje osnovno stran, kjer je več map z različnimi izdelki, med njimi tudi podatki misije GEDI. Na tovrstnem mestu se hranijo podatki nižje stopnje obdelave - L1B, L2A in L2B. Za katero stopnjo obdelave podatkov gre, prepoznamo iz poimenovanja map.

Name	Last modified	Size
ASTT/	2022-07-19 14:27	-
COMMUNITY/	2023-02-15 12:58	-
ECOSTRESS/	2022-07-19 16:48	-
GEDI/	2022-07-20 08:41	-
MEASURES/	2023-03-20 13:24	-
MOLA/	2022-07-21 10:57	-
MOLT/	2022-10-20 08:49	-
MOTA/	2023-01-18 11:15	-
VIIRS/	2022-09-13 12:15	-

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
GEDI01_B.002/	2023-05-12 08:50	-	
GEDI02_A.002/	2023-04-24 11:15	-	
GEDI02_B.002/	2023-03-31 09:36	-	

Slika 12: Možna izbira med izdelki [26].

Znotraj izbrane mape ravni podatkov, lahko za želeno leto in posamezni dan izbiramo med razpoložljivimi podatki, ki pridejo v sklopu treh datotek (.h5, .xml in .png) (slika 13).

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
2019.04.18/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.19/	2021-09-16 13:47	-	
2019.04.20/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.21/	2021-09-16 13:47	-	
2019.04.22/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.23/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.24/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.25/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.26/	2021-09-16 13:42	-	
2019.04.27/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.28/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.29/	2021-09-16 13:48	-	
2019.04.30/	2021-09-16 13:39	-	
2019.05.01/	2021-09-16 13:41	-	
2019.05.02/	2021-09-16 13:47	-	
2019.05.03/	2021-09-16 13:48	-	
2019.05.04/	2021-09-16 13:48	-	
2019.05.05/	2021-09-16 13:48	-	
2019.05.06/	2021-09-16 13:39	-	
2019.05.07/	2021-09-16 13:48	-	
2019.05.08/	2021-09-16 13:48	-	
2019.05.09/	2021-09-16 13:46	-	
2019.05.10/	2021-09-16 13:45	-	
2019.05.11/	2021-09-16 13:48	-	

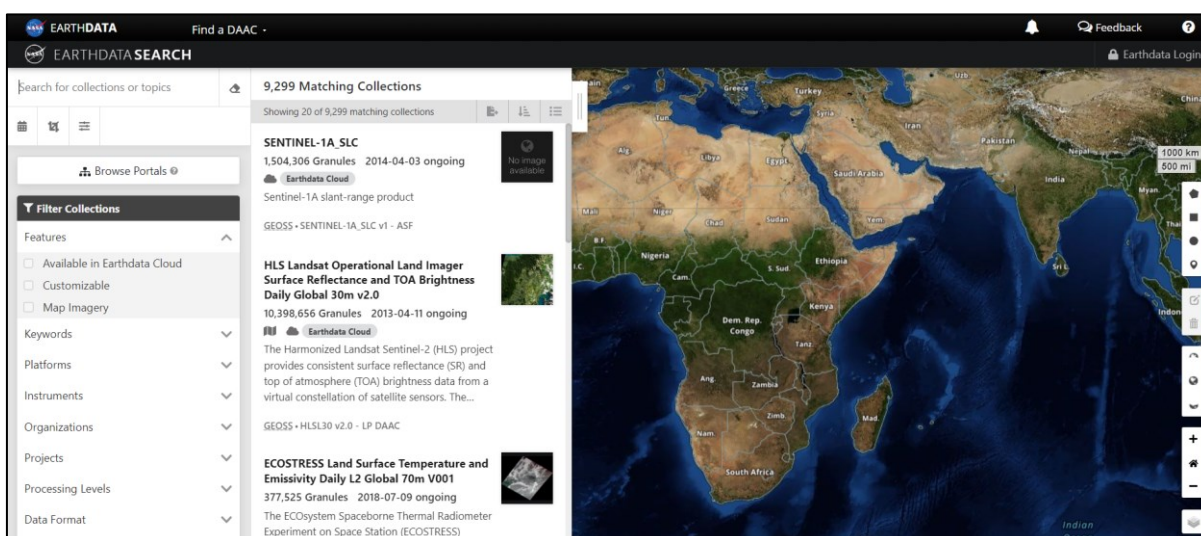
Name	Last modified	Size
Parent Directory		-
GEDI02_A_2019109163005_001985_01_T02206_02_003_01_V002.h5	2021-09-16 13:38	1.1G
GEDI02_A_2019109163005_001985_01_T02206_02_003_01_V002.h5.xml	2021-09-16 13:38	9.6K
GEDI02_A_2019109163005_001985_01_T02206_02_003_01_V002.png	2021-09-16 13:39	302K
GEDI02_A_2019109163005_001985_02_T02206_02_003_01_V002.h5	2021-09-16 13:38	1.2G
GEDI02_A_2019109163005_001985_02_T02206_02_003_01_V002.h5.xml	2021-09-16 13:38	10K
GEDI02_A_2019109163005_001985_02_T02206_02_003_01_V002.png	2021-09-16 13:39	327K
GEDI02_A_2019109163005_001985_03_T02206_02_003_01_V002.h5	2021-09-16 13:44	1.9G
GEDI02_A_2019109163005_001985_03_T02206_02_003_01_V002.h5.xml	2021-09-16 13:44	13K
GEDI02_A_2019109163005_001985_03_T02206_02_003_01_V002.png	2021-09-16 13:46	349K
GEDI02_A_2019109163005_001985_04_T02206_02_003_01_V002.h5	2021-03-29 12:23	1.3G
GEDI02_A_2019109163005_001985_04_T02206_02_003_01_V002.h5.xml	2021-03-29 12:23	10K
GEDI02_A_2019109163005_001985_04_T02206_02_003_01_V002.png	2021-02-10 13:36	339K
GEDI02_A_2019109180246_001986_01_T03477_02_003_01_V002.h5	2021-09-16 13:40	1.5G
GEDI02_A_2019109180246_001986_01_T03477_02_003_01_V002.h5.xml	2021-09-16 13:40	12K
GEDI02_A_2019109180246_001986_01_T03477_02_003_01_V002.png	2021-09-16 13:42	330K
GEDI02_A_2019109180246_001986_02_T03477_02_003_01_V002.h5	2021-09-16 13:35	1.7G
GEDI02_A_2019109180246_001986_02_T03477_02_003_01_V002.h5.xml	2021-09-16 13:35	14K
GEDI02_A_2019109180246_001986_02_T03477_02_003_01_V002.png	2021-09-16 13:37	288K

Slika 13: Podmape za leto in posamezne dneve (levo) ter iskani produkti (desno) [26].

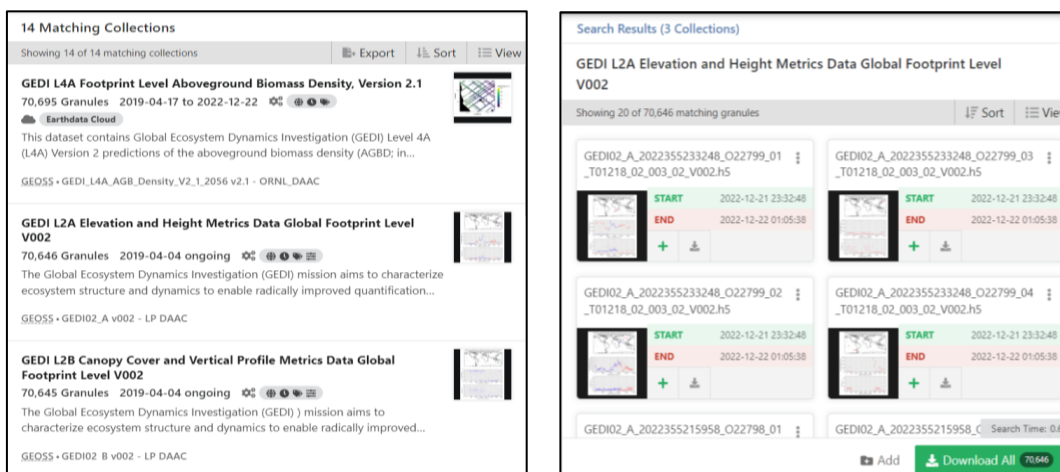
Način iskanja preko Data Pool pride v poštev, ko točno vemo katere datoteke želimo. Je hiter način vendar zna biti nepregleden.

2.4.1.2 Nasa Earthdata Search

Za lažji in preglednejši vpogled v zbirke podatkov, ki jih ponuja LP DAAC se uporablja iskanje želenih podatkov preko spletne strani Nasa Earthdata Search, dostopne na: <https://search.earthdata.nasa.gov/search> (slika 14). Pri iskanju podatkov se omejimo z nastavitvijo parametrov. Prvi parameter je določitev zbirke podatkov (angl. collection). Za primer zbirke GEDI (slika 15) lahko izbiramo zelene granule. Tovrstno iskanje je hitrejše, saj ponuja možnost iskanja na podlagi območja izbire ROI. Izločijo se vse datoteke, ki niso v območju našega interesa. Prav tako lahko določimo časovni obseg podatkov in številko orbite ter iščemo po imenu posamezne granule. Hitro omejimo obseg iskanih podatkov in pridemo do željenih datotek. Pri samem prenosu lahko izbiramo med možnostmi, ki ponujajo direkten prenos, pripravo datotek zip na strežniku ali naročanje datotek z izbranimi dodatnimi spremenljivkami.



Slika 14: Osnovna stran portala za iskanje podatkov različnih zbirk [27].



Slika 15: Zbirka dostopnih ravni GEDI podatkov (levo) in dostopne datoteke oziroma granule izbrane ravni GEDI podatkov (desno) [27].

2.4.1.3 Javne skripte za pripravo podatkov

Za prenos podatkov kot tudi za izvedbo osnovnih procesov se lahko uporabijo že vnaprej pripravljene R in Python skripte, dostopne v repozitoriju na povezavi: <https://t.ly/62eiR>.

2.4.2 ORNL DAAC

S sporazumom med NASO in Department of Energy je leta 1993 z sedežem v Oak Ridge-u v Tennesseeju začel z operativno ORNL DAAC, en izmed več centrov, ki nudi podatke o podnebjju, požarih, hidrologiji in kriosferi, rabi zemljišč, prsti, vegetaciji in o gozdovih. Nudi produkte bioloških, ekoloških in kemijskih raziskav, ki so ključne za razumevanje kopenskih procesov [4].

Do podatkov dostopamo na povezavi: <https://daac.ornl.gov/>. Slika 16 prikazuje razpoložljive zbirke in podatkovne sete za vegetacijo in gozdove. Na sliki 17 so prikazani razpoložljivi podatki arhiva ORNL DAAC za GEDI misijo, in sicer stopnja obdelave L3 in L4.

All Vegetation and Forests Datasets

Sign in to download forests datasets.

810 forests datasets

Show 10 entries

Filter:

☒	forests dataset	Updated	Published	User Guide	Download	Size	Visualize	THREDDS
*	SISTER: AVIRIS Classic L2B Fractional Cover 30 m V002 NEW	2023-07-19	2023-07-19					
*	SISTER: AVIRIS Classic L2B Vegetative Biochemical Traits 30 m V002 NEW	2023-07-19	2023-07-19					
*	SISTER: AVIRIS-NG L2B Aquatic Pigments 30 m V002 NEW	2023-07-19	2023-07-19			25.9684 MB		
*	SISTER: AVIRIS-NG L2B Fractional Cover 30 m V002 NEW	2023-07-19	2023-07-19			97.069 MB		
*	SISTER: AVIRIS-NG L2B Vegetative Biochemical Traits 30 m V002 NEW	2023-07-19	2023-07-19			148.601 MB		
*	SISTER: EMIT L2B Aquatic Pigments 60 m V002 NEW	2023-07-17	2023-07-17			74.6706 MB		
*	SISTER: EMIT L2B Fractional Cover 60 m V002 NEW	2023-07-17	2023-07-17			385.156 MB		
*	SISTER: EMIT L2B Vegetative Biochemical Traits 60 m V002 NEW	2023-07-17	2023-07-17			523.443 MB		
*	L2 Daily Solar-Induced Fluorescence (SIF) from MetOp-A GOME-2, 2007-2018	2022-06-07	2022-08-29					
*	SISTER: PRISMA L2B Vegetative Biochemical Traits 30 m V001	2023-06-06	2023-05-23			213.322 MB		

Showing 1 to 10 of 810 entries

< Previous 1 2 3 4 5 ... 81 Next >

Slika 16: Prikaz razpoložljivih zbirk v ORNL DAAC [24].

810 forests datasets

Show 10 entries

Filter: GEDI

☒	forests dataset	Updated	Published	User Guide	Download	Size	Visualize	THREDDS
*	GEDI L4A Footprint Level Aboveground Biomass Density, Version 2.1	2023-04-02	2022-03-17					
*	GEDI L3 Gridded Land Surface Metrics, Version 2	2022-06-20	2021-11-23			9334.82 MB		
*	GEDI L4B Gridded Aboveground Biomass Density, Version 2	2022-03-29	2022-03-29			2270.44 MB		

Showing 1 to 3 of 3 entries (filtered from 810 total entries)

< Previous 1 Next >

* Sign in to order forests datasets.

Slika 17: Prikaz razpoložljivih GEDI zbirk v ORNL DAAC [24].

2.5 Stopnje obdelave podatkov

Na razpolago imamo več stopenj obdelave podatkov. Stopnje nam povedo v kakšni meri so podatki pred obdelani oz. njihovo raven procesiranja. Višje ravni se pridobijo iz podrobne obdelave in procesiranja podatkov nižje ravni. Ta hierarhični pristop omogoča, da podatki na višjih ravneh postanejo bolj strukturirani. Podatki stopnje obdelave L1A vključujejo zbrane parametre oddanih in sprejetih valovnih oblik, vendar niso javno dostopni. Ostale stopnje obdelave podatkov so prikazane v preglednici 3 in so javno dostopne.

Preglednica 3: Javno dostopni GEDI podatki, njihov opis, arhivska lokacija in oblika zapisa [4].

GEDI podatki/format	Stopnja obdelave podatkov	Opis	Prostorska ločljivost	Arhivsko mesto (DAAC lokacija)
Level 1 (HDF5)	GEDI01_B	Geolocirane valovne oblike	~ 25 m	LP DAAC
Level 2 (HDF5)	GEDI02_A	Nadmorska višina, višina vrha krošnje, relativne meritve višine (RH)	~ 25 m	LP DAAC
	GEDI02_B	Pokritost krošenj in vertikalni profil krošenj	~ 25 m	LP DAAC
Level 3 (GeoTIFF)	GEDI03	Mreža meritev zemeljske površine	1 km mreže	ORNL DAAC
Level 4 (GeoTIFF)	GEDI04_A	Odtis biomase nad tlemi	~ 25 m	ORNL DAAC
	GEDI04_B	Mreža biomase nad tlemi	1 km mreže	ORNL DAAC

Za poimenovanje GEDI granul glej poglavje 2.7. V vsaki granuli so shranjene informacije o vseh osmih laserskih žarkih, pri čemer vsak od njih nosi informacijo o opravljeni talni sledi. Znotraj posameznega laserskega žarka, na podlagi posnetkov (angl. shot), dostopamo do podatkov v podskupinah GEDI datotek. Poimenovanje posameznega posnetka je ključno za uspešen dostop do podatkov in sledi naslednji obliki:

OOOOOBRRGNNNNNNNN

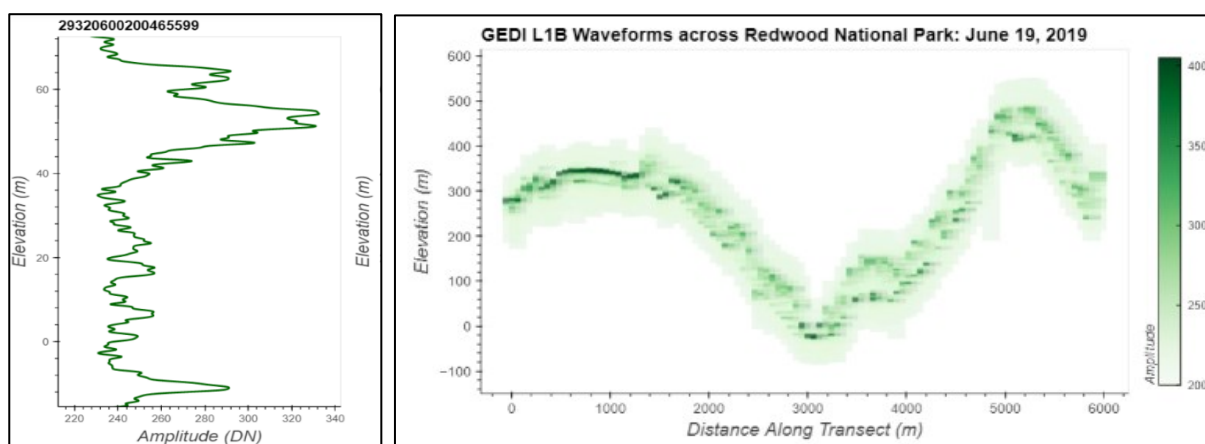
- **OOOOO**: številka orbite,
- **BB**: številka laserskega žarka,
- **RR**: rezervirana oznaka,
- **G**: pod-orbitalna številka granule in
- **NNNNNNN**: indeks oz. oznaka posnetka [17].

V nadaljevanju naloge so opisane posamezne stopnje obdelave podatkov, pri čemer je poudarek na stopnji obdelave 2, saj so ti podatki uporabljeni pri izvedbi praktičnega dela diplomske naloge.

2.5.1 Stopnja obdelave L1

Pri podatkih stopnje obdelave L1B gre predvsem za kalibracijo in geolociranje surovih valovnih oblik (GEDI L1A). V procesu se obdelajo oddane (txwaveform) in sprejete (rxwaveforms) valovne oblike [14] tako, da se jim pripne geolokacijske informacije in upošteva korekcije. Valovne oblike pridobijo točen položaj glede na zemeljsko površje. Za podrobnejši opis valovne dolžine glej poglavje 2.2.

Slika 18 (levo) prikazuje primer valovne oblike posnetka, ki ga pridobimo pri obdelavi produktov prve stopnje. Na sliki 19 (desno) je prikazana vsaka vrednost valovne oblike. Opazna je struktura krošnje, pri čemer bolj goste krošnje prevzamejo temnejšo zeleno barvo.



Slika 18: Potek valovne oblike GEDI L1B (levo) in valovna oblika za celoten presek razdalje (desno) [28].

2.5.2 Stopnja obdelave L2

Koordinate prvega in zadnjega vzorca valovne oblike (L2A in L2B) so interpolirane na najnižjo točko valovne oblike iz produkta L1B. Najnižja točka predstavlja referenčno točko (tla) za določitev ostalih točk znotraj ene valovne oblike npr. drevesa in je ključna, da posnetek pridobi geografske koordinate na površini Zemlje. Valovna oblika se tako poveže z določenim mestom na Zemlji [14].

Nadmorske višine se pridobijo na podlagi geolociranih valovnih oblik iz L1B. Znotraj enega odtisa (angl. footprint) se sprva izolira talni signal na podlagi katerega se interpolira vse relativne višine. Višina tal predstavlja referenčno točko določitve vseh ostalih relativnih višin in se nanaša na referenčni elipsoid WGS84 [24].

Kakovost podatkov je preverjena v več korakih. Prvi korak je validacija in kalibracija podatkov (glej poglavje 2.3), kjer se preveri GEDI podatke z drugimi meritvami. V sklopu obdelave sta pomembnejši preverba kakovosti in občutljivosti. Določenih je več parametrov (slika 19), po katerih se določijo in odstranijo slabo zaznane valovne oblike. Vsak posnetek vsebuje oznako o kakovosti in sicer, vrednost 1 predstavlja dobro kakovost, medtem ko vrednost 0 slabo.

rx_assess/quality_flag	=	1
geolocation/surface_flag	=	1
stale_return_flag	=	0
rx_assess/rx_maxamp	>	8.* rx_assess/sd_corrected
sensitivity_a<n>	≤	1.0
rx_processing_a<n>/rx_algrunflag	=	1
rx_processing_a<n>/zcross	>	0
rx_processing_a<n>/toploc	>	0
If over land: sensitivity_a<n>	>	0.9
if over ocean: sensitivity_a<n>	>	0.5

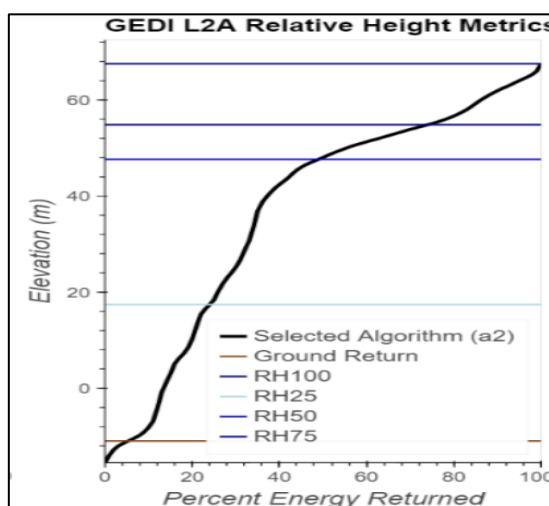
Slika 19: Kriteriji, ki morajo biti izpolnjeni za dobro kakovost posnetka [14].

Pomembno je omeniti občutljivost sledi (angl. footprint sensitivity). Lahko se zgodi, da laser ob svojem potovanju ne zazna pravega odboja žarka od tal, predvsem v primerih gostih krošenj dreves, kjer žarki težje prodrejo do tal. Omenjen parameter določa minimalni odstotek vrnjenega žarka, ki mora biti odbit od tal, zato da se določi pravo oziroma dejansko višino tal. Prag občutljivosti nad tlemi je 0,9. Podatke, ki ne zadostujejo pogojem, se iz analize odstrani [29].

2.5.2.1 Stopnja obdelave L2A

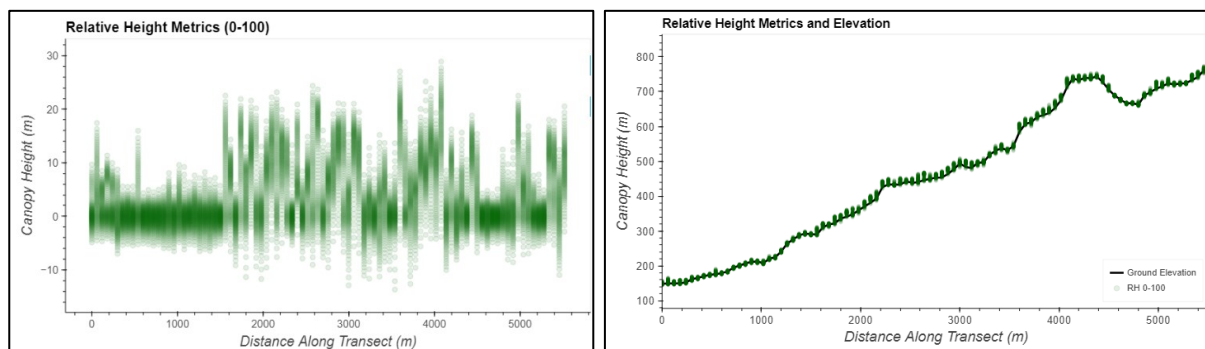
Podatki L2A so pridobljeni iz vrnjenih valovnih oblik GEDI L1A [14]. Vsebujejo informacije o položaju (geografska dolžina, geografska širina), nadmorski višini tal, višini vrha krošnje in ostalih meritev relativnih višin (RH).

Meritve RH dobimo, ko najvišje zaznani nadmorski višini odštejemo najnižjo nadmorsko višino oziroma višino odboja tal [29]. RH meritve nimajo pripisanih koordinat, prikazane so na sliki 20.



Slika 20: Primer izdelka GEDI L2A meritev relativnih višin (RH) [17].

Kadar podatke o višini krošenj prikažemo na razdalji vzdolž preseka, dobimo predstavo o terenu in vegetaciji ter vidimo kje se nahajajo višja drevesa in tudi njihovo gostoto.



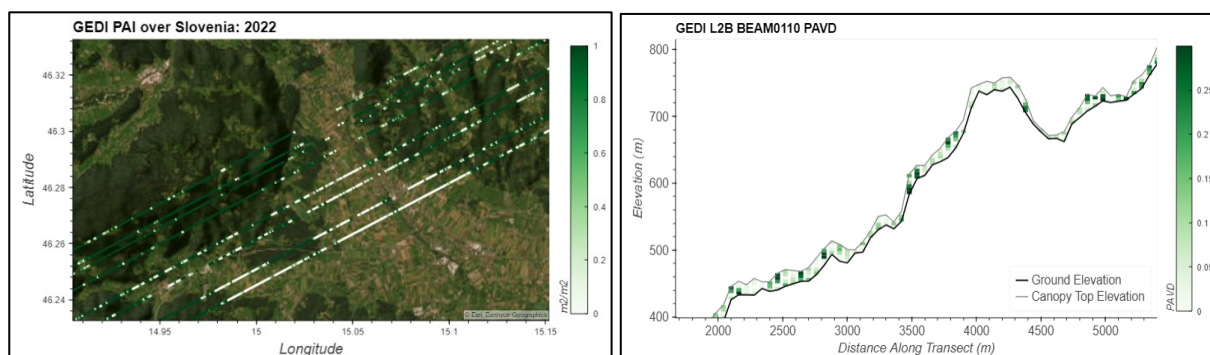
Slika 21: Primer izdelka GEDI L2A, meritve RH (levo), k RH meritvam so dodane nadmorske višine (desno) [17].

2.5.2.2 Stopnja obdelave L2B

Podatki L2B vsebujejo koordinate (geografska dolžina, geografska širina), višino in meritve profila krošenj za vsak laserski odtis. Kot L2A, so tudi L2B pridobljeni iz valovnih oblik L1B. Iz podatkov L2B dobimo predvsem parametre rastlin - indeks površine rastlin (PAI) in gostota površine rastlinja (PAVD) [30].

PAI (Slika 22 22, levo) je izdelek, ki nam poda informacije o gostoti in vitalnosti vegetacije. Višje vrednosti indeksa PAI pomenijo gostejšo krošnjo, ki ima več listov in obratno, manjše vrednosti PAI pomenijo redkejšo krošnjo z manj listi. Manjše vrednosti PAI so pokazatelji manjše biomase, na sliki so prikazane z svetlejšo zeleno oziroma belo barvo.

Z produktom PAVD (slika 22, desno) dobimo predstavo o tem, kašna je gostota krošenj na izbranem območju. Bolj goste krošnje so prikazane z temnejšim odtenkom zelene barve.



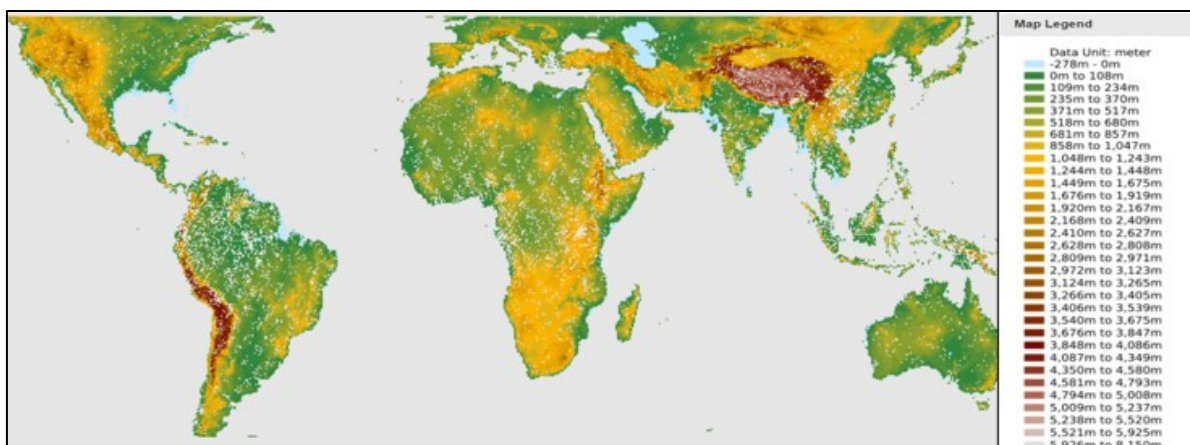
Slika 22: Primer izdelka GEDI L2B, PAI (levo) in PAVD (desno) [30].

2.5.3 Stopnja obdelave L3

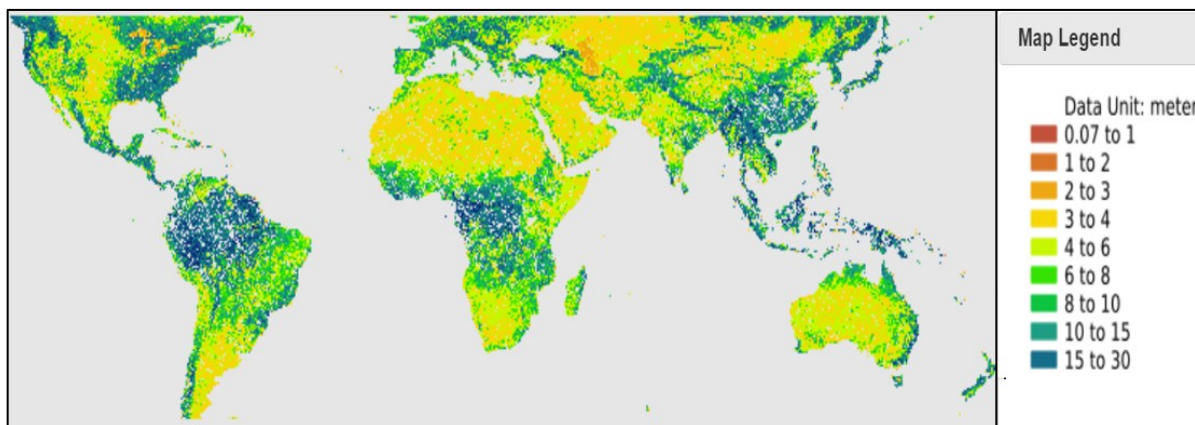
Podatki GEDI L3 vsebujejo združene granule stopnje L2A. Za razliko od nižje stopnje GEDI produktov, so ti že zelo obdelani podatki, primerni za obsežne analize in raziskave. Nudijo opis zemeljskih procesov in omogočajo učinkovito upravljanje z gozdovi, spremljanje podnebnih sprememb in biomase in pripomorejo k ugotavljanju, kako te spremembe vplivajo na celoten ekosistem. Produkti so:

- povprečna višina krošnje in standardni odklon višine krošnje,
- povprečna višina tal in standardni odklon višine tal,
- število laserskih odtisov za celice velikosti 1 km × 1 km [31].

Slika 23 prikazuje primer izdelka tretje ravni, kjer je zemeljska površina razdeljena na mrežo kilometrskih celic. Slika 24 prikazuje povprečno višino tal v metrih. Relativno povprečno višino krošenj (RH100, enota meter).



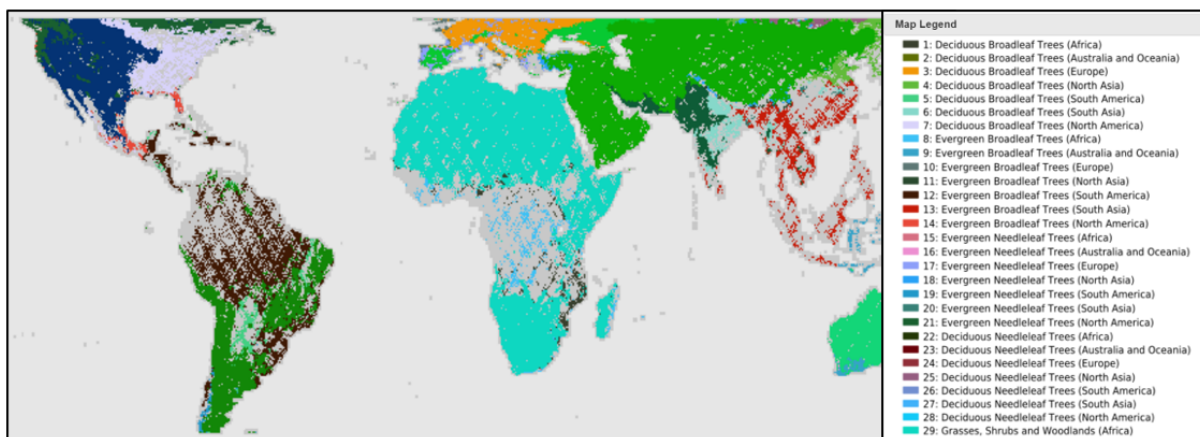
Slika 23: Primer izdelka GEDI L3; zemeljska površina [31].



Slika 24: Primer izdelka GEDI L3; povprečna višina krošenj (RH100) [31].

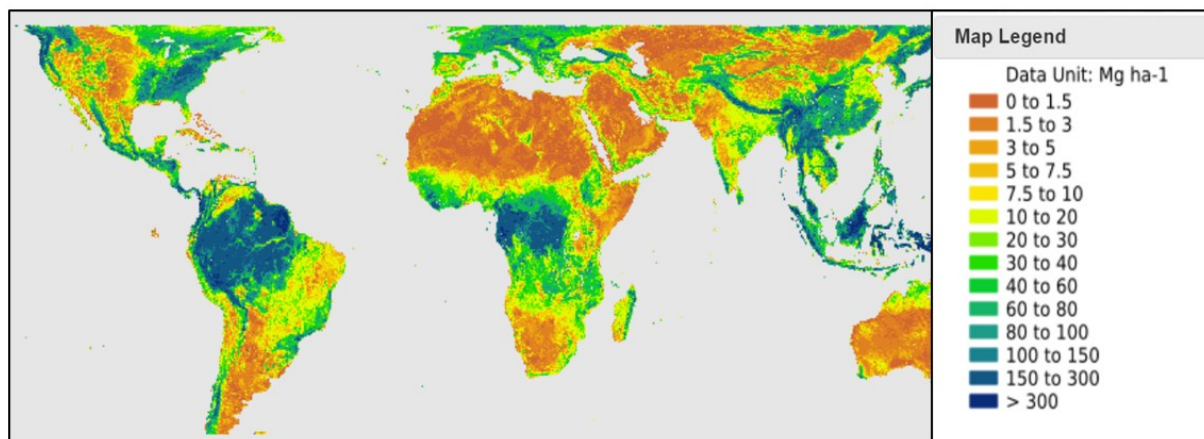
2.5.4 Stopnja obdelave L4

Podatki GEDI L4 omogočajo globalni vpogled za še bolj kompleksne analize. Gre za vzorčenje na mreže $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ in so cenilci povprečne gostote nadzemne biomase kot tudi cenilci standardne napake znotraj vzorčenja [32]. Slika 25 kaže pričakovano napoved sloja listavcev in zimzelenih dreves.



Slika 25: Primer izdelka GEDI L4 pričakovana napoved sloja v mrežnem prikazu [32].

Naslednji produkt pove, kako je vegetacija razporejena na površju Zemlje glede na količino biomase nad tlemi. Je en izmed pomembnih parametrov za oceno zdravja ekosistemov in kakšen vpliv ima vegetacija na okolje. Prikaz kakšna je vegetacijska struktura Zemlje je viden na spodnji sliki (slika 26).



Slika 26: Primer izdelka GEDI L4B povprečna nadzemna gostota biomase oziroma AGBD (Aboveground Biomass Density) [32].

2.6 Format podatkov GEDI

Podatke NASA GEDI nižje ravni dobimo v podatkovnem formatu HDF5 (Hierarchical Data Format version 5), ki je namenjenim za velike količine podatkov. Struktura same datoteke omogoča hierarhično shranjevanje, ki vključuje skupine in nize podatkov [33]. GEDI opazovanja so sestavljena iz laserskih impulzov, kjer imamo za vsakega podatek o njegovi lokaciji, intenziteti odboja ter druge podatke. Oblika HDF5 nudi shranjevanje metapodatkov GEDI. Metapodatki zagotavljajo dodatne informacije, dodajo opis vsebine in so ključni za lažje razumevanje. Tovrstni podatki so organizirani na način, da je poizvedovanje po njih učinkovito in hitro.

Podatki višje ravni L3 in L4 so shranjeni v formatu GeoTIFF (GeoTagged Image File Format), ki je razširjen format TIFF z dodano geografsko lokacijo (koordinatami).

2.7 Poimenovanje datotek

Poimenovanje granul oz. GEDI datotek sledijo točno predpisani obliki zapisa. Za vse ravni podatkov poteka zapis poimenovanja granule po spodnjem principu. Vsaka granula ima enolično določeno ime. Standardizirana oblika zapisa daje uporabnikom koristne informacije. Za primer datoteke GEDI L2A predstavljajo:

GEDI02_A_2022181061028_O20089_03_T03764_02_003_03_V002.h5

- **GEDI02_A**: krajše poimenovanje,
- **2022181**: julijanski datum pridobitve podatkov (LLLLDDD),
- **061028**: ure, minute in sekunde pridobitve (HHMMSS),
- **O20089**: O = orbita, 20089 = številka orbite,
- **03**: pod-orbitalna številka granule,
- **T03764**: T = tirnica, 04905 = številka tirnice,
- **02**: Positioning and Pointing Determination System (PPDS) tip (00 so predvidene, 01 hitre, 02 in ultra hitre oz. končne efemeride¹),
- **003**: PGE verzija = SDPS številka izida,
- **03**: produkcijska verzija granul,
- **V002**: številka verzije in
- **.h5**: oblika zapisa podatkov [29].

¹ Podatki o legi nebesnih teles v odvisnosti od časa

»Ta stran je namenoma prazna.«

3 METODOLOGIJA

Cilj dela je pregled podatkov nad Slovenijo in njihova praktična uporaba. Za doseg cilja je bila izbrana metodologija, sestavljena iz treh korakov, in sicer:

- pregled in pridobitev GEDI podatkov,
- obdelavo podatkov in pretvorbo v GeoJSON obliko v Jupyter Notebook
- vizualizacija obdelanih podatkov v programu QGIS in prostorska analiza podatkov GEDI s prostorsko statistiko (primerjava z referenčnimi podatki DMK).

3.1 Pregled in pridobitev podatkov

3.1.1 Študijsko območje

Študijsko območje oziroma ROI je območje Slovenije. Po najnovejših podatkih (za leto 2021) Statističnega urada Republike Slovenije gozd pokriva 1.176.542 ha [34], kar predstavlja kar 58 % območja celotne države [5].

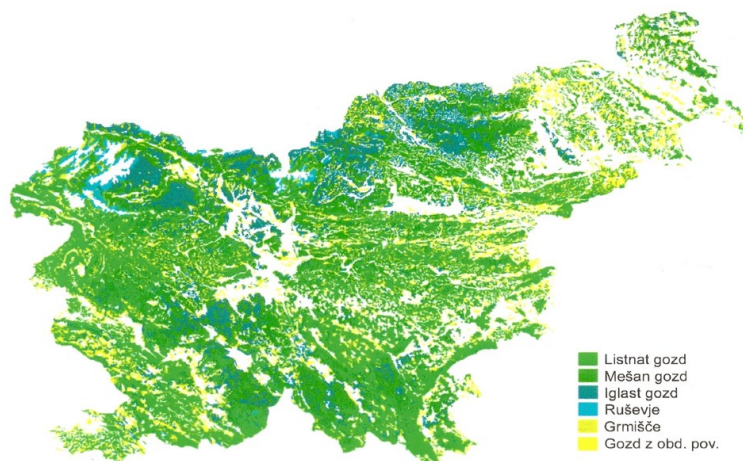
Povprečno višino dreves gledano za celotno Slovenijo je težko določiti, saj se geografska območja razlikujejo. Razlike so odvisne od same lokacije, nadmorske višine in podnebja. Na različnih območjih uspevajo različni tipi gozdov, z različnimi lastnosti in dosegajo različne starosti. Za potrebe gozdarstva se pogosto uporablja delitev na območja, imenovana provenienčna območja. Vsako območje vsebuje drevesne vrste ali druge populacije organizmov podobnih značilnosti. Na območju Slovenije obstaja 7 provenienčnih območij (slika 27), ki se dodatno delijo še na podobmočja [35].



Slika 27: Provenienčna območja Slovenije [36].

Slika 28 prikazuje gozdne tipe na območju države Slovenije, kjer prevladuje listnati in mešani gozdovi. Najmanj gozda opazimo na predpanonskem provenienčnem območju, med tem ko je dinarsko območje najbolj gozdnato. Iglavci, kot so npr. bor, jelka, macesen, v povprečju dosegajo višje višine kot listavci (npr. breza, lipa, bukev). Prav tako lahko iglavci uspevajo v nekoliko bolj ekstremnih okoljskih pogojih,

kar jim omogoča rast tudi na višjih nadmorskih višinah. Višje višine krošenj zaznamo na območjih iglastih in mešanih gozdov.



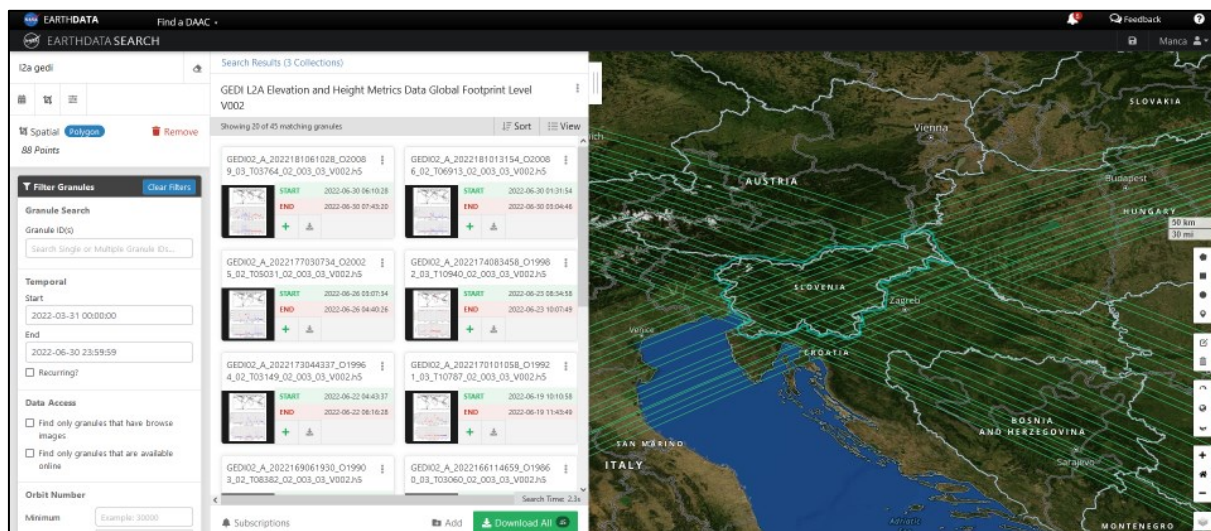
Slika 28: Gozdni tipi Slovenije [5].

3.1.2 Izbor in prenos podatkov

3.1.2.1 Podatki GEDI

Preko spletnega vmesnika LP DAAC smo prenesli GEDI L2 datoteke oz. granule, kjer vsaka granula nosi informacije podatkov GEDI in se nanaša na posamezen prehod določenega območja v formatu HDF5. Pri izbihi datotek je bilo potrebno upoštevati kar nekaj dejavnikov, od katerih je odvisna uspešnost izvedbe analize. In sicer, prenos optimalnega števila granul; saj preveč granul lahko povzroči preobremenjenost pri izvajanju računalniških operacij in podaljša čas obdelave, obenem pa višje število prenesenih datotek omogoča boljšo časovno pokritost in s tem zvišuje natančnost analize. Drugi dejavnik je velikost območja obdelave; manjše območje zahteva manjše število granul, medtem ko se za celovito analizo večjih območij število potrebnih datotek poveča.

Za analizo sem pridobila podatke, ki pokrivajo čim večjo površino območja Republike Slovenije. Časovno sem želela najbolj ažurne podatke. Pri iskanju sem se omejila na leto 2022, na pomladno obdobje, od meseca aprila do meseca julija, ko so krošnje dreves najbolj bujne. Slika 29 prikazuje potek razpoložljivih granul nad območjem Slovenije, za obdobje od 31. 03. 2022 (00:00:00) do 30. 06. 2022 (23:59:59).

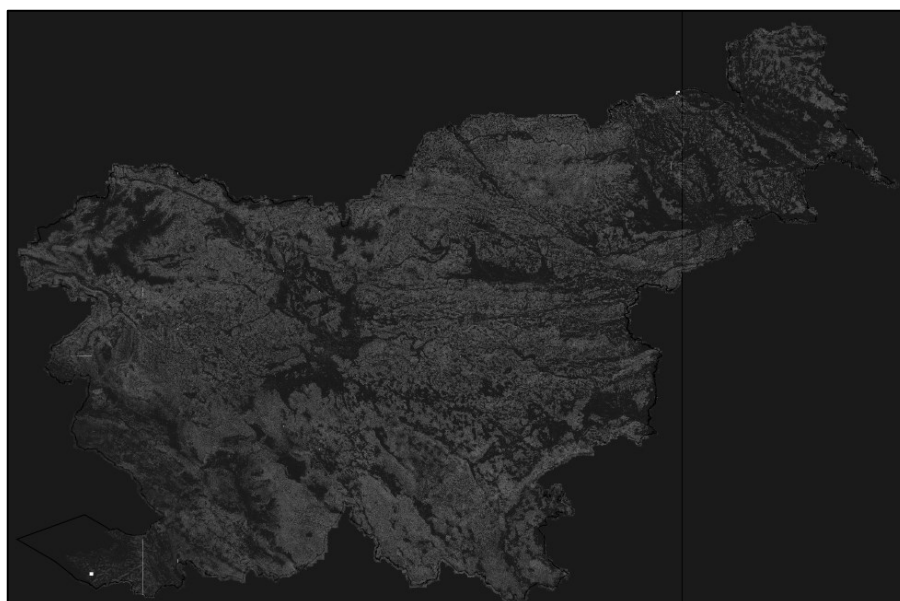


Slika 29: Pokritost območja Slovenije (ROI) z granulami in prenos razpoložljivih granul [27].

Za izbrane parametre je razpoložljivih in pridobljenih 40 granul (glej PRILOGO A).

3.1.2.2 Podatki o višini krošenj DMK

Podatki DMK so bili pridobljeni iz Gozdarskega inštituta Slovenije. Izračunani so iz podatkov lidarskega snemanja Slovenije 2014 in zagotavljajo podatke o višini drevja. Slika 30 prikazuje tovrstne podatke, prikazane v programu QGIS.



Slika 30: Virtualni rastrski sloj digitalnega modela krošenj (DMK).

3.2 Obdelava podatkov v obliki Jupyter Notebook

Zaradi številnih orodij za učinkovit uvoz, obdelavo, analizo in vizualizacijo podatkov, sem se odločila za obdelavo v Jupyter Notebook (v programskem jeziku Python). Za delo s podatki sem uporabila knjižnice:

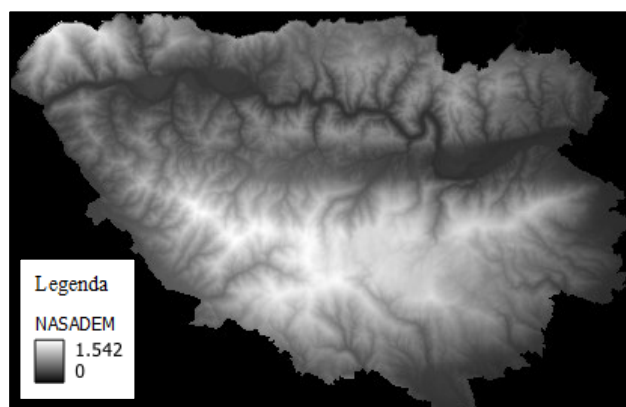
- Numpy: numerična obdelava, za učinkovito delo s podatki in delom z matrikami,
- Pandas in Geopandas: za lažje delo z geoprostorskimi podatki, kjer lahko uvažamo, filtriramo, združujemo in raziskujemo med podatkovnimi nizi,
- Holoviews: splošna knjižnica za interaktivno vizualizacijo podatkov in
- Geoviews: enostavna vizualizacija in raziskovanje med naborom prostorskih podatkov za prikaze zemljevidov, interakcijo z geografskimi podatki.

Obdelava GEDI podatkov je potekala s pomočjo Python skript, pripravljenih s strani znanstvenikov ter raziskovalcev Univerze Maryland v sodelovanju z znanstveno ekipo NASE, dostopne na arhivskem centru LP DAAC, na povezavi: <https://lpdaac.usgs.gov/resources/e-learning/getting-started-gedi-l2a-version-2-data-python/>.

3.3 Obdelava podatkov v programu QGIS

Geolokacijske podatke GEDI o višinah krošenj nad Slovenijo smo pregledali v programu QGIS, kjer uvažamo, vizualiziramo, analiziramo in obdelamo geografske podatke, vektorske ali rastrske oblike. Nudi nam tudi možnost izdelave in izvoza kart.

Pri prikazu smo uporabili vtičnik Qgis2threejs, ki omogoča 3D vizualizacijo digitalnega modela višin in vektorskih podatkov. Kot višinsko podlago smo uporabili digitalni model reliefa NASADEM (slika 31) dostopen na spletu Earthdata Search in topografsko podlago ortofoto, pridobljena preko vmesnika WMS na portalu E-prostor, Geodetske uprave Republike Slovenije, za predstavo o tem, kaj na površju je. Z podlago o rabi gozda smo izpostavili gozdne površine. Podlago o rabi tal smo pridobili na portalu MKGP, dostopnem na povezavi <https://rkg.gov.si/vstop/>.



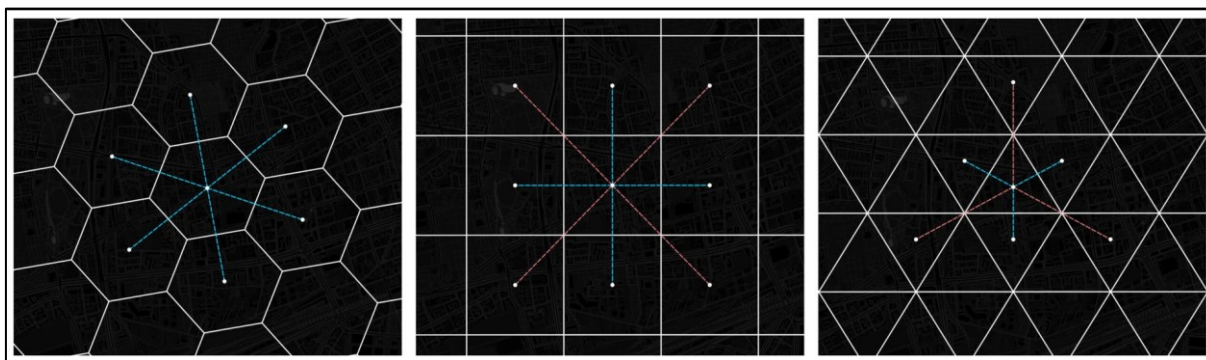
Slika 31: Prikaz podatkov NASADEM za pohorsko provenienčno območje v programu QGIS.

3.3.1 Prostorska analiza

Prostorska analiza podatkov GEDI je potekala z uporabo orodij, ki jih ponuja QGIS. Pri prostorski analizi smo uporabili virtualni rastrski sloj digitalnega modela krošenj DMK (slika 30) in podatke GEDI. Potek dela:

- izdelava vplivnega roba (buffer zone) točkam GEDI (premer 25 metrov),
- prenos statističnih vrednosti višin DMK na prej dobljene točke,
- izdelava mreže heksagonov ($h3Resolution = 8$) z dimenzijo stranice 461,35 metrov in
- prenos z metodami prostorskega združevanja (spatial join) izračun in vizualizacija končnih rezultatov (primerjava višin GEDI z višinami DMK) na mreži heksagonov.

V programu QGIS razdelimo območje Slovenije na mrežo šestkotnikov, imenovanih heksagoni H3. S pomočjo prostorske statistike nato prevzorčimo vrednosti na to ustvarjeno mrežo, kjer vsaka celica prevzame pripadajoče indekse. Tovrstna delitev prostorskega razdeljevanja se pogosto uporablja pri vizualizaciji prostorskih podatkov. Uporaba mrež omogoča enakomerno prekritje območja brez prekrivanj ali vrzeli (lastnost znana pod imenom »teselacija«). Teselirajo se lahko tudi kvadrati in trikotniki, vendar imajo šestkotniki ključno prednost: razdalja med središčnimi točkami dveh sosednjih šestkotnikov v mreži je vedno enaka. Skupaj z več drugimi prednostmi so šestkotniki zaradi tega idealni za geoprostorske analize [37]. Slika 32 prikazuje tri tipe prostorske delitve mrež.



Slika 32: Prostorska delitev na različne mreže za predstavitev prostorskih podatkov, in sicer: heksagonalna, pravokotna in trikotna mreža [37].

»Ta stran je namenoma prazna.«

4 ANALIZA REZULTATOV

4.1 Obdelava in analiza podatkov v programskem jeziku Python

Granule so bile preverjene na podlagi kakovosti. Občutljivost, količina odbite energije, amplituda in kakovost sledenja tlom morajo zadostiti pred določenim kriterijem. Ostalo je 21 granul, ki imajo zadostno količino kakovostnih posnetkov za nadaljnjo analizo. Preglednica 4 prikazuje granule, pri kateri so z rdeče obarvane tiste, ki ne izpolnjujejo kriterijev zadostne kakovosti. Dodan je podatek o preostalih kvalitativnih posnetkih znotraj granule.

Preglednica 4: Granule L2A, preverjene na podlagi kakovosti.

Št.	Granula	Quality shots remained
1	GEDI02_A_2022181061028_O20089_03_T03764_02_003_03_V002.h5	5591
2	GEDI02_A_2022181013154_O20086_02_T06913_02_003_03_V002.h5	39071
3	GEDI02_A_2022177030734_O20025_02_T05031_02_003_03_V002.h5	3400
4	GEDI02_A_2022174083458_O19982_03_T10940_02_003_03_V002.h5	39584
5	GEDI02_A_2022173044337_O19964_02_T03149_02_003_03_V002.h5	9616
6	GEDI02_A_2022170101058_O19921_03_T10787_02_003_03_V002.h5	36305
7	GEDI02_A_2022169061930_O19903_02_T08382_02_003_03_V002.h5	20515
8	GEDI02_A_2022166114659_O19860_03_T03060_02_003_03_V002.h5	46864
9	GEDI02_A_2022165075550_O19842_02_T08076_02_003_03_V002.h5	16609
10	GEDI02_A_2022162132334_O19799_03_T01331_02_003_03_V002.h5	0
11	GEDI02_A_2022161093221_O19781_02_T00502_02_003_03_V002.h5	0
12	GEDI02_A_2022158145957_O19738_03_T03565_02_003_02_V002.h5	0
13	GEDI02_A_2022154163608_O19677_03_T01836_02_003_02_V002.h5	5720
14	GEDI02_A_2022150181206_O19616_03_T04223_02_003_02_V002.h5	8051
15	GEDI02_A_2022150133332_O19613_02_T07219_02_003_03_V002.h5	17360
16	GEDI02_A_2022146194749_O19555_03_T05340_02_003_02_V002.h5	30371
17	GEDI02_A_2022143203611_O19509_03_T01591_02_003_03_V002.h5	19583
18	GEDI02_A_2022142212313_O19494_03_T05034_02_003_02_V002.h5	49740
19	GEDI02_A_2022138225817_O19433_03_T06151_02_003_02_V002.h5	37825
20	GEDI02_A_2022138181940_O19430_02_T00609_02_003_02_V002.h5	28450
21	GEDI02_A_2022134195421_O19369_02_T04725_02_003_02_V002.h5	37505
22	GEDI02_A_2022130213107_O19308_02_T11381_02_003_02_V002.h5	40549
23	GEDI02_A_2022128025857_O19265_03_T04483_02_003_02_V002.h5	25445
24	GEDI02_A_2022126230745_O19247_02_T06500_02_003_03_V002.h5	33745
25	GEDI02_A_2022124043524_O19204_03_T11139_02_003_02_V002.h5	33688
26	GEDI02_A_2022120061138_O19143_03_T07834_02_003_02_V002.h5	0
27	GEDI02_A_2022116074727_O19082_03_T10221_02_003_02_V002.h5	41098
28	GEDI02_A_2022112092327_O19021_03_T08492_02_003_02_V002.h5	47118
29	GEDI02_A_2022112044458_O19018_02_T10065_02_003_02_V002.h5	0
30	GEDI02_A_2022109101310_O18975_03_T01744_02_003_02_V002.h5	8599
31	GEDI02_A_2022108110039_O18960_03_T09303_02_003_02_V002.h5	50007
32	GEDI02_A_2022108062209_O18957_02_T00915_02_003_02_V002.h5	7723
33	GEDI02_A_2022105115012_O18914_03_T11093_02_003_02_V002.h5	37834
34	GEDI02_A_2022104075907_O18896_02_T01879_02_003_02_V002.h5	23610
35	GEDI02_A_2022101132701_O18853_03_T07788_02_003_02_V002.h5	2024
36	GEDI02_A_2022100093551_O18835_02_T09805_02_003_02_V002.h5	17317
37	GEDI02_A_2022097150330_O18792_03_T01637_02_003_02_V002.h5	55
38	GEDI02_A_2022096111216_O18774_02_T09346_02_003_02_V002.h5	43863
39	GEDI02_A_2022093163943_O18731_03_T08446_02_003_02_V002.h5	47542
40	GEDI02_A_2022092124822_O18713_02_T04771_02_003_02_V002.h5	25967

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati, dobljeni med obdelavo v Jupytru za izbrano pohorsko provenienčno območje. Granule GEDI (L2A), ki potekajo nad izbranim območjem so:

1. GEDI02_A_2022130213107_O19308_02_T11381_02_003_02_V002.h5
2. GEDI02_A_2022100093551_O18835_02_T09805_02_003_02_V002.h5
3. GEDI02_A_2022166114659_O19860_03_T03060_02_003_03_V002.h5
4. GEDI02_A_2022169061930_O19903_02_T08382_02_003_03_V002.h5

Prikazana je obdelava tudi za granulo (L2B), ki poteka nad izbranim območjem:

1. GEDI02_B_2022130213107_O19308_02_T11381_02_003_01_V002.h5

Obdelava poteka na pregledu granul in posameznih posnetkov (angl. shot) znotraj granul. Preglednica 5 prikazuje posnetke posamezne granule, ki smo jih v nadaljevanju analizirali.

Preglednica 5: Izbrani posnetek granul.

Granula L2A	Shot ID
1.	193080600200372221
2.	188350600200371426
3.	198600600300617283
4.	199030600200324231
Granula L2B	Shot ID
1.	193080600200369721

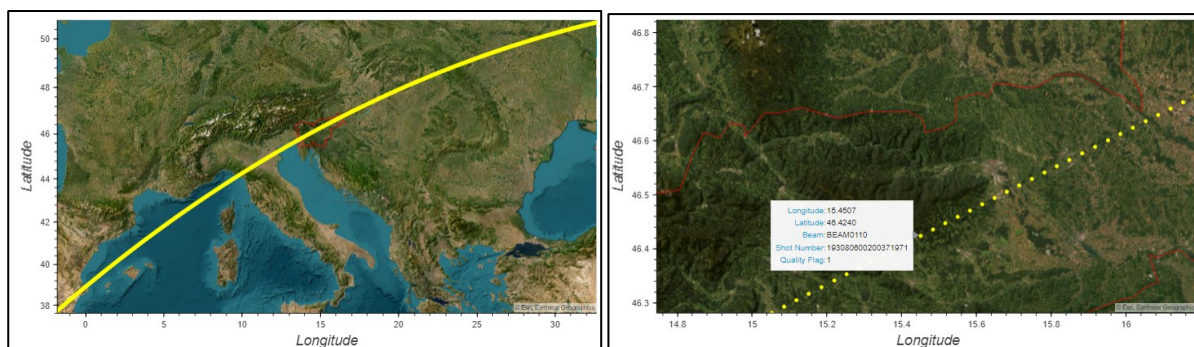
Prenesene granule smo obdelali v Jupyterovem Notebooku tako, da smo pregledali GEDI podatke na osnovi podatkovne skupine enega od osmih žarkov. Izbrali smo žarek polne pokritosti BEAM0110. Vsi žarki vsebujejo na tisoče posnetkov (angl. shot), kjer smo vsakemu stotemu posnetku pripeli pripadajoče podatke, kot so številka posnetka (angl. shot number), geografsko dolžino, geografsko širino, in indeks kakovosti posnetka. S tem smo ustvarili podatkovni okvir (angl. data frame) prikazan na sliki 33 [17].

	Beam	Shot Number	Longitude	Latitude	Quality Flag
0	BEAM0110	195550600300581839	-21.820255	51.783812	0
1	BEAM0110	195550600300581889	-21.782083	51.784196	0
2	BEAM0110	195550600300581939	-21.740774	51.784602	0
3	BEAM0110	195550600300581989	-21.699457	51.784919	0
4	BEAM0110	195550600300582039	-21.658905	51.785209	0
...	...	...	...	...	...
2836	BEAM0110	195550600300723639	55.258683	11.447592	0
2837	BEAM0110	195550600300723689	55.266471	11.437174	0
2838	BEAM0110	195550600300723739	55.274230	11.426757	0
2839	BEAM0110	195550600300723789	55.281997	11.416362	0
2840	BEAM0110	195550600300723839	55.290087	11.405527	0
2841 rows × 5 columns					

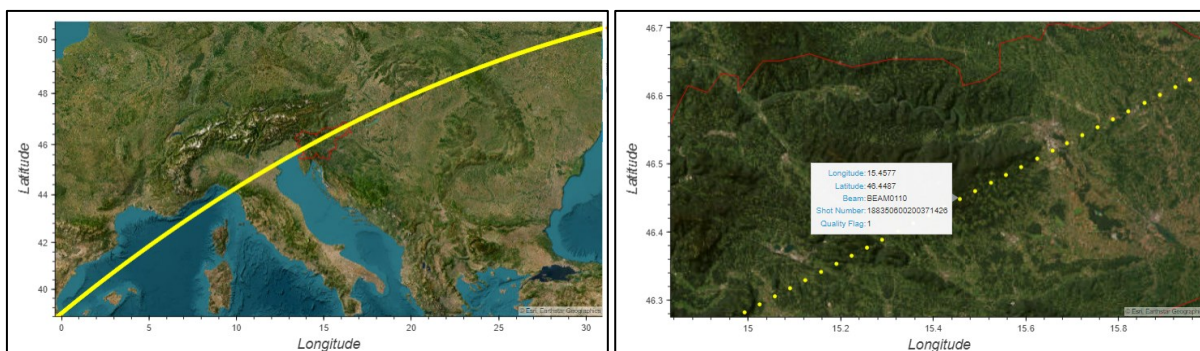
Slika 33: Primer podatkovnega okvirja (2841 vrstic × 5 stolpcov) za opis žarka (BEAM0110).

Podatkovnemu okvirju smo dodali dodaten atribut o geometriji posameznega posnetka in na ta način dobili geopodatkovni okvir, s katerim smo vizualizirali lokacijo izbranega posnetka. Za vizualizacijo smo potrebovali GeoJSON datoteko za mejno območje Slovenije oziroma ROI. GeoJSON datoteko smo pridobili na spletni povezavi: <https://geojson.io/#map=7.3/46.202/14.943> [17].

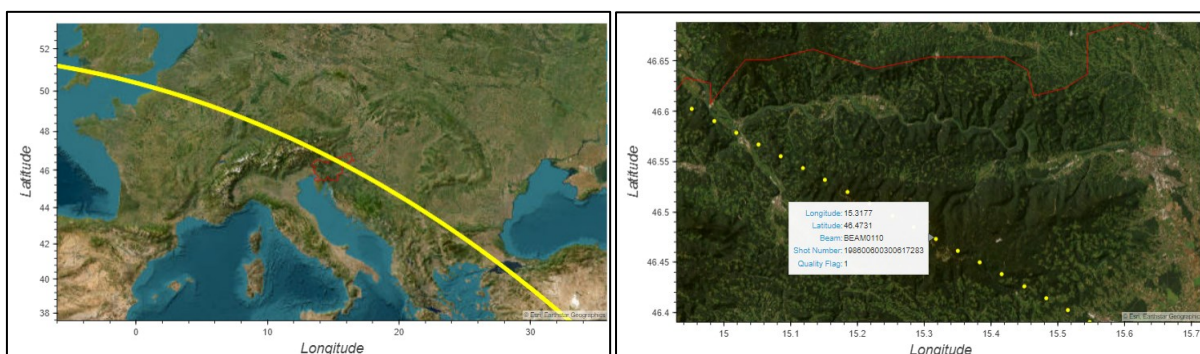
Spodnje slike (slika 34-slika 38) prikazujejo potek omenjenih granul nad širšim območjem kot tudi izbrane posnetke posamezne granule nad izbranim območjem Pohorja. Granule so bile posnete na dvigajoči se tirnici, z izjemo granule 3 (L2A), kateri podatki so bili zajeti na padajoči tirnici.



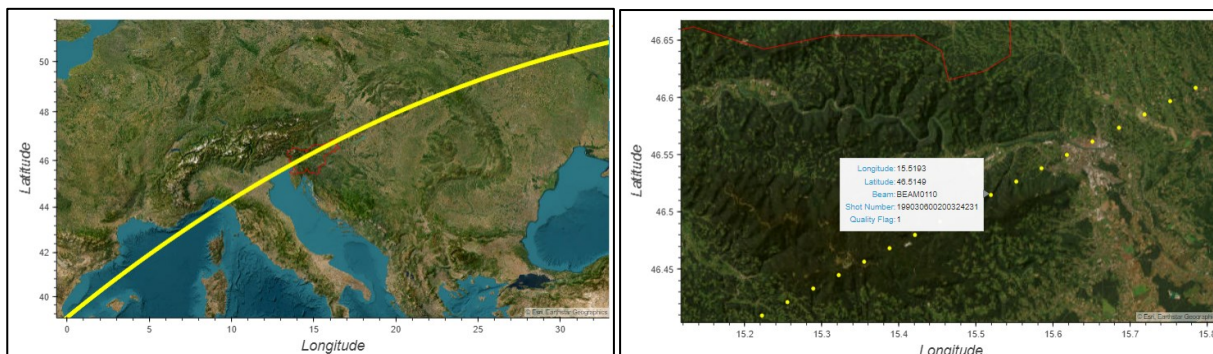
Slika 34: Granula 1 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).



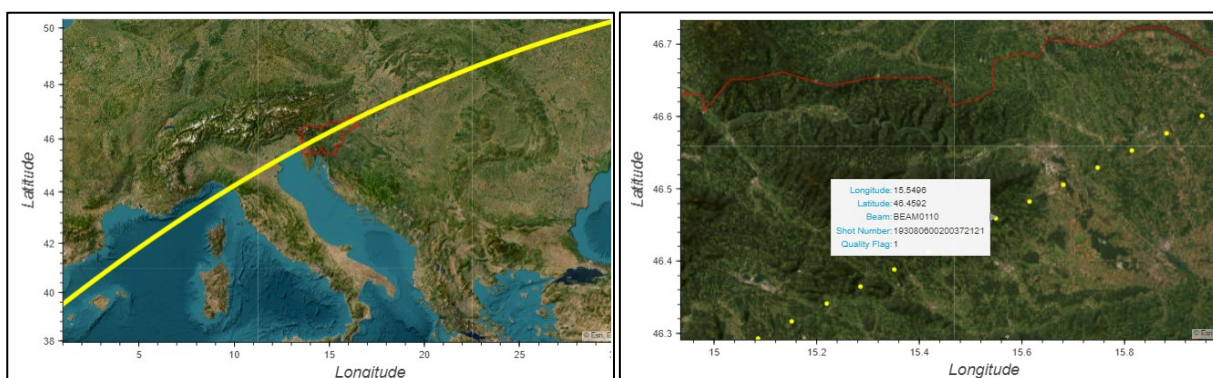
Slika 35: Granula 2 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).



Slika 36: Granula 3 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).



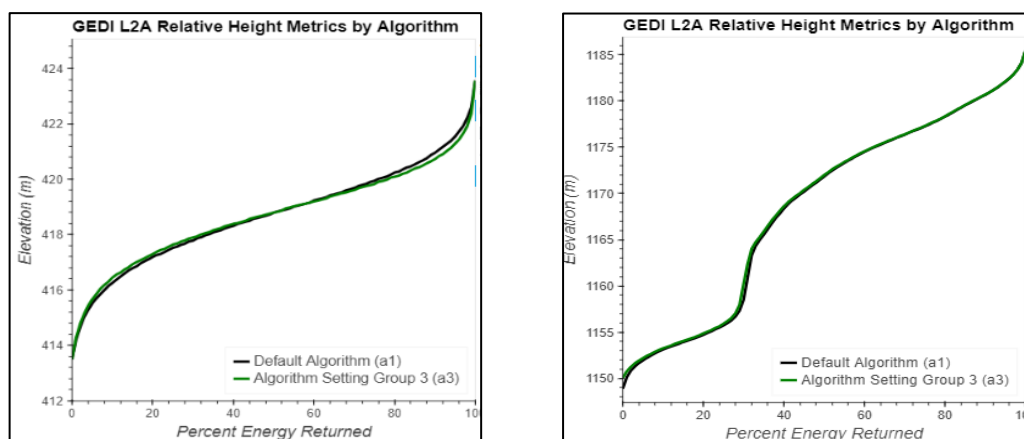
Slika 37: Granula 4 (L2A) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).



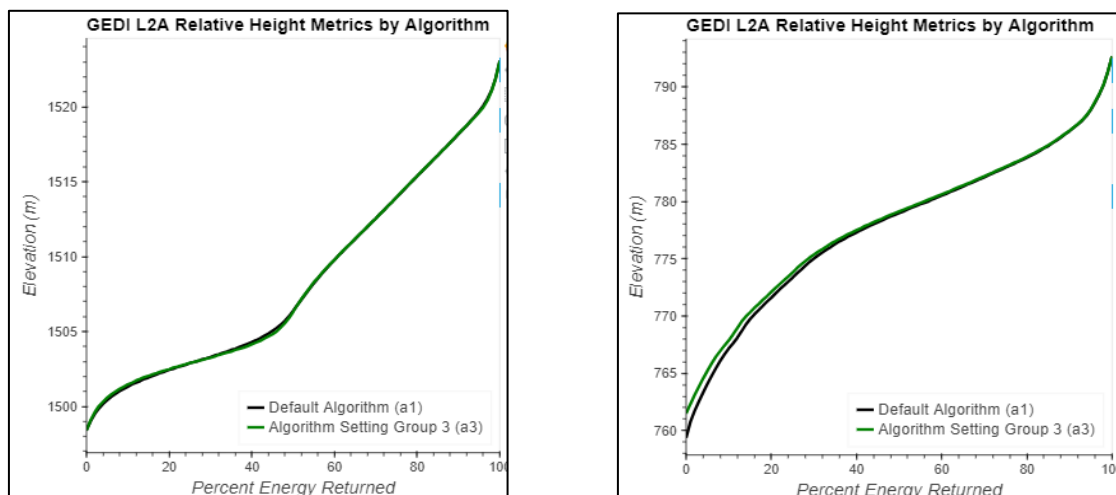
Slika 38: Granula 1 (L2B) nad širšim območjem (levo) in izbran posnetek nad izbranim območjem (desno).

4.1.1 Meritve višin na tleh, v in nad krošnjo ter gostota vegetacije s podatki GEDI

Meritve RH pridobimo z obdelavo GEDI podatkov stopnje obdelave L2A. Za obdelavo valovnih oblike se uporabijo različni algoritmi. Na podlagi značilnosti posnetkov je prevzet najprimernejši algoritem obdelave, ki v 2. verziji GEDI podatkov predstavlja algoritem z najmanjšo prisotnostjo šuma (angl. the lowest non-noise mode) [17]. Spodnji sliki (slika 39 in slika 40) prikazujeta obdelavo s privzetim algoritmom v črni barvi in z algoritmom skupine 3 v zeleni barvi. Po obdelavi opazimo, da je med izbranimi algoritmoma manjša razlika, ki pa na bistvenega vpliva na končne rezultate višin.



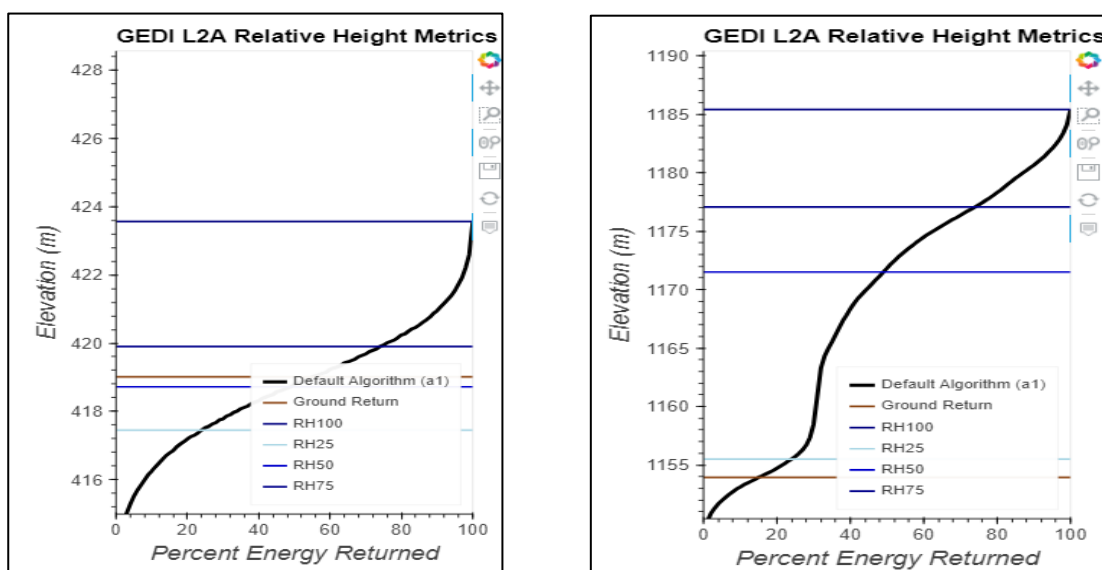
Slika 39: RH prikaz prevzet algoritem za granulo 1 (levo) in granulo 2 (desno).



Slika 40: GEDI RH prikaz privzetega algoritma za granulo 3 (levo) in granulo 4 (desno).

Pri prikazu metrik RH je potrebno poznati podatke o najnižjem (*lat_lowestmode*) in najvišjem (*lon_lowestmode*) odboju žarka in pripadajoči nadmorski višini (*elev_lowestmode*, *elev_highestreturn*), kot tudi sami lokaciji posnetka. Meritve relativne višine so shranjene v 1% intervalih. [17].

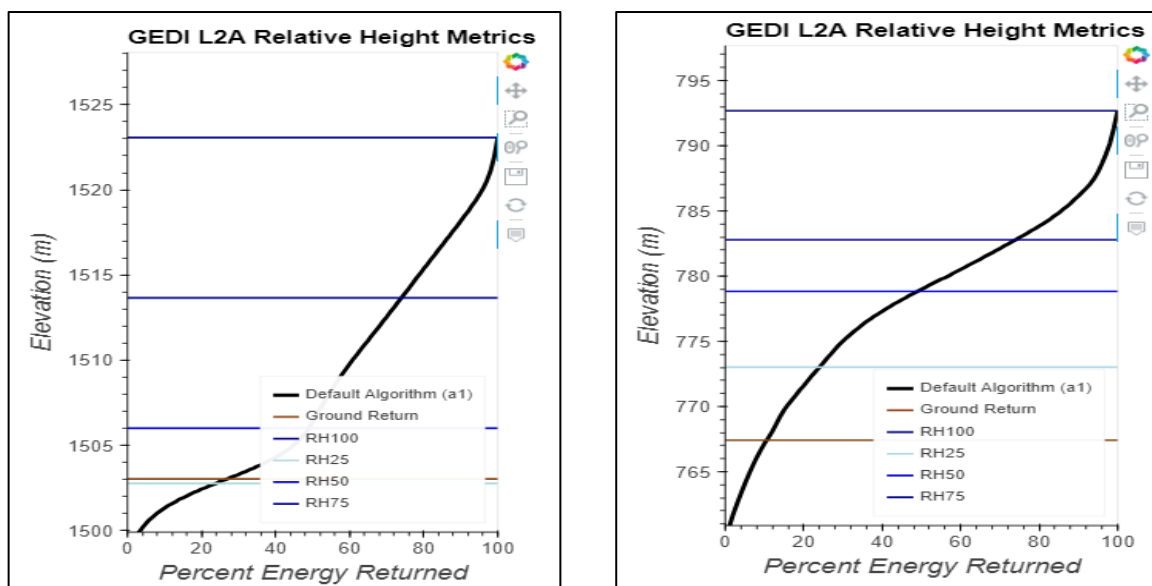
Slika 41 (levo) prikazuje meritve relativne višine za izbran posnetek granule 1, kjer je opazen najvišji odboj krošnje na nadmorski višini 423,5 metrov in odboj tal na 419 metrih. Najgostejši del krošnje RH25 je zaznan nižje od tal, kar nakazuje na nižjo vegetacijo. V primeru granule 2, je zaznan najvišji odboj na nadmorski višini 1185 metrov in odboj žarka od tal na približno 1155 metrih. Višina krošnje znaša 30 metrov, kjer je najgostejši del drevesne krošnje med 1172 metri in 1177 metri nadmorske višine.



Slika 41: GEDI L2A meritve RH; 1. granula (levo) in 2. granula (desno).

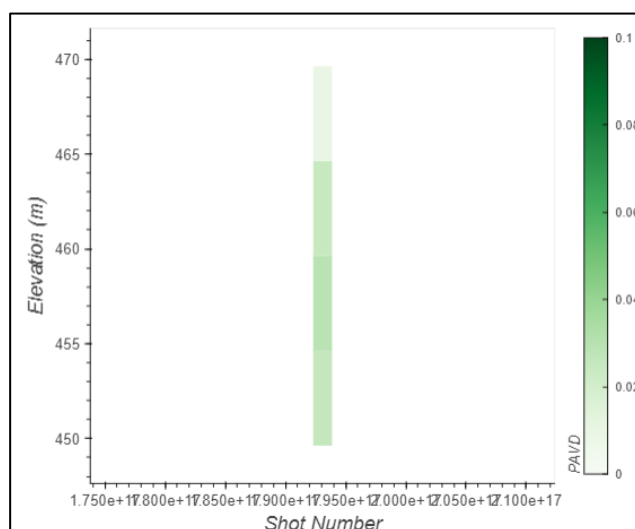
RH meritve 3. in 4. granule prikazuje slika 42. Odboj tal je bil zaznan nad 1500 metrov nadmorske višine. Sama višina krošenj znaša 21 metrov, kjer se gostejši del nahaja na spodnji polovici dreves. V

primeru 4. granule je odboj od tal zabeležen pri 767 metrov nadmorske višine. RH100 je zaznan na 793 metrih, kar pomeni, da povprečna višina krošenj znaša 25 metrov.



Slika 42: GEDI L2A meritve RH; 3. granula (levo), 4. granula (desno).

Profil PAVD predstavlja vertikalni profil gostote rastlinja, ki ga pridobimo z obdelavo podatkov GEDI ravni 2B. Iz podatkovnega seta PAVD smo določili vertikalne presledke in amplitudo odboja na posameznih višinah in jih združili s podatki o posameznem posnetku, in sicer s podatki o lokaciji ter nadmorski višini (*elev_lowestmode*, *lat_lowestmode* in *lon_lowestmode*) [30]. Na sliki 43 je predstavljen profil PAVD v različnih odtenkih zelene. Na podlagi indeksa PAVD ocenimo, da na območju posnetka ne gre za gosto vegetacijo.

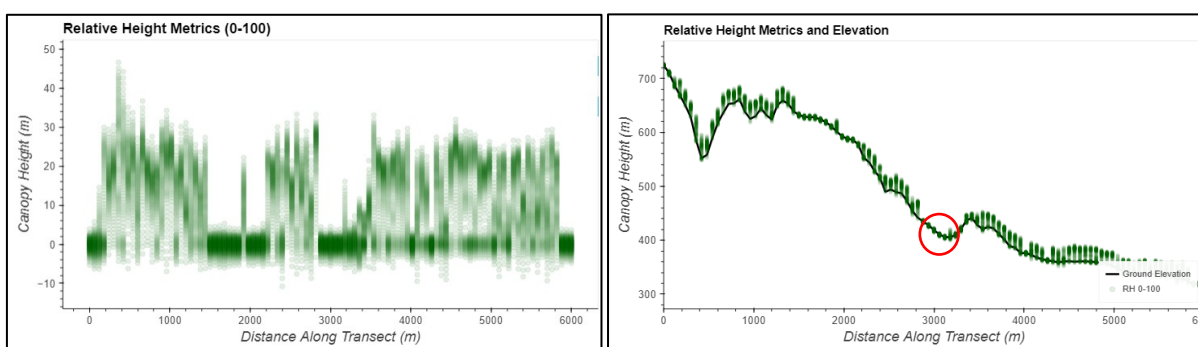


Slika 43: GEDI L2B granula 1, PAVD.

4.1.2 GEDI in 3D višinska struktura krošenj

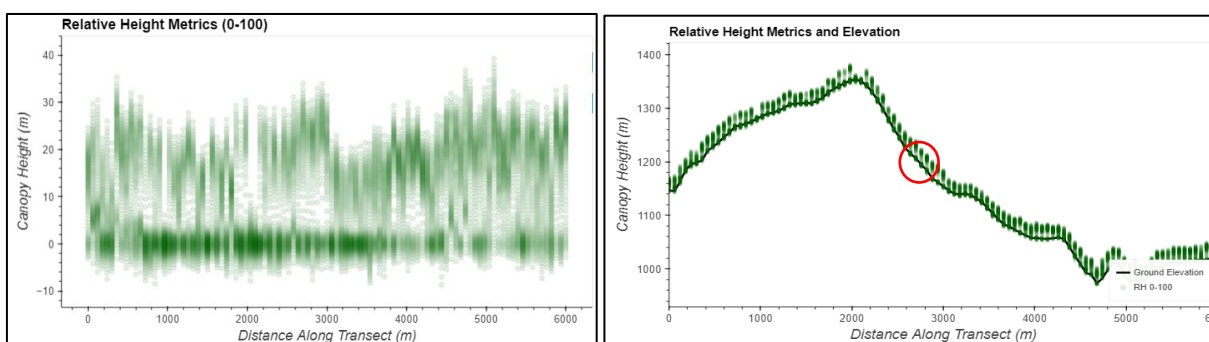
Spodaj smo prikazali rezultate stopnje obdelave L2A in L2B in jih povezali z nadmorsko višino. Meritve RH nudijo vpogled v višinsko strukturo krošenj. Ko višinam krošenj dodamo še vrednosti nadmorskih višin, dobimo sliko o 3D strukturi območja. Os x predstavlja višino krošenj, medtem ko os y razdaljo na talni poti. Na transektih smo z rdečo barvo označili območje meritev RH, in meritev PAVD prikazanih zgoraj (poglavje 4.1.1).

Na območju granule 1 (slika 44) prevladujejo drevesa z gostimi krošnjami, katere višina znaša od 25 do 30 metrov. Močan odboj od tal ponazarja gosto vegetacijo. Prazne vrzeli predstavljajo neporaščena območja. Najvišja zaznana nadmorska višina znaša 700 metrov, ki vzdolž sledi pada do 350 metrov.



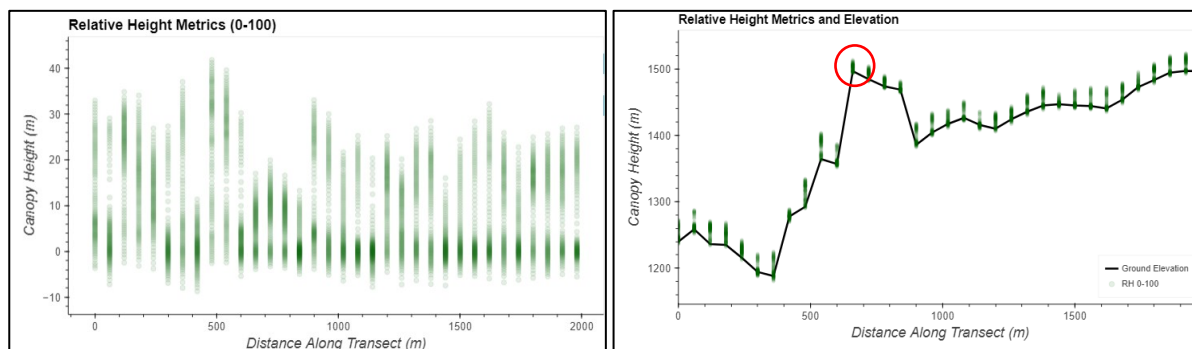
Slika 44: Prikaz višine krošenj (meritve RH) (levo) in nadmorske višine (desno), granula 1.

Krošnje na območju granule 2, ki jih prikazuje slika 45 so redkejšje, v primerjavi s prejšnjim prikazom. Govorimo o manj močnih odbojih krošenj in nekoliko boljšem odboju tal. Krošnje prekrivajo celotno območje poti GEDI granule in dosežejo višine od 20 do 30 metrov.



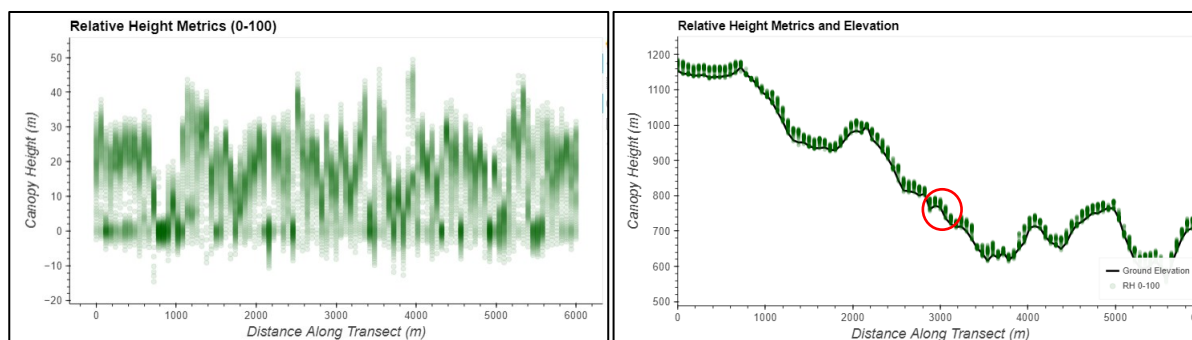
Slika 45: Prikaz višine krošenj (meritve RH) (levo) in nadmorske višine (desno) za granulo 2.

Za nekoliko drugačen teren gre v primeru 3. granule (slika 46). Najvišje zabeležena nadmorska višina znaša 1500 metrov. Na tem mestu smo si tudi pogledali zapis valovne oblike (glej Slika 42 42). Območje pokrivajo višja drevesa, ki sežejo tudi v višino do 40 metrov, ampak so krošnje le teh veliko redkejšje. Močnejši odtis je prisoten na nižji vegetaciji. Predvidevamo lahko da gre za območje iglavcev.



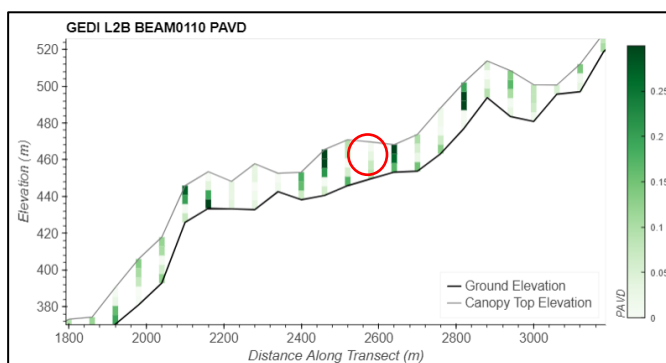
Slika 46: Meritve RH (levo) in nadmorske višine (desno), granula 3.

Območje 4. granule (slika 47) pokrivajo drevesa različnih višin, ocenimo, da gre za območje mešanega gozda, saj so opazno nizke kot tudi visoke krošnje. Te po večini segajo do 30 metrov, z nekaj izjem, ki sežejo tudi do 50 metrov. Govorimo o izjemno visokih drevesih na ozemlju Slovenije.



Slika 47: Meritve RH (levo) in nadmorske višine (desno), granula 4.

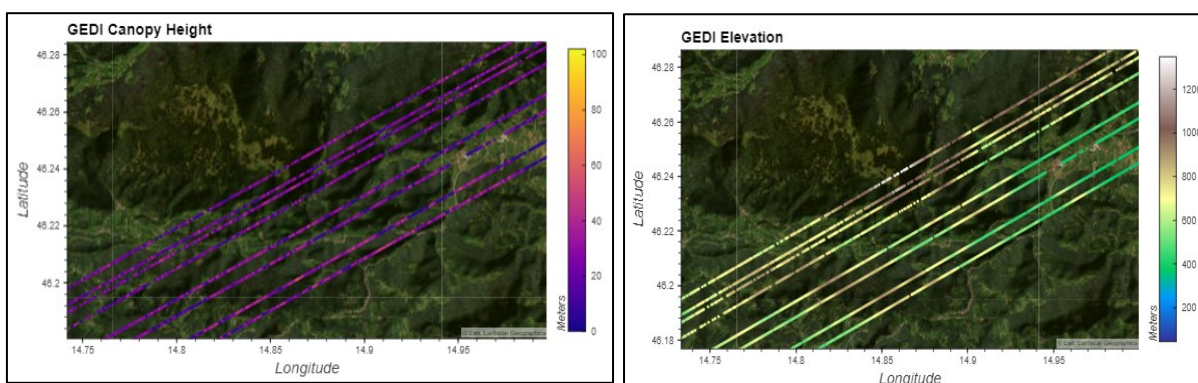
Slika 48 prikazuje PAVD za izbrani poti granule 1 (L2B). Opazimo, kako se spreminja gostota vegetacije vzdolž višinskega profila. X-os kaže gostoto vegetacije, y-os pa nadmorsko višino terena v metrih. Na poti, se nadmorska višina zvišuje iz 200 na 550 metrov. Gostota vegetacije je glede na predhodne primere nižja, z nekaj izjemami.



Slika 48: Meritve PAVD (L2B), granula 1.

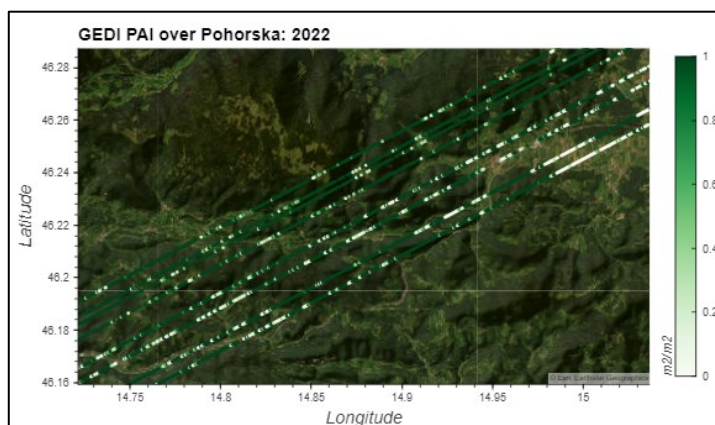
4.1.3 Prostorska vizualizacija

Slika 49 predstavlja vizualizacijo v Pythonu, ker gre za isto analizirano območje, je prikazana samo vizualizacija 1. granule (L2A). Os y predstavlja geografsko širino, medtem ko os x geografsko dolžino. Višine krošenj (slika 49, levo) in nadmorske višine tal (slika 49, desno) so vizualizirane v različni barvni lestvici. Višine krošenj v odtenkih vijoličaste in rumene. Vidimo lahko, da je povprečna višina dreves na izbranem območju približno 40 metrov. Če pogledamo zajete nadmorske višine, lahko rečemo, da je teren zelo razgiban, saj najvišji vrh preseže višino 1200 metrov, teren pa se spusti tudi do 300 metrov nadmorske višine.



Slika 49: Vizualizacija višin krošenj GEDI (levo) in nadmorske višine (desno) v Pythonu.

Zanimiva je vizualizacija PAI (slika 50), enega izmed produktov GEDI L2B granul. Nad izbranim območjem je približno polovico površja, kjer je vrednost PAI enaka ali blizu 0, na prikazu označena z belo barvo in svetlimi odtenki zelene barve. Pomeni, da ni prisotne vegetacije oziroma je ta zelo redka. Po vsej verjetnosti gre za urbana območja, kjer je vegetacija redkejša. Na drugi strani imamo dele površja, kjer PAI doseže vrednost 1. Gre za območja bujne vegetacije, kjer se listi rastlin in dreves prekrivajo.

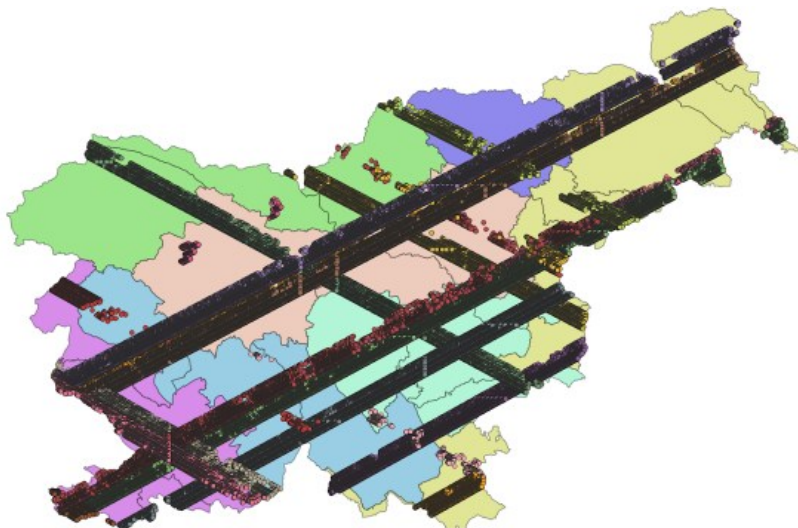


Slika 50: Vizualizacija GEDI PAI v Pythonu.

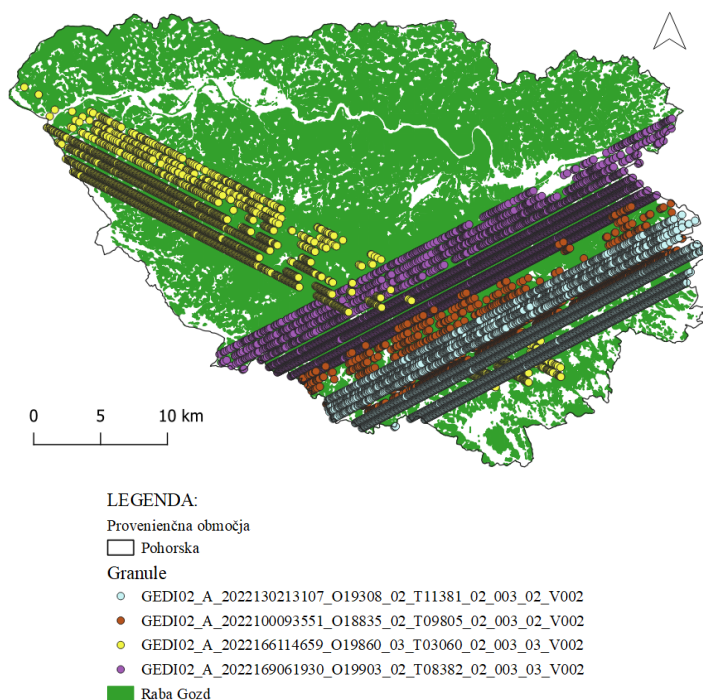
4.2 Obdelava v QGIS-u

4.2.1 Prostorska vizualizacija

GEDI granule ravni 2 smo pregledali za območje Slovenije, ki smo jo razdelili na provenienčna območja (slika 51). Slika 52 prikazuje provenienčno območje Pohorska s sekajočimi granulami. Opazimo strukturo vsake granule z osmimi tirnicami, sestavljenih iz točk, kjer vsaka točka predstavlja posamezen posnetek GEDI.

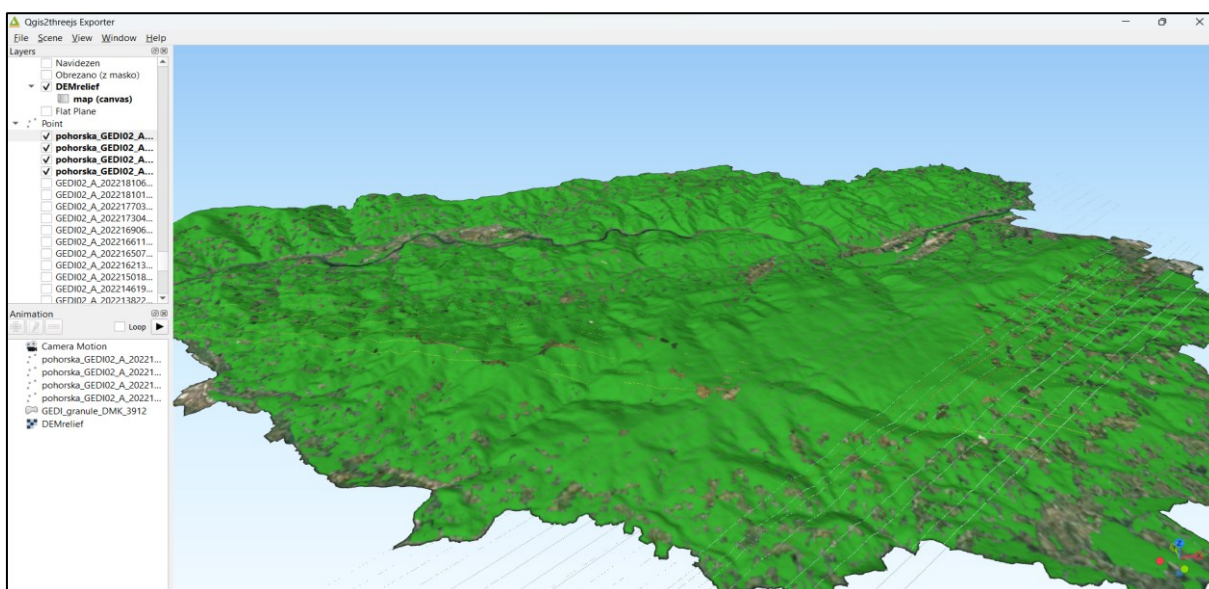


Slika 51: Granule (21) dobre kakovosti na podlagi provenienčnih območij.

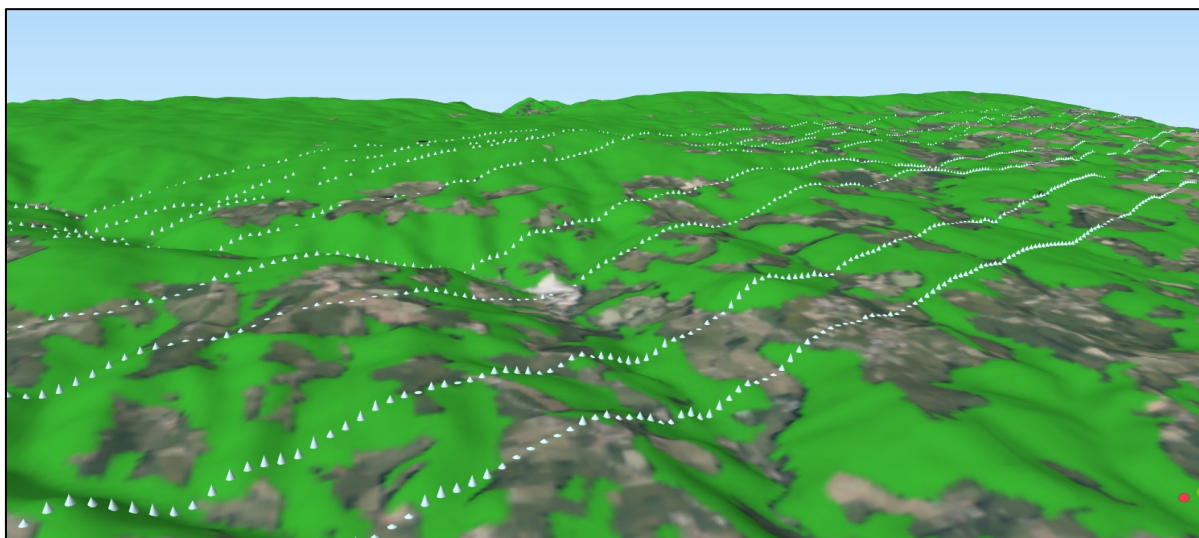


Slika 52: Pohorska z sekajočimi granulami stopnje obdelave L2A (4).

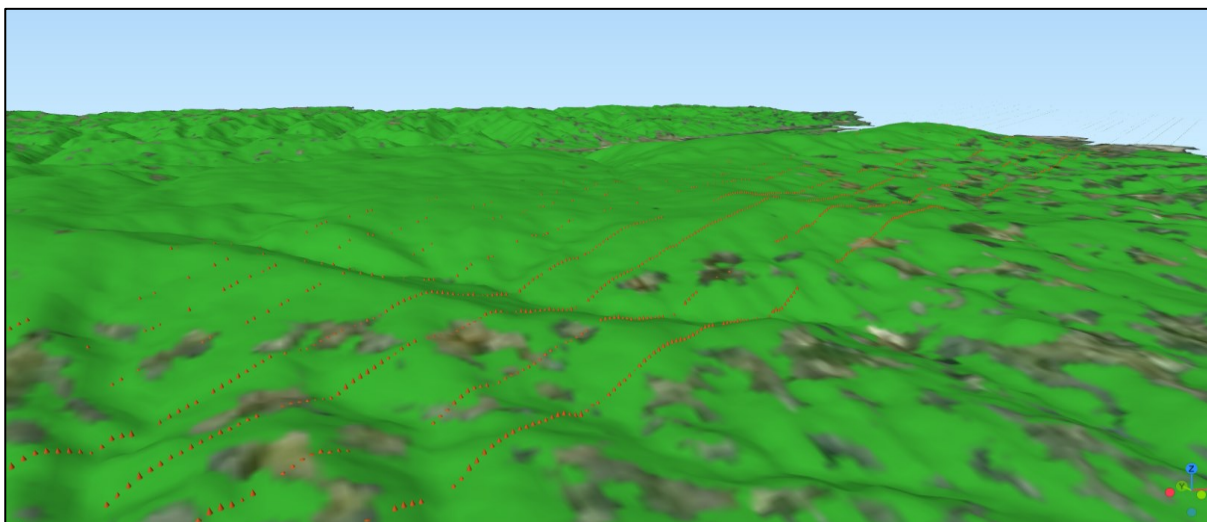
Pri 3D vizualizaciji s pomočjo vtičnika QGIS2threejs smo uporabili digitalni model višin NASADEM, na katerega smo pripeli podatke granul GEDI. Potrebno je bilo nastaviti nekaj parametrov, in sicer, kot obliko prikaza smo izbrali storžasto, ki najboljši približek obliki dreves. Posamezen storž prikazuje vrednost RH100, z radijem 15 metrov, da so na prikazu bolj vidna. Na sliki 53 je 3D prikaz območja Pohorska z granulami. Območje v večini prekriva gozdna površina. Ob severni meji z Avstrijo teče reka Drava skozi doline, obdane s strmimi in gozdnimi pobočji Pohorja. Pri granulah, kjer opazimo prazne vrzeli, gre za izpad posnetkov zaradi slabše kakovosti. Storži so različnih velikosti. Na območju gozdnih površin so le ti višji, nad urbanimi območji in nad območji, kjer vegetacija ni bujna, so storži opazno manjši. Spodnje slike (slika 54-slika 57) prikazujejo posamezne granule v različnih barvah.



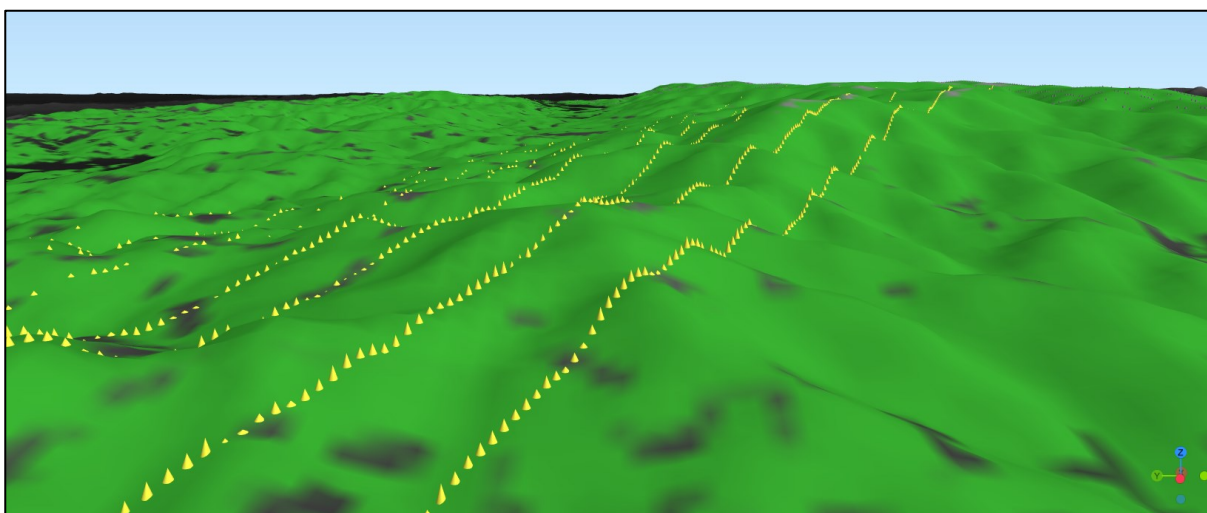
Slika 53: Območje Pohorska z 4. granulami.



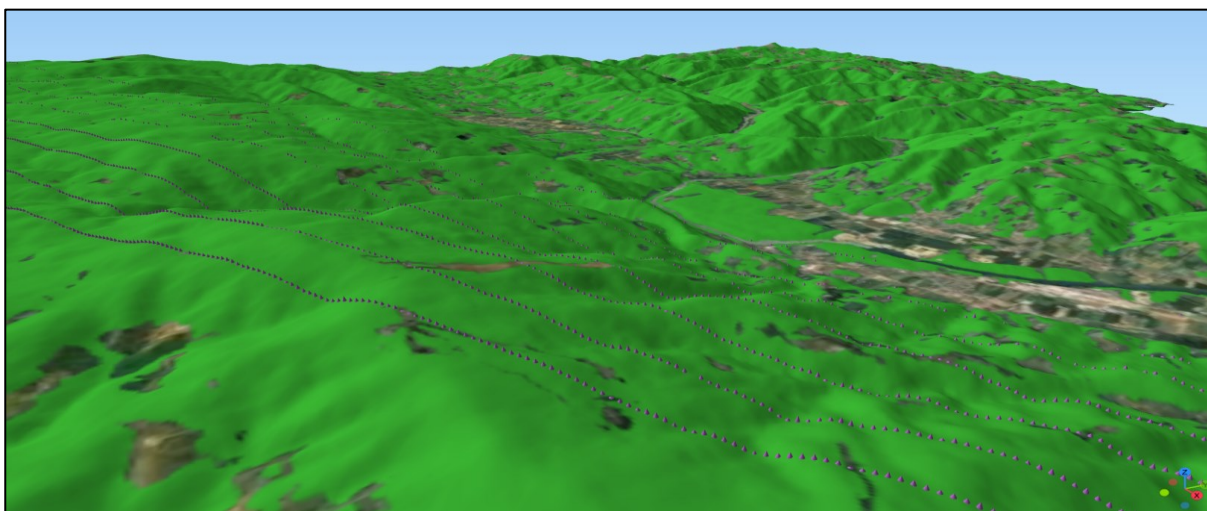
Slika 54: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 1).



Slika 55: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 2).



Slika 56: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 3).



Slika 57: Vizualizacija dreves z vtičnikom QGIS2threejs (granula 4).

4.2.2 Prostorska analiza podatkov GEDI

4.2.2.1 Prikaz podatkov GEDI in DMK

Prostorski podatki so prikazani s heksagoni. Podatki DMK so pripisani vsakemu heksagonu iz območij 25-metrskih celic GEDI. Dodane so meje v črni barvi, ki delijo provenienčna območja. Vrednosti višin dreves so prikazane v odtenkih rdeče. Svetlejši odtenki predstavljajo nižja drevesa, medtem ko temnejši odtenki prikazujejo višja drevesa. Pri tem so izpostavljene višine v vijoličasti barvi (od 40 do 50 metrov), saj gre za višine, ki so nekoliko višje od povprečja, kot tudi višine v zeleni barvi. Zelena barva prikazuje območja, kjer gre najverjetneje za napako pri določitvi višine (od 50 do 133 metrov), saj so drevesa take višine na območju Slovenije redka. Kljub temu, verjetnosti drevesa z omenjeno višino na ozemlju Slovenije ne izključujemo in je mogoča. Naziv najvišjega avtohtonega drevesa v Sloveniji je do pred kratkim pripadal Sgermovi smreki na Koroškem z višino 62 metrov. Po najnovejših meritvah pa je naziv najvišjega drevesa prevzela Pečovniška duglazija v Pečovniku pri Celju, z izmerjeno višino 67,02 metrov [38].

Metriki višin RH100 in RH98 nudita koristne informacije o sami vertikalni strukturi gozda. Slika 58 prikazuje višine dreves (RH100) in predstavlja višino drevesa na 100. percentilu, kar pomeni, da je na tej višini najvišji odboj laserskega žarka. Ta višina je presegla 99% ostalih krošenj v smislu višinskega odboja. RH100 da vpogled v maksimalno vrednost višine, ki jo dosežejo krošnje za območje heksagona.



Slika 58: GEDI višine dreves (RH100).

Nižja drevesa, od 0 do 24 metrov najdemo na submediteranskem provenienčnem območju, predvsem na Krasu, kjer ni opaznih večjih razlik v višinah. Govorimo o drevesih s podobnimi višinami krošenj. Drevesa nižje rasti uspevajo tudi na severovzhodnem delu države, na predpanonskem območju. Pri slednjem je nekoliko večja razlika vrednosti med sosednjimi heksagoni. Gre za prisotnost nižjih kot tudi višjih dreves, saj se prepletajo listnati in mešani gozdovi. Najvišje zabeležena drevesa so na območjih, kjer uspeva iglasti gozd in mešani gozd, na območju Alp in Dinarskega gorstva. Visoka drevesa opazimo na območju Koroške in vzhodnem predalpskem območju, kjer GEDI višine segajo tudi nad 50 metrov.

Podobno kot RH100 tudi RH98 opisuje višino drevesne krošnje, tokrat na 98. percentilu. Predstavlja višino krošenj, pri kateri je 98 % drevesne biomase in omogoča splošno predstavo o višinski strukturi gozda. Če metrika RH100 podaja informacije o maksimalni višini krošenj, je RH98 višina, ki jo je dosegla 98% drevesnih krošenj. Metrika RH98 na ta način nekoliko prezre ekstremno visoke krošnje in lahko rečemo, da opisuje »povprečno« višino krošenj. Večjih sprememb med prikazom RH100 in RH98 (slika 59) ne opazimo. Kar pomeni, da višine krošenj dreves v veliki meri dosežejo podobne višine kot je zaznana maksimalna višina, RH100.



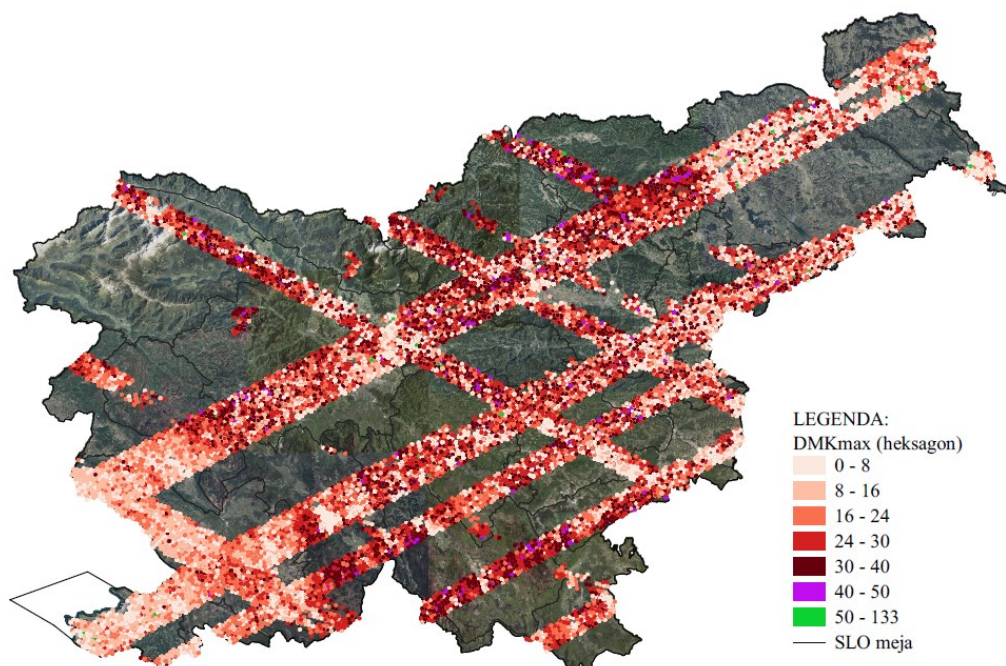
Slika 59: GEDI višine dreves (RH98).

Slika 60 kaže povprečne višine DMK. Po večini segajo do 24 metrov in redko presežejo to mejo. Večjih višin, označenih z vijoličasto in zeleno barvo, ne opazimo. Prikaz nekoliko posploši višine, saj izpadejo izjemno visoke krošnje.



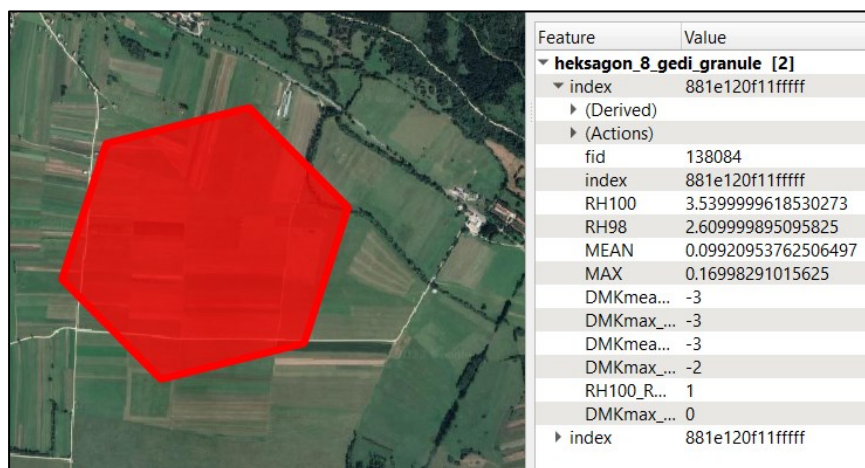
Slika 60: Povprečne višine dreves DMK.

Že po sami definiciji maksimalne vrednosti določajo največjo vrednost v določenem nizu podatkov. Povprečne višine in maksimalne višine, pridobljene iz DMK, dajejo različne rezultate. Zavedati se moramo, da so na karti heksagonov izpostavljene najvišje višine krošenj. Če si ogledamo severovzhodno območje države prevladujejo drevesa višine do 16 metrov. Ker gre za območje, kjer se nahajajo raznolika drevesa pa lahko tam najdemo tudi višja drevesa, ki segajo tudi do 30 metrov.



Slika 61: Maksimalne višine dreves DMK.

GEDI je manj občutljiv na vertikalno komponento višin manjših od štirih metrov. To pomeni, da je njegova sposobnost zaznati in zabeležiti odboje signalov kratkih višin slabša in zato nekoliko preceni višine zaznane nad golimi tlemi [16]. Zanimiv je prikaz višin golih tal, kmetijskih območij ali območij voda, kot je primer na sliki 62. Gre za območje naključno izbranega heksagona, ki pokriva površino brez dreves. Najvišja razlika med vrednostim RH in vrednostim DMK, znaša do 3,5 metrov. V tovrstnem primeru GEDI preceni višine.



Slika 62: Podroben pregled atributov naključnega heksagona.

4.2.2.2 Primerjava podatkov GEDI in DMK

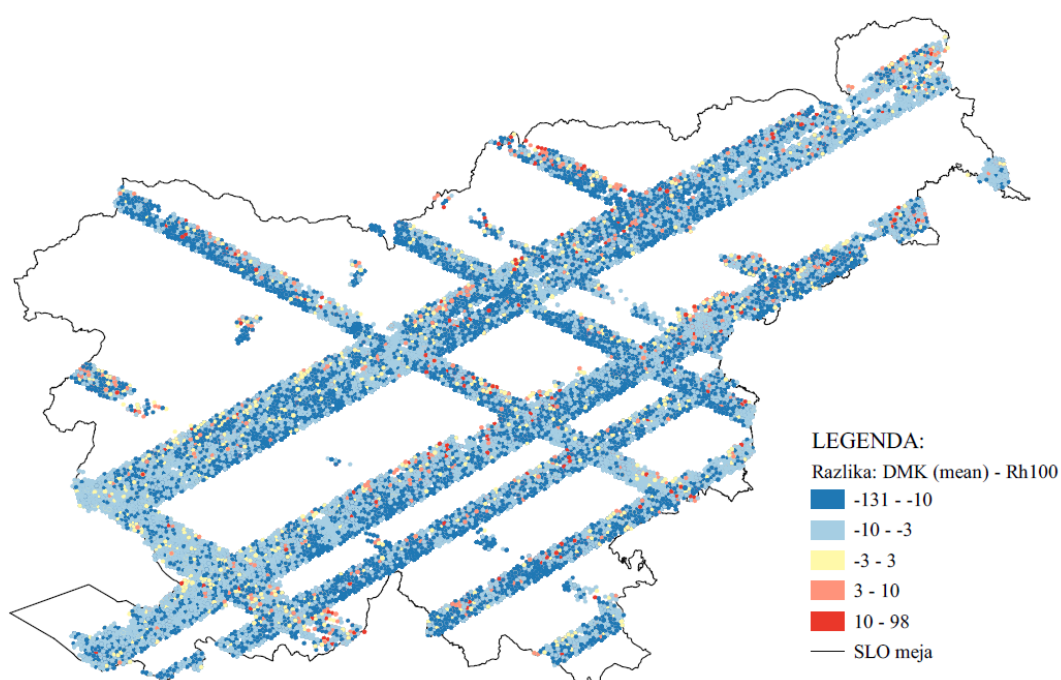
V nadaljevanju smo si ogledali napake z računanjem razlik med podatki DMK in GEDI. Na podlagi primerjave ocenjujemo uporabno vrednost podatkov GEDI.

Modre barve prikazujejo negativne razlike, medtem ko rdeče barve, pozitivne razlike. Središče lestvice, kjer je razlika najmanjša, predstavlja svetlo rumena barva. Na ta način so poudarjene razlike negativnih vrednosti in razlike pozitivnih vrednosti, izstopajo pa vrednosti z najmanjšim odstopanjem višin med DMK in GEDI.

Prikazali smo razlike:

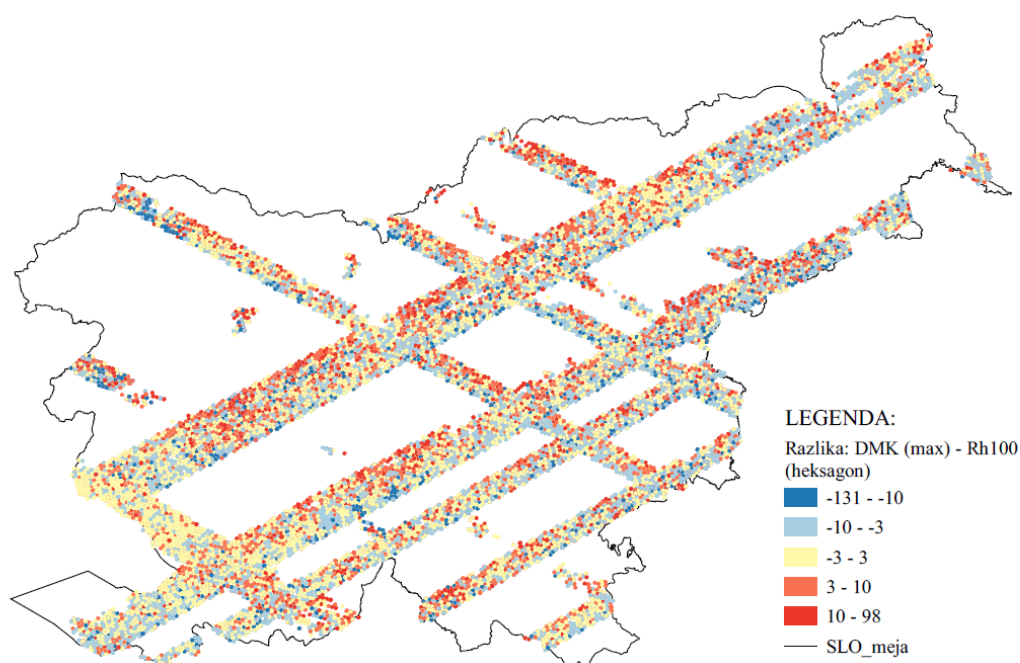
- DMK (mean) (2014) - RH100 (višina krošenj GEDI) (2022)
- DMK (max) (2014) - RH100 (višina krošenj GEDI) (2022)
- DMK (mean) (2014) - RH98 (višina krošenj GEDI) (2022)
- DMK (max) (2014) - RH198 (višina krošenj GEDI) (2022)

Razlika med povprečnimi vrednostmi višin DMK in višinam GEDI (RH100) (slika 63) je opazno negativna na celotnem območju Slovenije. Zaznane višine GEDI so višje od povprečnih vrednosti višin DMK. Negativna razlika znaša 3 metrov in več. To pomeni, da so zaznane višine GEDI RH100 višje za 3 metre in več od povprečnih vrednosti DMK. Rezultati so pričakovani, saj smo primerjali povprečne vrednosti višin ene metode z maksimalnimi vrednostmi višin druge metode.



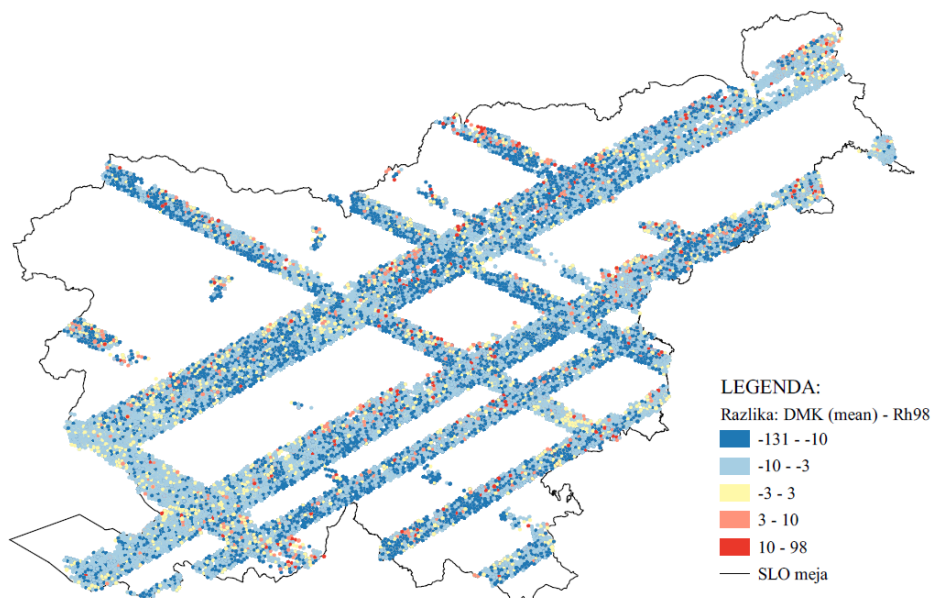
Slika 63: Razlika med povprečnimi višinami DMK in RH100.

V primeru, ko maksimalnim vrednostim DMK odštejemo vrednosti relativnih višin RH100 (prikazano na sliki 64), bi pričakovali dobljena odstopanja blizu ničle. Gre za primerjavo maksimalnih vrednosti višin DMK in najvišjih dreves GEDI. Odstopanja so pozitivna in negativna. Najmanjša odstopanja opazimo na Krasu. Nekoliko bolj prevladujejo pozitivne razlike, kar pomeni, da so visoka drevesa DMK višja od najvišjega drevesa izmerjenega s sistemom GEDI.



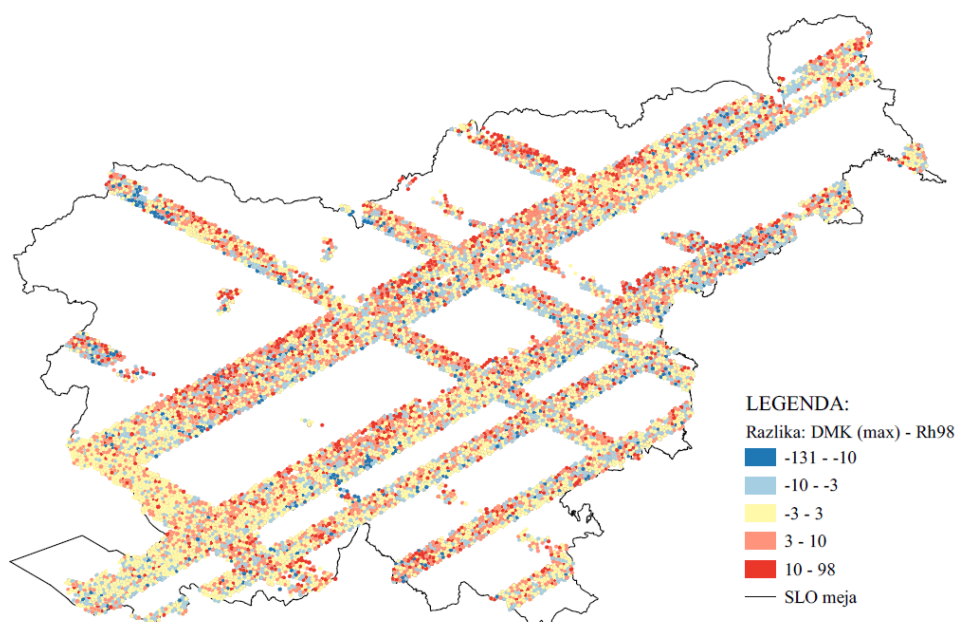
Slika 64: Razlika med maksimalnimi višinami DMK in RH100.

Razlika (slika 65) med povprečnimi vrednostmi višin DMK in višinam GEDI (RH98) je opazno negativna na celotnem območju Slovenije. Zaznane višine RH98 so nekoliko višje od povprečnih višin DMK. Negativna razlika znaša od -3 metre in več. To pomeni, da so višine GEDI RH98 višje za 3 metre in več od povprečnih vrednosti DMK. Višine GEDI RH98, kot tudi višine RH100 niso primerljive s srednjo vrednostjo višin DMK.



Slika 65: Razlika med povprečnimi višinami DMK in RH98.

Razlika med maksimalnimi višinami DMK in GEDI RH98 se v večini giblje med -3 metri do 10 metrov. Višine krošenj DMK so nekoliko višje od GEDI RH98, kar je razbrano iz prikaza na sliki 66.



Slika 66: Razlika med maksimalnimi višinami DMK in RH98.

5 ZAKLJUČEK

Natančnost GEDI podatkov je rezultat več dejavnikov, ki vključujejo lastnosti samega instrumenta in tehnologije ter tudi vplive zunanjih dejavnikov, kot so atmosferski pogoji. Da bi zagotovili visoko natančnost, se GEDI podatki preverjajo in združujejo z viri, kot so terenske meritve in drugi letalski/satelitski podatki. Cilj tega združevanja je povečati zanesljivost in natančnost podatkov.

Kljub tem prizadevanjem so se pri nekaterih zgodnjih uporabnikih pojavile težave pri usklajevanju GEDI podatkov z drugimi visoko ločljivimi posnetki za različne raziskovalne namene [2]. To poudarja, da kljub trudu za izboljšanje natančnosti še vedno obstajajo izzivi pri usklajevanju GEDI podatkov z ostalimi viri, kar je pomembno upoštevati pri interpretaciji rezultatov in prostorskih analizah.

Pri primerjavi ujemanja GEDI podatkov s podatki digitalnega modela krošenj (DMK) za območje Slovenije so bila zato že vnaprej pričakovana odstopanja. Prvič smo pričakovali odstopanja, ker se podatki, čeprav oboji prikazujejo višine krošenj, časovno ne ujemajo. DMK je bil zajet leta 2014, podatki GEDI pa so iz leta 2022. V teh letih je zabeleženih več posekov na območju države, ki so posledica številnih vremenskih vplivov. V letu 2014 je območje slovenskih gozdov prizadel žled in vetrolom nekoliko pozneje, v letu 2017. Oba sta povzročila znatno znižanje deleža gozda [39]. Drugič, gre za različna zajema podatkov nad zelo razgibanim in peštrim terenom. DMK je bil zajet iz letala, medtem, ko GEDI zajema podatke na ISS. Tretjič, pri izvedbi prostorskih analiz iz nižjega nivoja točk v radiju 25 metrov v višji nivo heksagona s stranico cca. 500 metrov pride do napak. Heksagoni, ki vsebujejo različne meje, predstavljajo posebna vprašanja. Na primer, višine krošenj na območju, kjer se stikajo meje različnih rab, npr. urbane površine in gozd. V tem primeru so višine krošenj lahko videti nižje kot so v resnici, saj pokrivajo tako mestno kot gozdno površino.

Izkazalo se je, da povprečna vrednost ni najboljša cenilka za ocenjevanje višin krošenj, zlasti ko so krošnje neenakomerno porazdeljene in ko vsebujejo odstopajoče vrednosti. Kadar so izrazite odstopajoče vrednosti, v predelih, kjer so zelo visoka drevesa kot tudi nižja, je mera srednje vrednosti nezanesljiva. Posledično je interpretacija napačna, saj je srednja vrednost precej višja ali nižja od večine dejanskih krošenj in je slaba predstavnica dejanskih višin. V primeru, ko gre za območje dreves podobnih višin je povprečna vrednost zadovoljiva.

Pri analizi smo zaznali nekoliko višja odstopanja kot bi si v resnici želeli. Ugotovili smo, da je GEDI manj občutljiv na vertikalno komponento višin manjših od 4 metrov, kar pomeni, da je njegova sposobnost zaznati in zabeležiti odboje signalov nižjih višin slabša. Pri analizi to pomeni, da nekoliko preceni višine nad golimi tlemi [16].

Na predelih, kjer so drevesa višja, opazimo tudi več 10 metrsko razliko med podatki GEDI in DMK. V splošnem največje ujemanje med podatki DMK (2014) in GEDI (2022) zaznamo na zahodnem delu

Slovenije, na Krasu. Sklepamo lahko, da je GEDI tehnologija bolj zanesljiva, kadar gre za krošnje, ki so manj goste, kjer lahko laserji GEDI brez težav prodrejo do tal. Najbolj primerljivi so podatki med maksimalnimi višinami, pridobljenimi iz DMK, in GEDI podatki RH98. Omenjen sloj GEDI RH98 je smiselno uporabiti za potrebe v gozdarstvu, saj so GEDI (2022) podatki novejši od podatkov DMK (2014) in dovolj kakovostni za uporabo na nivoju države.

Podatke GEDI se da obdelati in prikazati na različne načine. Pri izdelavi diplomske naloge smo podatke obdelali s Python kodo, ki je omogočila pregled in izpeljavo produktov; višine krošenj, valovne oblike itd. Vendar pa je tako podrobna obdelava podatkov bolj smiselna za manjša območja in ne za območja velikosti držav. Podatke GEDI smo prav tako obdelali s programom QGIS, kjer je sama obdelava bistveno lažja. Delo v programu QGIS je pomembno predvsem iz vidika prostorske vizualizacije podatkov GEDI, ki nudi še boljšo 3D predstavo o samem terenu in vegetaciji. Z diplomsko nalogo smo prišli do zaključka, da je tehnologija GEDI kljub svojim omejitvam uporabna za številne raziskave in analize predvsem za ugotavljanje vertikalne strukture gozdov in njihovih sprememb v času. Zanimiva bo tudi ponovna vzpostavitev delovanja GEDI, ki nam bo omogočila primerjavo arhivskih podatkov GEDI z najnovejšimi podatki.

VIRI

- [1] LP DAAC. 2022a. GEDI Overview. <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/collection-overview/missions/gedi-overview/> (Pridobljeno 3. 8. 2023.)
- [2] Tang, H., Stoker, J., Luthcke, S., Armston, J., Lee, K., Blair, B., in Hofton, M. 2023. Evaluating and mitigating the impact of systematic geolocation error on canopy height measurement performance of GEDI. In *Remote Sensing Environment* 291, p. 113571. DOI: 10.1016/J.RSE.2023.113571.
- [3] GEDI Ecosystem Lidar. 2022a. Mission Overview. <https://gedi.umd.edu/mission/mission-overview/> (Pridobljeno 30. 7. 2023.)
- [4] Blumenfeld, J. 2020. EARTH DATA. Earth in the Third Dimension. First GEDI Data Available. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/articles/first-gedi-data-available> (Pridobljeno 30. 6. 2023.)
- [5] Dubayah, R., Luthcke, S.B., Sabaka, T. J., Nicholas, J.B., Preaux, S. in Hofton, M. A. 2021. GEDI L3 Gridded Land Surface Metrics, Version 2. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORN LDAAC/1952>.
- [6] Zavod za gozdove Slovenije. 2023a. Gozdnatost in pestrost. http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/gozdnatost_in_pestrost/index.html (Pridobljeno 11. 7. 2023.)
- [7] Zavod za gozdove Slovenije. 2023b. Gospodarjenje z gozdovi in njihova raba. http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/gospodarjenje_z_gozdovi/gospodarjenje_z_gozdovi_in_njihova_raba/index.html (Pridobljeno 11. 7. 2023.)
- [8] Gozdarski inštitut Slovenije. 2014. LIDAR v gozdarstvu. <http://per-les.gozdis.si/wp-content/uploads/2015/03/6-LIDAR-v-gozdarstvu.pdf> (Pridobljeno 11. 7. 2023.)
- [9] Dubayah, R., Blair, B. J., Goetz, S., Fatoyinbo, L., Hansen, M., Healey, S., Hofton, M., Hurtt, G., Kellner, J., Luthcke, S., Armston, J., Tang, H., Duncanson, L., Hancock, S., Jantz, P., Marselis, S., Patterson, P. L., Qi, W., in Silva, C. 2020. The Global Ecosystem Dynamics Investigation, High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. *Science of Remote Sensing*. Volume 1. 100002. ISSN 2666-0172. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2020.100002>
- [10] Duncanson, I., Neuenschwander, A., Hancock, S., Thomas, N., Fatoyinbo, T., Simard, M., Silva, C. A., Armston, J., Luthcke, S. B., Hofton, M., Kellner, J. R., in Dubayah, R. 2020. Biomass estimation from simulated GEDI, ICESat-2 and NISAR across environmental gradients in Sonoma County, California. *Remote Sensing of Environment*. Volume 242. 111779. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111779>
- [11] Duncanson, I., Kellner, J. R., Armston, J., Dubayah, R., Minor, D. D., Hancock, S., Healey, S. P., Patterson, P. L., Saarela, S., in Marselis, S. 2022. Aboveground biomass density models for NASA's Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) lidar mission. *Remote Sensing of Environment*. Volume 270. 112845. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112845>
- [12] GEDI Ecosystem Lidar. 2022b. Instrument Overview. <https://gedi.umd.edu/instrument/instrument-overview/> (Pridobljeno 15. 7. 2023.)
- [13] National Aeronautics and Space Administration. 2010. Reference guide to the international Space Station. https://www.nasa.gov/pdf/508318main_ISS_ref_guide_nov2010.pdf (Pridobljeno 15. 8. 2023.)
- [14] Stopar, B. Višja geodezija. Predavanja in zapiski predavanj pri predmetu Višja geodezija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Osnovni pojmi o elipsoidu. Referenčni elipsoid: str 5.
- [15] Hofton, M. in Blair, B. J. 2019. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for GEDI Transmit and Receive Waveform Processing for L1 and L2 Products.

- https://lpdaac.usgs.gov/documents/581/GEDI_WF_ATBD_v1.0.pdf. (Pridobljeno 20. 6. 2023.)
- [16] Oštir, K. 2006. Daljinsko zaganjanje. Založba ZRC, Ljubljana. <https://doi.org/10.3986/9789612545215>.
- [17] Fayad, I., Ciais, P., Schwartz, M., Wigneron, J. P., Baghdadi, A. de Truchis, N., d'Aspremont, A., Frappart, F., Saatchi, S., Pellissier-Tanon A., in Bazzi, H. Vision Transformers, a new approach for high-resolution and large-scale mapping of canopy heights. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11487>.
- [18] Dubayah, R., Hofton, M., B. J. B., Armston, J., Tang, H., in Luthcke, S. 2021. GEDI L2A Elevation and Height Metrics Data Global Footprint Level V002. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. https://doi.org/10.5067/GEDI/GEDI02_A.002.
- [19] GEDI Ecosystem Lidar. 2022c. Technology. <https://gedi.umd.edu/mission/technology/> (Pridobljeno 15. 7. 2023.)
- [20] GEDI Ecosystem Lidar. 2022d. Mission technology. <https://gedi.umd.edu/mission/technology/> (Pridobljeno 15. 7. 2023.)
- [21] USGS. 2021. What is GEDI. <https://www.usgs.gov/media/videos/what-gedi> (Pridobljeno 5. 7. 2023.)
- [22] Evans C. A., in Robinson, J. A. 2023. Gateway To Astronaut Photography of Earth. Earth Sciences and Image Analysis. NASA Johnson Space Center. <https://eol.jsc.nasa.gov/Tools/orbitTutorial.htm> (Pridobljeno 18. 7. 2023.)
- [23] GEDI Ecosystem Lidar. 2022e. ISS Orbital Impacts. <https://gedi.umd.edu/mission/iss-orbital-impacts/> (Pridobljeno 20. 7. 2023.)
- [24] GEDI Ecosystem Lidar. 2022f. Calibration/Validation. <https://gedi.umd.edu/science/calibration-validation/> (Pridobljeno 20. 7. 2023.)
- [25] Dubayah, R. O., Luthcke, S. B., Sabaka, T. J., Nicholas, J. B., Preaux S., in Hofton, M. A. ORNL DAAC. 2021. Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI). Oak Ridge National Laboratory. https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dataset_list.pl?p=40. (Pridobljeno 10. 8. 2023.)
- [26] LP DAAC. 2023a. About the Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://lpdaac.usgs.gov/about/> (Pridobljeno 6. 7. 2023.)
- [27] LP DAAC. 2023b. https://lpdaac.usgs.gov/product_search/?collections=GEDI&status=Operational&view=list (Pridobljeno 10. 8. 2023.)
- [28] National Aeronautics and Space Administration. 2023. EARTHDATA. <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=gedi> (Pridobljeno 5. 8. 2023.)
- [29] Dubayah, R., Luthcke, S., Blair, J. B., Hofton, M., Armston, J. in Tang, H. 2021a. GEDI L1B Geolocated Waveform Data Global Footprint. Level V002. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. https://doi.org/10.5067/GEDI/GEDI01_B.002 (Pridobljeno 2. 7. 2023.)
- [30] Beck, J., Wirt, B., Armston, J., Hofton, M., Luthcke S., in Tang, H. 2021. GLOBAL Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI). Level 2 User Guide. https://lpdaac.usgs.gov/documents/988/GEDI02_User_Guide_V2.pdf (Pridobljeno 30. 6. 2023.)
- [31] Dubayah, R., Luthcke, S., Blair, J. B., Hofton, M., Armston, J. in Tang, H. 2021b. GEDI 2SB Canopy Cover and Vertical Profile Metrics Data Global Footprint. Level V002. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. https://doi.org/10.5067/GEDI/GEDI02_B.002 (Pridobljeno 2. 7. 2023.)
- [32] Dubayah, R. O., Armston, J., Kellner, J. R., Duncanson, L., Healey, S. P., Patterson, P. L., Hancock, S., Tang, H., Hofton, M. A., Blair, J. B. in Luthcke, S. B. 2022. GEDI L4A Footprint Level Aboveground Biomass Density, Golden Weeks. Version 1. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/2028> (Pridobljeno, 2. 7. 2023.)

- [33] The HDF Group. 2019. Intruduction to HDF.
<https://portal.hdfgroup.org/display/HDF5/Introduction+to+HDF5> (Pridobljeno 10. 8. 2023)
- [34] Statistični urad Republike Slovenije. <https://www.stat.si/StatWeb/> (Pridobljeno 15. 8. 2023.)
- [35] Služba Vlade Republike Slovenije za zakonodajo. 2003. Pravilnik o določitvi provenienčnih območij. (Uradni list RS, št. 72/03, 58/12 in 69/17).
- [36] Zavod za gozdove Slovenije. 2023c. Provenienčna območja.
http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/provenienčna_območja/index.html (Pridobljeno 10. 8. 2023.)
- [37] Sekste, A. in Kazakov, E. H3 Hexagonal Grid. Why We Use It for Data Analysis and Visualization. <https://www.kontur.io/blog/why-we-use-h3/> (Pridobljeno 6. 8. 2023.)
- [38] Kozjansko info. 2021. Spletni časopis Obsotelija in Kozjanskega. V Celju izmerili najvišje drevo v Sloveniji in šesto v Evropi. <https://kozjansko.info/2021/04/v-celju-izmerili-najvisje-drevo-v-sloveniji-in-sesto-v-evropi-foto-video/> (Pridobljeno 24. 8. 2023.)
- [39] Zavod za gozdove Slovenije. 2023d. Motnje, ki ogrožajo gozdove.
http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/motnje_ki_ogrozajo_gozdove/index.html (Pridobljeno 10. 8. 2023.)

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGE

Seznam prilog

PRILOGA A: Preglednica s prenesenimi granulami L2A in L2B

PRILOGA A

Št. granule	Ime posamezne granule L2A/L2B
1	GEDI02_A_2022181061028_O20089_03_T03764_02_003_03_V002.h5
2	GEDI02_A_2022181013154_O20086_02_T06913_02_003_03_V002.h5
3	GEDI02_A_2022177030734_O20025_02_T05031_02_003_03_V002.h5
4	GEDI02_A_2022174083458_O19982_03_T10940_02_003_03_V002.h5
5	GEDI02_A_2022173044337_O19964_02_T03149_02_003_03_V002.h5
6	GEDI02_A_2022170101058_O19921_03_T10787_02_003_03_V002.h5
7	GEDI02_A_2022169061930_O19903_02_T08382_02_003_03_V002.h5
8	GEDI02_A_2022166114659_O19860_03_T03060_02_003_03_V002.h5
9	GEDI02_A_2022165075550_O19842_02_T08076_02_003_03_V002.h5
10	GEDI02_A_2022162132334_O19799_03_T01331_02_003_03_V002.h5
11	GEDI02_A_2022161093221_O19781_02_T00502_02_003_03_V002.h5
12	GEDI02_A_2022158145957_O19738_03_T03565_02_003_02_V002.h5
13	GEDI02_A_2022154163608_O19677_03_T01836_02_003_02_V002.h5
14	GEDI02_A_2022150181206_O19616_03_T04223_02_003_02_V002.h5
15	GEDI02_A_2022150133332_O19613_02_T07219_02_003_03_V002.h5
16	GEDI02_A_2022146194749_O19555_03_T05340_02_003_02_V002.h5
17	GEDI02_A_2022143203611_O19509_03_T01591_02_003_03_V002.h5
18	GEDI02_A_2022142212313_O19494_03_T05034_02_003_02_V002.h5
19	GEDI02_A_2022138225817_O19433_03_T06151_02_003_02_V002.h5
20	GEDI02_A_2022138181940_O19430_02_T00609_02_003_02_V002.h5
21	GEDI02_A_2022134195421_O19369_02_T04725_02_003_02_V002.h5
22	GEDI02_A_2022130213107_O19308_02_T11381_02_003_02_V002.h5
23	GEDI02_A_2022128025857_O19265_03_T04483_02_003_02_V002.h5
24	GEDI02_A_2022126230745_O19247_02_T06500_02_003_03_V002.h5
25	GEDI02_A_2022124043524_O19204_03_T11139_02_003_02_V002.h5
26	GEDI02_A_2022120061138_O19143_03_T07834_02_003_02_V002.h5
27	GEDI02_A_2022116074727_O19082_03_T10221_02_003_02_V002.h5
28	GEDI02_A_2022112092327_O19021_03_T08492_02_003_02_V002.h5
29	GEDI02_A_2022112044458_O19018_02_T10065_02_003_02_V002.h5
30	GEDI02_A_2022109101310_O18975_03_T01744_02_003_02_V002.h5
31	GEDI02_A_2022108110039_O18960_03_T09303_02_003_02_V002.h5
32	GEDI02_A_2022108062209_O18957_02_T00915_02_003_02_V002.h5
33	GEDI02_A_2022105115012_O18914_03_T11093_02_003_02_V002.h5
34	GEDI02_A_2022104075907_O18896_02_T01879_02_003_02_V002.h5
35	GEDI02_A_2022101132701_O18853_03_T07788_02_003_02_V002.h5
36	GEDI02_A_2022100093551_O18835_02_T09805_02_003_02_V002.h5
37	GEDI02_A_2022097150330_O18792_03_T01637_02_003_02_V002.h5
38	GEDI02_A_2022096111216_O18774_02_T09346_02_003_02_V002.h5
39	GEDI02_A_2022093163943_O18731_03_T08446_02_003_02_V002.h5
40	GEDI02_A_2022092124822_O18713_02_T04771_02_003_02_V002.h5
1	GEDI02_B_2022130213107_O19308_02_T11381_02_003_01_V002.h5
2	GEDI02_B_2022134195421_O19369_02_T04725_02_003_01_V002.h5
3	GEDI02_B_2022138181940_O19430_02_T00609_02_003_01_V002.h5
4	GEDI02_B_2022146194749_O19555_03_T05340_02_003_01_V002.h5
5	GEDI02_B_2022150181206_O19616_03_T04223_02_003_01_V002.h5
6	GEDI02_B_2022165075550_O19842_02_T08076_02_003_02_V002.h5
7	GEDI02_B_2022169061930_O19903_02_T08382_02_003_02_V002.h5
8	GEDI02_B_2022170101058_O19921_03_T10787_02_003_02_V002.h5
9	GEDI02_B_2022173044337_O19964_02_T03149_02_003_02_V002.h5
10	GEDI02_B_2022174083458_O19982_03_T10940_02_003_02_V002.h5
11	GEDI02_B_2022177030734_O20025_02_T05031_02_003_02_V002.h5
12	GEDI02_B_2022181013154_O20086_02_T06913_02_003_02_V002.h5
13	GEDI02_B_2022181061028_O20089_03_T03764_02_003_02_V002.h5