



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L2-3650
<b>Naslov projekta</b>	Obdelava velikih količin geometrijskih podatkov LIDAR
<b>Vodja projekta</b>	6671 Borut Žalik
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	16855
<b>Cenovni razred</b>	B
<b>Trajanje projekta</b>	05.2010 - 04.2013
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	796 Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	106 Institut "Jožef Stefan" 1504 IGEA, svetovanje in storitve s področja nepremičnin, infrastrukture in prostora, d.o.o. 1669 Univerza na Primorskem, Inštitut Andrej Marušič 2012 XLAB razvoj programske opreme in svetovanje d.o.o.
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.07 Računalništvo in informatika 2.07.03 Programirne tehnologije - programska oprema
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	1 Naravoslovne vede 1.02 Računalništvo in informatika

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

#### 2. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

V projektu smo se ukvarjali z razvojem naprednih algoritmov za obdelavo velikih oblakov točk, ki jih pridobimo s tehniko daljinskega zaznavanja LiDAR. Prebirci LiDAR, pritrjeni na letala ali helikopterje, so postali ključni sistemi za zelo natančno zajemanje podatkov zemeljskega površja z veliko gostoto. V eni sekundi lahko zajamejo tudi do 200.000 točk z gostoto do nekaj 10 točk na kvadratni meter. Rezultat zajema so ogromni nestrukturirani oblaki 3D točk s pridruženimi skalarnimi vrednostmi. Razvoj postopkov za njihovo obdelavo pa postavlja nove izzive na področju računalniške geometrije, stiskanja

podatkov, znanstvene vizualizacije, razpoznavanja vzorcev in podatkovnih struktur. Raziskave so bile usmerjene v tri osnovne, med seboj močno povezane sklope. Osnova vsake obdelave podatkov je dobra vizualizacija. Naravna izbira za podatke LiDAR je postopek točkovnega upodabljanja (angl. Point-Based Rendering, PBR). V naši raziskavi smo do sedaj poznane postopke nadgradili v dveh smereh: razvoj izvenjedrnega mehanizma stopenj podrobnosti in kombinacijo upodabljanja PBR s triangulacijo. Podatki LiDAR so shranjeni v standardiziranih binarnih datotekah LAS. Tipična velikost datoteke LAS, ki zajema podatke enega kvadratnega kilometra, je 0,5 terazlogov, kar povroča veliko težav pri arhiviranju, prenos preko spleta pa je praktično nemogoč. V naši raziskavi smo razvili tri algoritme stiskanja. Algoritem, ki je namenjen arhiviranju, je brezizgubni in stisne podatke na približno 10% izvorne velikosti, postopek brezizgubnega napredujočega stiskanja in skoraj brezizgubni hierarhični postopek pa sta namenjena za pretočne aplikacije (z njima smo omogočili vizualizacijo podatkov LiDAR tudi preko spleta).

Največji izziv obdelave LiDAR pa predstavlja njihova klasifikacija. Opredeljevanje pripadnosti individualne točke posameznemu razredu (na primer tlem, hišam, nizki, srednji ali visoki vegetaciji, mostovom) v nestrukturiranem oblaku točk LiDAR je danes izjemno dejavno raziskovalno področje. Na tem področju smo dosegli izjemne raziskovalne preboje s spretno uporabo metod matematične morfologije. Ključ vsake klasifikacije LiDAR je določitev točk na terenu. LiDAR je namreč edina tehnologija, kjer zaradi večkratnih odbojev laserskega žarka nekaj meritev dobimo tudi pod gosto vegetacijo. Razviti algoritem prvi na svetu deluje brez uporabniškonastavljivih parametrov, pri čemer je povsem konkurenčen metodam, ki zahtevajo poseg uporabnika. Metoda uspešno rešuje tudi zelo zapletene primere, kot je razpoznavanje mostov, ali objektov, delno vkopanih v hrib. Metodo smo nato še izboljšali in pohitрили z uporabo povezanih operatorjev. Razvoj algoritmov klasifikacije točk smo nadgradili z algoritmi za razpoznavo objektov in na primerjalnih testih združenja ISPRS dosegli najboljše rezultate. Razvito programsko infrastrukturo za svoje analize uporablja tudi Geodetski Inštitut Slovenije, zadolžen za izvedbo nacionalnega projekta zajema površja Slovenije s podatki LiDAR.

ANG

The overall objective of this project was to develop advanced algorithms for processing large point clouds acquired by remote sensing with LiDAR technology. LiDAR scanners, mounted on airplanes or helicopters, have become the key technology for highly accurate high-resolution measurements of the Earth's surface. With sampling frequencies of over 200,000 Hz, they achieve densities of several tens of points per square metre. This acquisitions result in huge unstructured 3D point-clouds with associated scalar values, making the development of adequate processing infrastructure a major challenge in the fields of computational geometry, data structures, data compression, scientific visualization, and pattern recognition.

Our research focused on three closely related objectives. The base of every data processing application is its comprehensive visualization. The point-based rendering (PBR) offers a natural way of displaying LiDAR data. Significant improvements in regards to the state-of-the-art have been achieved with a new out-of-core level-of-detail mechanism supported with the fast hybridization of PBR and triangle-based rendering. LiDAR data files are commonly stored in the standardized binary LAS format, with their sizes reaching up to 0.5 TB per square kilometre. This causes serious demands for their archiving and transmission. Three compression algorithms were developed for this purpose. By achieving compression ratios of approximately 1:10, lossless approach greatly reduces the size of the data, making it ideal for archiving, while a progressive lossless algorithm and a nearly-lossless hierarchical approach supports web-based LiDAR data visualization.

However, the greatest challenge at LiDAR data processing is its classification, where appropriate class for each individual point should be determined (for example, points

belonging to terrain, building, low, medium or high vegetation). In this project remarkable breakthroughs have been achieved by skilfully using the methods of mathematical morphology. As the main advantage of LiDAR is its capability to register multiple reflections of a given laser pulse, it is able to penetrate even through dense vegetation and gather some points from the terrain beneath it. Thus, a key step in every classification process is the classification of ground points. Within this project, the first algorithm worldwide has been developed that offers accurate results without any user intervention. It successfully solves even such difficult cases as bridges or hillside structures. We, furthermore, improved the performance of the method by using connected operators, and extend it for successful building recognition, reaching top scores on ISPRS comparison tests. The developed software is currently being used by the Geodetic Institute of Slovenia, leading the Slovenian national project of LiDAR data acquisition.

### 3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

Tehnologija LiDAR velja za najnatančnejšo izmed tehnologij daljinskega zaznavanja, ki meri, podobno kot radarska tehnologija, razdaljo do oddaljenega objekta z ugotavljanjem časovne razlike med oddajo elektromagnetnega impulza in zaznavo njegovega odboja. Uporablja lasersko svetlobo z valovno dolžino med 800 do 1100 nm in dosega natančnost nekaj cm. Merilnike LiDAR pogosto namestijo na letala, kar nam omogoča zajem večjih geografskih področij v kratkem času. Odvisno od višine in hitrosti preleta lahko zajamemo od nekaj do nekaj 10 točk na kvadratni meter. Današnji sistemi lahko v sekundi izvedejo tudi do 200.000 meritev, vsaka izmerjena točka pa je opremljena še z dodatnimi informacijami, kot so čas zajema, intenziteta odbitega žarka, številka odboja. Na ta način dobimo velike nestrukturirane oblake točk, ki so po zajemu shranjeni v binarne datoteke LAS [Asp09]. Zajem točk se ob stanju današnje tehnologije izkaže kot lažji del opravila. Mnogo zahtevnejši ostajajo postopki obdelovanja zajetih podatkov LiDAR, ki zaradi količine vsebovanih informacij postavljajo množico raziskovalnih izzivov in postajajo ključni vir najrazličnejšim aplikacijami.

Temeljni cilj aplikativnega raziskovalnega projekta je bil razvoj algoritmov, ki bi postavili nove mejnike na področju obdelave velikih količin podatkov LiDAR in industrijskim partnerjem, ki so sofinancirali raziskovalni projekt, omogočili vpogled v zmožnosti same tehnologije ter sposobnost slovenskega znanja na tem področju. Kljub aplikativni naravnosti pa je projekt nudil tudi ogromno temeljnih raziskovalnih izzivov na področju računalniške obdelave podatkov LiDAR, ki smo jih strnili v naslednje raziskovalne hipoteze:

- 1) Podatke LiDAR je možno kakovostno vizualizirati tudi na danes običajni računalniški opremi (na primer, na prenosnem računalniku) v realnem času.
- 2) Podatke LiDAR je možno organizirati v podatkovne strukture, ki omogočajo učinkovito pravokotno iskanje.
- 3) Za podatke LiDAR je možno izdelati učinkovite domenskospesificne algoritme stiskanja (brezizgubno, skoraj brezizgubno in napredujoče). Postopek stiskanja naj bo dovolj preprost, da ga je možno realizirati tudi v strojni opremi.
- 4) Podatke LiDAR je ob uspešnem stiskanju možno v realnem času upodobiti tudi v spletnih aplikacijah.
- 5) Za podatke LiDAR je možno razviti napredne algoritme klasifikacije, ki brez uporabniško nastavljivih parametrov po kakovosti presegajo rezultate obstoječih postopkov, pri čemer so izračunljivostno učinkovitejši.

Glede na raziskovalne hipoteze je projektna skupina raziskave umestila v tri, med seboj močno povezane, sklope: organizacija podatkov in njihova vizualizacija, stiskanje in klasifikacija točk LiDAR.

Najlogičnejši pristop vizualizacije oblaka točk je neposredno upodabljanje točk (angl. point-based rendering, PBR). Osnovna metoda izrisa PBR vsako točko predstavi s krogom, orientiranim v prostoru glede na bližnjo okolico. Na ta način množico orientiranih krogov ob zadostnem prekrivanju zaznamo kot zvezno površje. Žal je postopek pri tako velikih količinah točk računsko zahteven. Zato smo razvili postopek, ki zvezne dele podatkov pretvori v teksturirane trikotniške mreže in s tem doseže hitrejši izris. Zvezne dele podatkov (na primer polja, strehe stavb) prepoznamo v predobdelavi s postopkom gručenja [Riz10]. Te zvezne predele nato pretvorimo v razredčene trikotniške mreže, ki jih prekrijemo z ustrezno teksturo. S tem smo dosegli do 40 % pohitritev izrisa brez izgube kakovosti [Kud13a]. Pristop k realno-časovni vizualizaciji PBR praktično neomejenih podatkov LiDAR s hierarhičnim upravljanjem podatkov izven jedra smo predstavili v [Kov10]. Metoda temelji na upravljanju podmnožic podatkov na zahtevo in njihovo optimalno namestitev v pomnilniško hierarhijo. Trenutno na svetu še ni javnih spletnih aplikacij, ki bi ponujale upodabljanje podatkov LiDAR v realnem času. V naših raziskavah smo preiskusili tudi takšno rešitev z razvojem spletnega strežnika, ki nudi poizvedbe po omejenih pravokotnih območjih v določeni stopnji podrobnosti [Kud11]. V ta namen smo razvili metodo adaptivnega stiskanja podatkov LiDAR, temelječo na podatkovnih paketkih [Kud13b]. Vizualizacijo podatkov LiDAR smo tudi evalvirali glede na človeške zaznave [Peč13].

Poizvedovanja v primeru 2D in 2,5D geometrijskih podatkov so praviloma izražena s pravokotno poizvedbo. V projektu smo se ukvarjali s teoretičnim vprašanjem, kako majhna je lahko podatkovna struktura, ki še omogoča dovolj odzivno iskanje. S partnerjem iz Univerze v Aarhusu (oziroma centra MADALGO) smo teoretično dokazali, da je potrebna velikost podatkovne strukture  $O(mn \log m)$  bitov, kjer je velikost prostora  $m \times n$ ,  $m < n$ , kar je enako tudi spodnji meji  $\Omega(mn \log m)$  [Bro13]. Z drugim partnerjem iz tujine, raziskovalci iz West Bohemia University Plzen, Češka republika, smo razvili postopek konstrukcije pseudo-trikotniške predstavitve površja s pomnilniško varčnim algoritmom, temelječ na stohastičnem sprehodu [Kol11].

Tipična datoteka LAS, ki hrani zajete podatke LiDAR velikosti 1 kvadratni kilometer, zavzema slabih 0,5 T zlogov. Tako postane hranjene podatkov LiDAR, še bolj pa njihov prenos, zahtevno in drago opravilo, zato je smiselno uporabiti algoritme stiskanja. Danes je na razpolago veliko splošnonamenskih algoritmov stiskanja (npr. RAR, 7-Zip), ki pa ne izkoriščajo domenskega znanja o samih podatkih. Zato smo zasnovali in implementirali brezizgubni algoritem, temelječ na treh korakih: modeliranju napovedi, kodiranju s spremenljivo dolžino in aritmetičnem kodiranju [Mon11a] in zanj vložili patentno prijavo v ZDA [Mon10]. Algoritem je bil v času razvoja najuspešnejši algoritem za brezizgubno stiskanje podatkov LiDAR [Mon11b]. Algoritem smo implementirali tudi na strojni opremi z vezjem FPGA in s tem zagotovili veliko hitrost stiskanja [Bia13]. V mnogih praktičnih aplikacijah pa se lahko sprijaznimo tudi z manjšimi izgubami. V kolikor nad zajete točke LiDAR položimo enakomerno mrežo in točke premaknemo v križišča mreže, smo lahko pri napovedi mnogo natančnejši, hkrati pa lahko odstranimo točke, ki se preslikajo v isto križišče. Izgube, ki jih uvedemo, nadziramo z gostoto mreže. Učinkovitost stiskanja je primerljiva s komercialno metodo podjetja Lizardtech, pri čemer pa dosega občutno manjše izgube [Lip12].

V projektu smo razvili tudi več pristopov za razpoznavo objektov. Prvi pomembnejši znanstveni dosežek je razpoznavna terena, ki velja za enega temeljnih problemov pri obdelavi podatkov LiDAR, saj je to edini način, s katerim lahko izdelamo natančen digitalni model reliefa (DMR) tudi pod gosto vegetacijo [Mon2012a]. Hkrati pa DMR omogoča tudi segmentacijo podatkov na regije ospredja in ozadja ter tako predstavlja vhod v metode razpoznave ostalih objektov [Mon2012b]. Metoda gradi DMR z iterativnim približevanjem zlepkov tankih plošč proti terenu, pri čemer s postopnim zmanjševanjem strukturnega elementa filtrira točke glede na njihove višinske razlike do

interpolacijske ploskve. Nezveznosti v porazdelitvi točk, ki so posledica prisotnosti objektov, okrepi s cilindrično transformacijo. Samodejno pragovno filtriranje dosežemo s prilagodljivo vrednostjo, definirano s standardno deviacijo cilindrično-transformiranih vrednosti. Rezultati pokažejo, da metoda pravilno določi teren tudi v najzahtevnejših primerih. Pričakovana natančnost metode nad podatki, danes uporabljenimi v vsakodnevni praksi, je več kot 96 %, medtem ko povprečna skupna napaka nad naborom testnih podatkov združenja ISPRS ne preraste 6 %. Metodo smo leta 2012 objavili v reviji ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (razred A''), članek pa ima do danes že 34 normiranih čistih citatov. Metodo smo z uporabo atributnih morfoloških filtrov izboljšali še iz vidika računske zahtevnosti [Mon14]. Na osnovi tega algoritma smo razpoznali vegetacijo [Mon12b] in stavbe [Mon13]. Obe metodi sta že preiskušeni v praksi na Geodetskem inštitutu Slovenije, ki trenutno vodi postopek zajema in obdelave podatkov LiDAR iz površja Slovenije.

[Asp09] American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), LAS Specification, (<http://www.asprs.org/>).

[Bia13] Biasizzo, A., Novak, F. Hardware accelerated compression of LIDAR data using FPGA devices. *Sensors* 13(5), 2013, 6405-6422.

[Bro13] Brodal, G. S., Brodnik, A., Davoodi, P. The encoding complexity of two dimensional range minimum data structures. V: BODLAENDER, H. L. (ed.), Italiano, G. F. (ed.). *Algorithms : 21st Annual European Symposium; Lecture notes in computer science*, Springer, 2013, pp. 229-240,

[Kol11] Kolingerova, I., Trčka, J., Žalik, B. The stochastic walk algorithms for point location in pseudo-triangulations. *Advances in engineering software* 42(8), 2011, 577-585.

[Kov10] Kovač, B., Žalik, B. Visualization of LIDAR datasets using point-based rendering technique. *Computers & Geosciences* 36(11), 2010, 1443-1450.

[Kud11] Kuder, M., Žalik, B. Web-based LiDAR visualization with point-based rendering. In: JETONGNON, Kokou (Ed.), CHBEIR, Richard (Ed.), DIPANDA, Albert (Ed.), *SITIS 2011*, Conference Publishing Services, 2011, pp. 38-45.

[Kud13a] Kuder, M., Šterk, M., Žalik, B. Point-based rendering optimization with textured meshes for fast LiDAR visualization. *Computers & Geosciences* 59, 2013, 181-190

[Kud13b] Kuder, M., Žalik, B. Improving LiDAR compression efficiency on small packets. *Electronics letters*, 49(25), 2013, 1637-1638.

[Lip12] Lipuš, B., Žalik, B. Lossy LAS file compression using uniform space division. *Electronics letters* 48(20), 2012, 1278-1279.

[Mon10] Mongus, D., Žalik, B. A method and apparatus for LiDAR data compression and decompression: U. S. Patent and trademark office, U. S. Department of commerce, Appl. no.: 61410522, EFS ID: 8778528, confirmation number: 7349. 2010.

[Mon11a] Mongus, D., Žalik, B. Efficient method for lossless LIDAR data compression. *International journal of remote sensing* 32(9), 2011, 2507-2518.

[Mon11b] Mongus, D., Rupnik, B., Žalik, B. Comparison of algorithms for lossless LiDAR data compression. In: CAR, A. (ed), Griesebner, G. (ed), Strobl, J. (ed). *Geospatial crossroads @ GI\_Forum '11: Proceedings of the Geoinformatics Forum*,

Salzburg (July 5-8, 2011). Berlin: Wichmann, 2011, pp. 72-80

[Mon12a] Mongus, D., Žalik, B. Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 67 (1), 2012, 1-12.

[Mon12b] Mongus, D., Žalik, B. A method for generating canopy height model from Lidar data. In: Xiao, Y. (ed.). CGVVCVIP 2012: Proceedings of the IADIS International Conference Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing, Lisbon, Portugal (July 17-23, 2012), IADIS, 2012, pp. 47-54.

[Mon13] Mongus, D., Lukač, N., Obrul, D., Žalik, B. Detection of planar points for building extraction from lidar data based on differential morphological and attribute profiles. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2(3/W1), 2013, 21-26.

[Mon14] Mongus, D., Žalik, B. Computationally efficient method for the generation of a digital terrain model from airborne LiDAR data using connected operators. IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing 7(1), 2014, 340-351.

[Peč13] Pečnik, S., D. Mongus, B. ŽALIK. Evaluation of optimized visualization of LiDAR point clouds, based on visual perception. In: Holzinger, A. Pasi, G. Human-computer interaction and knowledge discovery in complex, unstructured, big data. Lecture notes in artificial intelligence, Springer, vol. 7947, pp. 366-386, 2013.

[Riz10] Rizman Žalik, K. Cluster validity index for estimation of fuzzy clusters of different sizes and densities. Pattern recognition 43(19), 2010, 3374-3390.

#### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

V predlaganem projektu smo realizirali vse zastavljene cilje in potrdili raziskovalne hipoteze. V ta namen smo izvedli naslednje konkretne teste nad prototipnimi aplikacijami v operativnem okolju:

**Hipoteza 1:** Realno-časovno vizualizacijo praktično neomejene količine točk LiDAR, izvedeno s hierarhičnim upravljanjem podatkov izven jedra, smo testirali s hkratno upodobitvijo več kot 1 TB podatkov na osebni računalnik in prenosniku. V obeh primerih smo dosegli izris več kot 30 slik v sekundi ter tako potrdili hipotezo.

**Hipoteza 2:** Podatke LiDAR je možno organizirati v podatkovne strukture, ki omogočajo učinkovito pravokotno iskanje. Teoretično smo pokazali, da je potrebna velikost podatkovne strukture  $O(mn \log m)$  bitov, kjer je velikost prostora  $m \times n$  in velja  $m < n$ . To je enako tudi spodnji meji  $\Omega(mn \log m)$

**Hipoteza 3:** Implementirali smo več uporabniških aplikacij za stiskanje podatkov LiDAR, ki smo jih preverili s stiskanjem več kot 10TB podatkov LiDAR. V primeru brezizgubnega stiskanja smo vhodne podatke v povprečju uspeli stisniti na 10,57% njihove velikosti, pri čemer je bila najslabša stopnja stiskanja v najslabšem primeru 21,5% in v najboljšem primeru 7,3%. V vseh primerih pa smo bili uspešnejši od splošnonamenskih algoritmov. V primerjavi z najuspešnejšim izmed njih, s postopkom 7-Zip, v povprečju za faktor 1,7. Ker je skoraj brezizgubni postopek še uspešnejši, napredujoči postopek pa izpeljan iz brezizgubnega in prilagojen zgolj za stiskanje malih paketov pri katerih je celo uspešnejši, smo s tem potrdili hipotezo.

**Hipoteza 4:** S kombinacijo napredujočega postopka stiskanja in napredno 3D vizualizacijo podatkov LiDAR smo uspeli implementirati spletno aplikacijo, ki je zmožna

izrisati več kot 30 slik na sekundo, s čimer dosežemo tudi realno-časovno vizualizacijo. S tem smo potrdili hipotezo.

**Hipoteza 5:** Razvili in implementirali smo metodo prezparametričnega samodejnega filtriranja podatkov LiDAR, ki je glede na uradne teste organizacije ISPRS (ang. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) v trenutku objave presegala natančnost vseh do tedaj poznanih metod. Metodo smo izboljšali še iz vidika računske zahtevnosti in ob vpeljavi treh uporabniško nastavljivih parametrov še izboljšali njeno natančnost. Danes je razvita uporabniška aplikacija v vsakodnevni uporabi in je z njo že bilo obdelanih 4.5 TB podatkov. Na ta način smo potrdili tudi zadnjo hipotezo.

Glede na navedeno lahko ugotovimo, da nam je uspelo razviti in implementirati v prototipne aplikacije vse ključne algoritme obdelave podatkov LiDAR, kar je bil tudi končni cilj projekta.

#### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

Med izvajanjem projekta je žal eden izmed sofinancerjev (podjetje GeoIn, d.o.o.) šlo v stečaj. Njegove finančne obveznosti so prevzeli ostali sofinancerji, tako da je delo na projektu teklo nemoteno. Realizirali smo vse zastavljene cilje in jih celo presegli. V prijavi projekta nismo napovedali uporabe podatkov LiDAR za vrednotenje sončnega potenciala streh na velikem geografskem področju. V povezavi z raziskovalci elektroenergetiki smo uspešno zasnovali in implementirali vrednotenje sončne energije in proizvedene električne energije iz fotovoltaičnih panelov, kar je rezultiralo v dveh odmevnih objavah v revijah z visokim faktorjem vpliva (Applied energy (IF=4,781) in Energy (IF=3.651)).

Med izvajanjem projekta, do bistvenih sprememb v sestavi projektne skupine ni prišlo.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	15485718	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Brezparametrično filtriranje podatkov LiDAR za avtomatsko tvorjenje DMR
		ANG	Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation
Opis	SLO	Članek vsebuje novo metodo za samodejno tvorjenje digitalnih modelov terena iz podatkov LiDAR. Metoda se pomika površje interpolirano z zlepk tankih plošč proti terenu, kjer se ostanki površja preverijo med vsakim prehodom z zmanjševanjem velikosti okna. Z uporabo cilindrične transformacije se poudarijo nezveznosti, ki nastanejo zaradi objektov na površju. Končno brezparametrično filtriranje je doseženo s samodejno nastavljivim pragom, ki temelji na standardnem odklonu. Eksperimenti kažejo pravilno določitev terena tudi v primerih s težavnimi terenskimi značilnostmi. Pričakovana natančnost določitve terenske točke na pogosto uporabljenih podatkih je preko 96%, pri čemer je povprečna napaka pod 6%.	
	ANG	This paper considers a new method for the automatic generation of digital terrain models from LiDAR data. The method iterates a thin plate spline interpolated surface towards the ground, while points residuals from the surface are inspected at each iteration, with a gradually decreasing window size. Top-hat transformation is used to enhance discontinuities caused by surface objects. Finally, parameter-free ground point filtering is achieved by automatic thresholding based on standard deviation. The experiments show that this method correctly determines DTM even in those cases of more difficult terrain features. The expected accuracy of ground point determination on those datasets commonly used in practice today is over	



		96%, while the average total error produced on the ISPRS benchmark dataset is under 6%.
	Objavljeno v	Elsevier Science Publishers; ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing; 2012; Vol. 67; str. 1-12; Impact Factor: 3.313; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.425; A': 1; WoS: KV, LE, SR, UE; Avtorji / Authors: Mongus Domen, Žalik Borut
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	14953494   Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Učinkovita metoda za brezizgubno stiskanje podatkov LiDAR
		<i>ANG</i> Efficient method for lossless LIDAR data compression
	Opis	<i>SLO</i> Tehnologija LiDAR je prevzela vodilno mesto na področju zajemanja prostorskih podatkov, običajno shranjenih v datotekah LAS (standardni datotečni format za izmenjavo podatkov LiDAR). V tem članku predstavljamo brezizgubni postopek stiskanja datotek LAS v treh zaporednih korakih: napovedovalno kodiranje, kodiranje s spremenljivimi dolžinami in aritmetično kodiranje. Ključnega pomena za učinkovito stiskanje podatkov je napovedovalna shema, ki uporablja štiri napovedovalna pravila: tri pravila opisuje stiskanje geometrijskih podatkov (koordinat x, y in z) ter eno za skalarne vrednosti, ki pripadajo točkam LiDAR. Postopek stisne datoteko LAS brez izgub podatkov v povprečju na 12% njene osnovne velikosti.
		<i>ANG</i> Light Detection and Ranging (LIDAR) has become one of the prime technologies for rapid collection of vast spatial data, usually stored in a LAS file format (LIDAR data exchange format standard). In this article, a new method for lossless LIDAR LAS file compression is presented. The method applies three consequent steps: a predictive coding, a variable-length coding and an arithmetic coding. The key to the method is the prediction schema, where four different predictors are used: three predictors for x, y and z coordinates and a predictor for scalar values, associated with each LIDAR point. The method has been compared with the popular general-purpose methods and with a method developed specially for compressing LAS files. The proposed method turns out to be the most efficient in all test cases. On average, the LAS file is losslessly compressed to 12% of its original size.
	Objavljeno v	Taylor & Francis; International journal of remote sensing; 2011; Vol. 32, no. 9; str. 2507-2518; Impact Factor: 1.117; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.347; A': 1; WoS: SR, UE; Avtorji / Authors: Mongus Domen, Žalik Borut
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	26726695   Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Strojnopospešeno stiskanje podatkov LiDAR z FPGA
		<i>ANG</i> Hardware accelerated compression of LIDAR data using FPGA devices
	Opis	<i>SLO</i> Razvili smo strojni pospeševalnik zgoščevanja podatkov LiDAR. V ta namen smo razvili strojne prediktorje koordinat točk in drugih atributov podatkov LiDAR. Prediktorji koordinat uporabljajo dve metodi napovedovanja: linearno predikcijo z uporabo zadnjih sprememb koordinat ter iskanje najbolj podobne spremembe koordinat v množici zadnjih sprememb koordinat. Uporabljena metoda se izvaja dinamično glede na podobnost dobljene točke pri iskanju. V okviru linearnega prediktorja je bil razvit cevovodni strojni delilnik. Spremenljiva dolžina cevovoda omogoča optimalen izbor delilnika glede na latentnost, porabo strojnih virov in hitrost urnega takta. Predikcija koordinat ter drugih atributov podatkov LiDAR se uporablja pri njihovem prediktivnem stiskanju. Razvit je bil tudi strojni kodirnik z uporabo zapisa s spremenljivo dolžino, aritmetični



		<p>kodirnik pa je bil nadgrajen z uporabo pomikalnih registrov, kar je omogočilo do osemkratno pospešitev delovanja kodirnika. Moduli so bili razviti v jeziku VHDL in preverjeni na simulacijskem okolju Cadence. Posamezni moduli so bili izvedeni in preizkušeni na prototipnem vezju Xilinx XUPV5.</p>
	ANG	<p>A hardware accelerator for the compression of LIDAR data has been developed. For this purpose, hardware predictors of the point coordinates and other attributes of LIDAR data were conceived. The predictors of the point coordinates consist of two methods: linear prediction using last coordinate changes, and the search for the closest coordinate change among the most recent coordinate changes. The applied method is dynamically selected based on the resemblance of the current search result. A pipelined hardware divider, required for linear prediction, was also developed. An adjustable pipeline depth enabled us to select the most suitable divider with respect to the dividers' latency, the usage of the hardware resources, and the clock period. The coordinate prediction and the prediction of other LIDAR data attributes are used in the prediction compression of the LIDAR data. Additionally, a variable length encoder was developed, and the arithmetic coder was improved by using the barrel shifter structure, which resulted in up to 8-times higher data throughput. Modules were developed in the VHDL language and verified in the Cadence simulation environment. Individual modules were synthesized and tested on the Xilinx XUPV5 prototype board.</p>
	Objavljeno v	MDPI; Sensors; 2013; Vol. 13, no. 5; str. 6405-6422; Impact Factor: 1.953; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.269; A': 1; WoS: EA, HQ, OA; Avtorji / Authors: Biasizzo Anton, Novak Franc
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	16262934   Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p>SLO Razvrstitev streh glede na njihov sončni potencial in primernost za postavitve fotovoltaičnih sistemov z uporabo podatkov LiDAR</p> <p>ANG Rating of roofs' surfaces regarding their solar potential and suitability for PV systems, based on LiDAR data</p>
	Opis	<p>SLO Strehe stavb v urbanih območjih so bile vedno zanimive za postavitve fotovoltaičnih (ang. photovoltaic, PV) sistemov. Takšni sistemi izboljšajo samoučinkovitost električne oskrbe ter pomagajo pri znižanju emisij zaradi toplogrednih plinov. Pri tem niso vse strehe primerne za postavitve PV-sistemov. Predstavljeno delo se ukvarja z razvrstitvijo streh v urbanih območjih glede izračunanega sončnega potenciala ter glede iskanja najbolj primernih streh za njihovo postavitve. Izračun sončnega potenciala smo realizirali z novo metodo, ki upošteva topografske značilnosti urbanega površja, pridobljene iz podatkov LiDAR, večletnih meritev globalnega in difuznega obsevanja s piranometrom, ter senčenja in samosenčenja. Metodo dopolnjujeta novo hevristično senčenje, ki jo povzroča vegetacija ter večločljivostni model senčenja. Opravili smo analizo pomembnosti različnih vplivnih dejavnikov (npr. senčenje), kot tudi primerjavo med izračunanim sončnim obsevanjem ter meritvami na lokalni PV-postaji, kjer smo dosegli 97.4% korelacijo.</p> <p>ANG The roof surfaces within urban areas are constantly attracting interest regarding the installation of photovoltaic systems. These systems can improve self-sufficiency of electricity supply, and can help to decrease the emissions of greenhouse gases throughout urban areas. Unfortunately, some roof surfaces are unsuitable for installing photovoltaic systems. This presented work deals with the rating of roofsurfaces within urban areas regarding their solarpotential and suitability for the installation of photovoltaic systems. The solarpotential of a roofcs surface is determined by a new method that combines extracted urban topography from LiDAR</p>

		data with the pyranometer measurements of global and diffuse solar irradiances. Heuristic annual vegetation shadowing and a multi-resolution shadowing model, complete the proposed method. The significance of different influential factors (e.g. shadowing) was analysed extensively. A comparison between the results obtained by the proposed method and measurements performed on an actual PV power plant showed a correlation agreement of 97.4%.
	Objavljeno v	Applied Science Publ.; Applied energy; 2013; Vol. 102; str. 803-812; Impact Factor: 4.781; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.598; A': 1; WoS: ID, II; Avtorji / Authors: Lukač Niko, Žlaus Danijel, Seme Sebastijan, Žalik Borut, Štumberger Gorazd
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID	26898727 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Optimizacija upodabljanja s točkami s teksturiranimi mrežami za hitro upodabljanje podatkov LiDAR
		<i>ANG</i> Point-based rendering optimization with textured meshes for fast LiDAR visualization
	Opis	<i>SLO</i> V tem članku je predstavljena nova metoda za visokokakovosten izris velikih količin terenskih podatkov LIDAR . Metoda izboljša obstoječe pristope točkovnega upodabljanja (angl. point-based rendering) tako, da samodejno zazna zvezna površja in jih zamenja s poenostavljenimi trikotniškimi mrežami. Kakovost prikaza ohranimo tako, da z metodami izrisa v teksturo (angl. render-to-texture) pridobimo kakovostne teksture barv in normal na podlagi točkovnega upodabljanja, ki jih uporabimo na ustvarjenih trikotniških mrežah. S tem se čas izrisa teh področij lahko zmanjša tudi na manj kot 50% ob zanemarljivi izgubi kakovosti prikaza. Opisani postopki optimizacije se lahko izvajajo v realnem času in s tem ne motijo interakcije.
		<i>ANG</i> In this paper a new method for high quality rendering of large LiDAR-based terrain data is presented. The visualization system upgrades previous methods of point-based rendering by detecting continuous surfaces and replacing them with decimated triangle meshes. High-quality visualization is retained by using render-to-texture methods to generate color textures and bump maps from original LiDAR data and applying them to the newly generated triangle meshes. This hybrid approach is able to decrease rendering times of surfaces to less than 50% with little to no difference in rendering quality. The described optimizations can be executed at run-time without interfering with user interaction.
	Objavljeno v	Pergamon Press; Computers & Geosciences; 2013; Vol. 59; str. 181-190; Impact Factor: 1.834; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.548; WoS: EV, LE; Avtorji / Authors: Kuder Marko, Šterk Marjan, Žalik Borut
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	10147668 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Prostorsko učinkovite podatkovne strukture, podatkovni tokovi in algoritmi
		<i>ANG</i> Space-efficient data structures, streams and algorithms
		Ta knjiga vsebuje znanstvene in pregledne članke, ki so bili predstavljeni na konferenci o prostorsko učinkovitih podatkovnih strukturah, podatkovnih

Opis	SLO	tokovih in algoritmih Ianfest-66. Ianfest-66 se je odvijal 15. in 16. avgusta 2013 na Univerzi v Waterlooju, Kanada.	
	ANG	<p>This volume contains research articles and surveys presented at Ianfest-66, a conference on space efficient data structures, streams and algorithms held on August 15th and 16th, 2013 at the University of Waterloo, Canada.</p> <p>The conference was held to celebrate Ian Munro's 66th birthday. Just as Ian's interests, the articles in this volume encompass a spectrum of areas including sorting, searching, selection and several types of, and topics in, data structures including space efficient ones.</p>	
	Šifra	C.01	Uredništvo tujega/mednarodnega zbornika/knjige
	Objavljeno v	Springer; 2013; XVIII, 362 str.; Avtorji / Authors: Brodnik Andrej, López-Ortiz Alejandro, Raman Venkatesh, Viola Alfredo	
	Tipologija	2.31	Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci
2.	COBISS ID	16270870	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO	Brezparametrični algoritem gradnje digitalnega modela reliefa iz podatkov LiDAR
		ANG	Parameter-free algorithm for digital relief model from LiDAR data
		SLO	<p>V doktorski disertaciji opišemo dva postopka gradnje digitalnega modela reliefa iz podatkov LiDAR. Prva metoda iterativno približuje zlepke tankih plošč proti terenu, pri čemer s postopnim zmanjševanjem strukturnega elementa opravlja filtriranje točk glede na njihove viške razlike z interpolacijsko ploskvijo. S cilindrično transformacijo okrepiamo nezveznosti v porazdelitvi točk, ki so posledica prisotnosti objektov. Brezparametrično pragovno filtriranje dosežemo samodejno s pragovno vrednostjo, definirano s standardno deviacijo. Rezultati pokažejo, da metoda pravilno določi teren tudi v najzahtevnejših primerih. Pričakovana natančnost metode nad podatki, danes uporabljenimi v vsakodnevni praksi, je več kot 96 %, medtem ko povprečna skupna napaka nad naborom testnih podatkov združenja ISPRS ne preraste 6 %. Druga metoda uporablja prilagodljiv morfološki filter, kjer je velikost strukturnega elementa v vsaki točki določena glede na njeno razdaljo do najbližjega roba. Vhodni nabor podatkov v ta namen najprej razporedimo v mrežo, nad katero izvedemo zaznavo robov z metodo kompas in Sobelovim operatorjem. Z morfološkim polnjenjem regij razdelimo mrežo v regije ospredja in ozadja. Definicijo strukturnega elementa izpeljemo iz transformacije razdalj regij ospredja. Končno filtriranje podatkov opravimo s cilindrično transformacijo in pragovnim filtriranjem. Z rezultati pokažemo, da na ta način v primerjavi s prvo metodo dosežemo 94 % višjo računsko učinkovitost, medtem ko je natančnost metode višja za 20 % nad podatki z nižjo ločljivostjo ter 30 % nad podatki z višjo ločljivostjo.</p>
			<p>This dissertation considers two new methods for automatic generation of digital terrain models from LiDAR data. The first method iterates a thin platespline interpolated surface towards the ground, while points residuals from the surface are inspected at each iteration, with a gradually decreasing structural element. Top-hat transformation is used to enhance discontinuities caused by surface objects. Finally, parameter-free ground point filtering is achieved by automatic thresholding, based on a standard deviation. The experiments show that this method correctly determines</p>

		DTM even in those cases of difficult terrain features. The expected accuracy of ground point determination on those datasets commonly used in practice today is over 96%, while the average total error produced on the ISPRS benchmark dataset is under 6%. The second method uses an adaptive morphological filter, where the size of the structural element is defined by the distance of a point from its nearest edge. The input data is arranged into a grid and compass edge detection based on the Sobel operator is applied for edge extraction. Morphological region-filling is used in order to segment grid-cells into foreground and background regions, while the distance transformation of the foreground regions defines the size of the structural element for each foreground grid-cell. Finally, LiDAR point-filtering is achieved using adaptive top-hat transformation, followed by a constant thresholding. As confirmed by experiments, the average CPU execution time decreases by more than 94% compared to the first method, while the accuracy improves by nearly 20% on low-density datasets, and by nearly 30% on high-density datasets.
	Šifra	D.09 Mentorstvo doktorandom
	Objavljeno v	[D. Mongus]; 2012; X, 90 str.; Avtorji / Authors: Mongus Domen
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija
3.	COBISS ID	14709270   Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Metoda in naprava za stiskanje in razširljanje podatkov LiDAR ANG A method and apparatus for LiDAR data compression and decompression
	Opis	<p>Predstavljen izum ponuja stiskanje podatkov o tridimenzionalnih točkah v več mogočih izvedbah. Metoda omogoča sprejem podatkov za njihovo stiskanje, ki vključujejo množico podatkovnih točk v zaporedju z vsaj štirimi različnimi vrstami atributnih vrednosti, ki so tip koordinate x, tip koordinate y, tip koordinate z in vsaj eno dodano skalarno vrednost. Metoda izvede napovedovalno kodiranje nad zaporedjem atributnih vrednosti enakega tipa iz nabora podatkov, s čimer ustvari zaporedje napovedovalnih napak danega atributnega tipa. Nad zaporedjem napak se nato izvede kodiranje vrednosti s spremenljivimi dolžinami, ki ustvari tok zlogovnih vrednosti. Zlogovne vrednosti se stisnejo z algoritmom stiskanja na osnovi entropije.</p> <p>V nekaterih drugih izvedbah, predloženi izum vključuje ne-prenosljiv računalniško berljiv medij, ki ima računalniško izvršljive ukaze prilagojene, da povzročijo računalnikov prejem nabora podatkov, ki ga stiskamo in vključuje množico podatkovnih točk v z vsaj štirimi različnimi vrstami atributnih vrednosti, ki so tip koordinate x, tip koordinate y, tip koordinate z in vsaj eno dodano skalarno vrednost. Računalnik izvede napovedovalno kodiranje nad zaporedjem atributnih vrednosti enakega tipa iz nabora podatkov, s čimer ustvari zaporedje napovedovalnih napak danega atributnega tipa. Nad zaporedjem napak nato izvede kodiranje vrednosti s spremenljivimi dolžinami, ki ustvari tok zlogovnih vrednosti. Zlogovne vrednosti nato stisne z algoritmom stiskanja na osnovi entropije.</p> <p>Pri še drugi izvedbah, predloženi izum vključuje programiran računalnik za stiskanje tridimenzionalnih podatkovno točko. Računalnik ima procesor, in spomin povezan s procesorjem, ki shranjuje računalniško izvršljive ukaze prilagojen, da povzročijo računalnikov prejem nabora podatkov, ki ga stiskamo in vključuje množico podatkovnih točk v z vsaj štirimi različnimi vrstami atributnih vrednosti, ki so tip koordinate x, tip koordinate y, tip koordinate z in vsaj eno dodano skalarno vrednost. Računalnik izvede napovedovalno kodiranje nad zaporedjem atributnih vrednosti enakega tipa iz nabora podatkov, s čimer ustvari zaporedje napovedovalnih napak danega atributnega tipa. Nad zaporedjem napak nato izvede kodiranje vrednosti s spremenljivimi dolžinami, ki ustvari tok zlogovnih vrednosti. Zlogovne vrednosti nato stisne z algoritmom stiskanja na osnovi entropije.</p>

		<p>Izum vključuje tudi številne druge vidike, ki so na voljo v skladu s temi in drugimi vidiki izuma. Druge značilnosti in vidiki pričujočega izuma bodo bolj popolno postanejo vidni iz sledečega podrobnega opisa, priloženih zahtevkov ter spremljajočih skic.</p>
	ANG	<p>In some embodiments, the present invention provides a method for compressing three dimensional point data. The method includes receiving a dataset to be compressed, the dataset including a plurality of data points in a sequence, the data points each including at least four types of attribute values, the attribute value types including an X-coordinate value type, a Y-coordinate value type, a Z-coordinate value type, and at least one associated scalar value type; applying predictive coding to a sequence of attribute values of a same type from the dataset to generate a sequence of prediction errors for a given attribute value type; applying variable length coding to the sequence of prediction errors to generate byte-streams of variable length codes; and compressing the byte-streams of variable length codes using entropy coding.</p> <p>In some other embodiments, the present invention provides a medium including a non-transitory computer-readable medium having computer-executable instructions adapted to cause a computer to receive a dataset to be compressed, the dataset including a plurality of data points in a sequence, the data points each including at least four types of attribute values, the attribute value types including an X-coordinate value type, a Y-coordinate value type, a Z-coordinate value type, and at least one associated scalar value type; apply predictive coding to a sequence of attribute values of a same type from the dataset to generate a sequence of prediction errors for a given attribute value type; apply variable length coding to the sequence of prediction errors to generate byte-streams of variable length codes; and compress the byte-streams of variable length codes using entropy coding.</p> <p>In yet other embodiments, the present invention provides a computer programmed to compress three dimensional point data. The computer includes a processor; and a memory coupled to the processor and operable to store computer-executable instructions adapted to cause the computer to receive a dataset to be compressed, the dataset including a plurality of data points in a sequence, the data points each including at least four types of attribute values, the attribute value types including an X-coordinate value type, a Y-coordinate value type, a Z-coordinate value type, and at least one associated scalar value type; apply predictive coding to a sequence of attribute values of a same type from the dataset to generate a sequence of prediction errors for a given attribute value type; apply variable length coding to the sequence of prediction errors to generate byte-streams of variable length codes; and compress the byte-streams of variable length codes using entropy coding.</p> <p>Numerous other aspects are provided in accordance with these and other aspects of the invention. Other features and aspects of the present invention will become more fully apparent from the following detailed description, the appended claims, and the accompanying drawings.</p>
	Šifra	F.32 Mednarodni patent
	Objavljeno v	s. n.]; 2010; [37] f.; Avtorji / Authors: Mongus Domen, Žalik Borut
	Tipologija	2.23 Patentna prijava
4.	COBISS ID	16706070 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Digitalna Zemlja
		ANG Digital Earth
		<p>Predavanje namenjeno Obrtno-podjetniški zbornici Slovenije podaja pregled naprednimi tehnologijami daljinskega zaznavanja in njihovega inovacijskega potenciala. Posebne poudarke je namenjen tehnologiji LIDAR.</p>

Opis	SLO	V uvodu podamo kratek povzetek tehnoloških značilnosti najsodobnejših tehnologij daljinskega zaznavanja, vključno s satelitskimi zajemom podatkov ter tehnologijami RADAR in LIDAR. Potem opišemo trenutne napredke na področju vizualizacije podatkov, njihovega stiskanja in organizacije skupaj z napredno obdelavo podatkov. Na koncu predstavimo več inovativnih rešitev razvitih v Sloveniji, ki že izkoriščajo napredne tehnologije daljinskega zaznavanja, vključno z oceno sončnega potencialne stavb, spremljanje rasti dreves, in kartiranjem industrijske infrastrukture.	
	ANG	The lecture intended for The Chamber of Craft and Small Business of Slovenia is an overview of advanced remote sensing technologies and their innovation potential, with special emphasis on Light Detection and Ranging (LiDAR). First, a brief summary of the technological characteristics of state-of-the-art remote sensing technologies are given, including satellite imagery, RADAR, and LiDAR. Then we describe the current advances being made in the area of data visualization, compression, and organization along with data processing and analytics. Finally, several innovative solutions already developed based this remote sensing technologies in Slovenia are presented, including solar potential estimation, monitoring of tree-growth, and mapping of industrial infrastructure.	
Šifra	F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)		
Objavljeno v	2012; Avtorji / Authors: Mongus Domen		
Tipologija	3.25 Druga izvedena dela		
5. COBISS ID	17217302	Vir: COBISS.SI	
Naslov	SLO	Postopek izgubnega stiskanja podatkov iz prebirnikov LiDAR z enakomerno razdelitvijo prostora	
	ANG	The procedure of lossy compression of LiDAR data using uniform space division	
Opis	SLO	Predmet izuma je bil postopek izgubnega stiskanje datotek LAS, ki shranjujejo velike količine podatkov, pridobljene z daljinskim zaznavanjem s prebirniki LiDAR. Postopek, predstavljen z izumom, se sestoji iz štirih korakov: 1) odstranjevanja točk v območjih z večjo frekvenco vzorčenja; 2) premikanja preostalih točk znotraj uporabniško določenih omejitev; 3) kodiranja s spremenljivo dolžino in 4) aritmetičnega kodiranja. Eksperimenti kažejo, da predstavlja izum izboljšavo obstoječih rešitev izgubnega stiskanja datotek LAS.	
	ANG	The invention relates to the lossy compression of LAS files which store large amounts of data obtained by remote sensing scanners (LiDAR). The procedure presented by this invention, consists of four steps: 1) pixel removal within the areas with a higher sampling rate, 2) the movement of the other points within user-specified limits, 3) of variable-length encoding, and 4) of the arithmetic coding. As shown by experimentation, the invention improves existing lossy LAS file compression methods.	
Šifra	F.33 Patent v Sloveniji		
Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2013; [7] str.; Avtorji / Authors: Lipuš Bogdan, Žalik Borut		
Tipologija	2.24 Patent		

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>2</sup>

Programska oprema, razvita v okviru tega projekta, je prestala vse laboratorijske in operativne teste ter predstavljena na tudi ob mnogih neformalnih srečanjih s potencialnimi uporabniki. Izpostavljamo naslednje rezultate:

- Skupaj z Geodetskim inštitutom Slovenije smo izvedli dve delavnici za strokovno javnost z naslovom »Možnosti uporabe laserskega skeniranja«, poleg tega pa smo se udeležili tudi večih strokovnih srečanj. V javnosti smo tako dali jasen signal, da v Sloveniji znamo razviti vrhunsko programsko opremo za obdelavo podatkov LiDAR.
- V Sloveniji je že v letu 2010 potekal prvi del snemanja LiDAR z ocenjeno vrednostjo 40 T zlogov podatkov v obliki datotek LAS. Za ovladovanje te količine podatkov (shranjevanje in posredovanje končnim uporabnikom), je Geodetska uprava Republike Slovenije odkupila algoritem stiskanja podatkov, ki smo ga v ta namen opremili s prijaznim uporabniškim vmesnikom in zelo intenzivno stestirali.
- Razvito programsko opremo smo aplicirali tudi za razpoznavo terena v predelu Karavank, kjer je Zavod za gozdove Republike Slovenije načrtoval vlake pri letnih posekih gozdov.
- V sodelovanju z lokalno skupnostjo občine Beltinci smo v okviru projekta DopFolo (<http://solarenergo.beltinci.si/>) razvili spletno in mobilno aplikacijo za določanje fotovoltaičnega potenciala streh za celotno občino. Kot osnovo smo uporabili podatke LiDAR, ki jih je občina Beltinci pridobila v okviru tega projekta.
- Razvita programska oprema je vsakodnevno v uporabi na Geodetskem inštitutu Slovenije, saj trenutno poteka celotno snemanje države Slovenije s podatki LiDAR.
- Naš algoritem za razpoznavo objektov je bil na neformalnem svetovnem tekmovanju algoritmov za razpoznavo objektov LiDAR najuspešnejši (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271613002268>).
- V okviru projekta sta bili do sedaj ubranjeni dve doktorski disertaciji, 3 magistrska dela in 4 diplomske naloge.

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>8</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

V projektu smo razvili ključno programsko infrastrukturo za obdelavo podatkov LiDAR, ki vključuje njihovo učinkovito arhiviranje za prenos preko spleta, vizualizacijo ter razpoznavo točk terena in izgradnjo digitalnega modela reliefa. Vzpostavitev te temeljne infrastrukture odpira vrata za številne nove raziskave, tako na področju računalništva kot tudi na širšem področju daljinskega zaznavanja in okoljskih znanosti.

Poleg očitnih prednosti pri znižanju stroškov nadaljnjih raziskav okolja s tehnologijo LiDAR, ki jih omogočajo razvite metode za njihovo učinkovito arhiviranje in njihov prenos prek spleta, so ti postopki danes že predmet nadgrajevanja v strojni implementaciji za izboljšanje delovanja samih senzorskih sistemov. Eno izmed takšnih rešitev smo predstavili tudi sami, medtem ko je ugotovljene strukturne karakteristike podatkov, na katerih temelji stiskanje, mogoče izkoristiti tudi za izboljšanje vzorčenja, na primer [Put13]. Pokazali smo še, da je te postopke mogoče nadgraditi v splošno stiskanje geometrijskih podatkov in jih uspešno integrirali v spletno vizualizacijo. Na ta način smo odprli možnosti vizualne analitike neomejene količine podatkov, kar predstavlja pomemben napredek na področju študija okolja ter hkrati ponuja možnost njihove prilagoditve in integracijo ostalih podatkovnih tipov. Na osnovi razvitega 3D grafičnega pogona smo namreč razvili še napredno metodo atributne vizualizacije, ki poveča dimenzionalnost predstavitev podatkov s samodejnim barvanjem objektov glede na njihove geometrijske lastnosti in jo uporabili pri upodobitvi bioloških celic [Hor13]. Pokazana razširljivost teh temeljnih algoritmov računalništva tako obljublja pomembne napredke v naših nadaljnjih interdisciplinarnih raziskavah, predvsem pri razpoznavi geometrijskih vzorcev v oblakih 3D točk. Prav na tem področju je vpliv izvedenega projekta že danes najopaznejši. Razvita metodologija je namreč povzročila razvoj novega razreda večločljivostnih hierarhičnih algoritmov izgradnje digitalnih modelov reliefa [Che13], ki trenutno veljajo za najučinkovitejše [Mon14]. Zaradi številnih raziskav zemeljskega površja, pomembnih za varnost in kvaliteto bivanja, je učinkovitost takšnega algoritma izjemnega pomena in nudi osnovo za natančno spremljanje pojavov na površju Zemlje kot so zemeljski plazovi, erozija vode in simulacije poplav [Che13, Gua13, Tsa14]. Hkrati pa lahko digitalni model reliefa razumemo tudi kot ozadje pri razpoznavanju ostalih objektov na zemeljskem površju, kar postavlja razvito metodo med ključne na področju zemeljskih opazovanj [Mon14]. Mogoče jo bo tudi razširiti na ostale oblake točk, pridobljene na primer iz stereoparov satelitskih posnetkov [Tsa14].



- [Che13] Chen, C., Li, Y., Li, W., Dai, H. (2013). A multiresolution hierarchical classification algorithm for filtering airborne LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 82(1), 1-9.
- [Gua13] Guan, H., Li, J., Zhong, L., Yongtao, Y., & Chapman, M. (2013). Process virtualization of large-scale lidar data in a cloud computing environment. *Computers & Geosciences*, 60, 109-116.
- [Hor13] Horvat, D., Žalik, B., Rupnik, M., Mongus, D. (2013). Visualising the attributes of biological cells, based on human perception. *Lecture notes in computer science*, 7947. Berlin; Heidelberg: Springer, 386-399.
- [Mon14] Mongus, D., Lukač, N., Žalik, B. (2014). Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted surfaces. *In press*, 1-12.
- [Put13] Puttonen, E., Lehtomäki, M., Kaartinen, H., Zhu, L., Kukko, A., & Jaakkola, A. (2013). Improved sampling for terrestrial and mobile laser scanner point cloud data. *Remote Sensing*, 5 (4), 1754-1773.
- [Tsa14] Tsanis, I. K., Seiradakis, K. D., Daliakopoulos, I. N., Grillakis, M. G., & Koutroulis, A. G. (2014). Assessment of GeoEye-1 stereo-pair-generated DEM in flood mapping of an ungauged basin. *Journal of Hydroinformatics*, 16(1).

ANG

In this project, key software infrastructure for LiDAR data processing was developed, including efficient archiving of LiDAR datasets enabling their transmission over the internet, its visualization and point filtering for the generation of digital terrain models. This infrastructure opens the door for numerous new researches in computer science as well as in remote sensing and environmental sciences. Additionally to obvious advantages provided by the developed data compression algorithms when considering the costs of environmental studies using LiDAR, these methods have been already implemented in hardware to support further improvements of the sensor systems. One such hardware solution was implemented by the consortium, too, while other researchers have exploited the identified structural characteristics used for data compression to improve its sampling, for example [Put13]. We have also shown that these approaches can be extended into general geometric data compression and integrated into web visualization. This enabled visual analytics of practically unlimited amounts of data, providing significant improvements for experts in various fields of environmental studies. At the same time, different data types (i.e. SAR or orthophoto images) can be considered in this way. The developed 3D graphic engine has been extended with attribute-based visualization, capable of enhancing the dimensionality of data representation by automatic colouring of features based on their geometric properties. As a case study, the microscopic images of biological cells have been visualized [Hor13]. The functional and domain extendibility offers significant advances, especially when considering recognition of geometric patterns in 3D point-clouds. Here, the scientific impacts of the project are the most remarkable. The introduced methodology has led to the development of a new class of hierarchical multi-resolution algorithms for generation of digital terrain models [Che13], currently recognised as the most efficient [Mon14]. Due to numerous studies of the Earth's surface and their importance for the safety of people and the quality of life, the effectiveness of this type of algorithms is substantial. They provide the basis for accurate monitoring of natural phenomena such as landslides, erosion due to the water, and flood simulations [Che13, Gua13, Tsa14]. At the same time, the digital terrain model can also be considered as the background when identifying objects on the Earth's surface, making the developed method a major breakthrough in the field of Earth observations [Mon14]. It may also be extended to other types of data, for example point-clouds, obtained from stereo-pair satellite images, as shown by [Tsa14].

- [Che13] Chen, C., Li, Y., Li, W., Dai, H. (2013). A multiresolution hierarchical classification algorithm for filtering airborne LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 82(1), 1-9.
- [Gua13] Guan, H., Li, J., Zhong, L., Yongtao, Y., & Chapman, M. (2013). Process virtualization of large-scale lidar data in a cloud computing environment. *Computers & Geosciences*, 60, 109-116.
- [Hor13] Horvat, D., Žalik, B., Rupnik, M., Mongus, D. (2013). Visualising the attributes of biological cells, based on human perception. *Lecture notes in computer science*, 7947. Berlin; Heidelberg: Springer, 386-399.
- [Mon14] Mongus, D., Lukač, N., Žalik, B. (2014). Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted surfaces. *In press*, 1-12.

[Put13] Puttonen, E., Lehtomäki, M., Kaartinen, H., Zhu, L., Kukko, A., & Jaakkola, A. (2013). Improved sampling for terrestrial and mobile laser scanner point cloud data. *Remote Sensing*, 5 (4), 1754-1773.

[Tsa14] Tsanis, I. K., Seiradakis, K. D., Daliakopoulos, I. N., Grillakis, M. G., & Koutroulis, A. G. (2014). Assessment of GeoEye-1 stereo-pair-generated DEM in flood mapping of an ungauged basin. *Journal of Hydroinformatics*, 16(1).

## 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Z razvojem naprednih algoritmov arhiviranja, vizualizacije in obdelave podatkov LiDAR, ki po svoji učinkovitosti spadajo v svetovni vrh, ter njihovimi objavami v najuglednejših znanstvenih revijah smo zagotovo pripomogli k ugledu Slovenije in prepoznavnosti slovenske znanstvene odločnosti v svetu. Hkrati pa je aplikativna narava projekta zahtevala intenziven razmislek o prenosu raziskav v prakso. Z izsledki raziskav smo redno seznanjali podjetja, ki so sofinancirala raziskavo, hkrati pa poskrbeli za informiranje širše javnosti o zmožnosti razvitih prototipov. Podjetja, ki so sofinancirala raziskavo, so zaznale velik potencial v podatkih LiDAR in razvitih algoritmih za njihovo obdelavo. Tako je podjetje Dat-Con d.o.o., ki se med drugim ukvarja z razvojem specialne programske opreme za varovanje terena, rezultate projekta predstavilo svojim partnerjem v Aziji in južni Ameriki. Prvi odzivi so vzpodbudni, čeprav je tehnologija LiDAR v teh državah še dokaj nepoznana. V ta namen so pripravili tudi ustrezno promocijsko gradivo. Podjetje XLAB, d.o.o., ki je osvojilo leta 2011 prestižno nagrado Srebrna gazela Slovenije in Gazela osrednje Slovenije, že integrira posamezne rešitve (napredno upodabljanje, progresivno stiskanje podatkov), razvite v okviru tega projekta, v napreden in povsem prilagodljiv 3D geografski informacijski sistem Gaea+ [Pla11]. Podjetje Igea, d.o.o., ki se že leta ukvarja z digitalnim katastrom in standardiziranimi spletnimi storitvami za dostop do podatkov, bo obstoječ 2D kataster poskušalo povezati s 3D funkcionalnostjo podatkov LiDAR. S tem bo postal 3D digitalni kataster še pomembnejši vir informacij za številne uporabnike, kot so: ministrstva (Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Ministrstvo za obrambo, Ministrstvo za notranje zadeve), državno upravo (Geodetska uprava RS), zavodi (Zavod za gozdove, Stanovanjski sklad Republike Slovenije), javna podjetja (vodna gospodarstva, Elektro-Slovenija, DARS), lokalne skupnosti in privatna podjetja, ki se ukvarjajo z umestitve v prostor, urbanističnimi načrti, proizvodnjo biomase, sanacijo plazov.

S predstavitvami rezultatov projekta na raznih strokovnih srečanjih smo navezali tudi intenzivne stike z Geodetsko upravo Republike Slovenije (GURS), ki bo z uporabo razvitega brezizgubnega algoritma stiskanja podatkov LiDAR privarčevala skoraj devetdeset odstotkov stroškov, povezanih s trajnostno shrambo podatkov ter občutno izboljšala njihovo organizacijo in dostopnost širšemu krogu uporabnikov. V sodelovanju z Geodetskih inštitutom Slovenije smo izvedli primerjalno študijo učinkovitost metod izgradnje digitalnega modela reliefa in potrdili primernost naše metode za njeno uporabo pri izvedbi nacionalnega projekta zajema površja Slovenije s tehnologijo LiDAR [Mon13]. S tem smo učinkovitost algoritma in uporabniške aplikacije preverili tudi v delovnem okolju ter tako pridobili informacije o uporabniški izkušnji. Na tej osnovi smo lahko razvili celovito uporabniško rešitev. Poleg Geodetskega inštituta Slovenije bo metodo uporabljal tudi Zavod za gozdove Republike Slovenije za načrtovanje in analizo prehodnosti gozdnih cest.

[Mon13] Mongus, D., Triglav, M., Žalik, B. (2013). Analiza samodejne metode za generiranje digitalnih modelov reliefa iz podatkov lidar na območju Slovenije, *Geodetski vestnik*, 57(2), 245-258.

[Pla11] Planinska zveza Slovenije, dosegljivo na: <http://www.pzs.si/vsebina.php?pid=94>

[XLa14] Predstavitev orodja Gaea+, dosegljivo na: <http://www.xlab.si/products/gaea/>

ANG

With the development of the advanced algorithms for archiving, visualization, and processing of LiDAR data, all being among the most efficient ones, and publications in the most prestigious scientific journals, significant contributions to the reputation of Slovenia and the Slovenian scientific excellence have been made. At the same time, the applicative nature of the project required to focus on transferring the research results into practice. The companies co-founding this project were regularly informed about the research results, while promoting the developed prototypes to the general public was of vital importance for the success of the project. Co-

founders have recognised high commercial potential in LiDAR data as well as the developed algorithms for their processing. Thus, Dat-Con d.o.o., engaged in the development of special solutions for the terrain guarding, intensively promoted the results of the project to its partners in Asia and South America. Although the LiDAR technology is still relatively unknown in this part of the world, the initial market research showed encouraging results and further investments in promotional material have been made. XLAB d.o.o., the winner of the prestigious Silver Gazelle Slovenia and Gazelle of central Slovenia awards in 2011, already integrated individual solutions (advanced visualization, progressive compression) from this project into its advanced and fully customizable 3D geographic information system Gaea+ [Pla11]. Yet another important impact of this project is being made by Igea d.o.o., which has been for years engaged in the development of the digital cadastre and the standardized web services for GIS data access. They are planning to improve the existing 2D cadastre with the 3D functionalities provided by the LiDAR data that shall effectively make 3D digital cadastre even more important source of digital information for numerous end-users, including ministries (Ministry of agriculture and the environment, Ministry of Defence, Ministry of the Interior), the state authorities (Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia), public institutions (Slovenia forest service, Housing Fund of the Republic of Slovenia), public companies (water management, Electro-Slovenia, DARS), local communities, and private companies dealing with spatial and urban planning, biomass production, or reconstruction after disasters like landslides.

By presenting the results of the project to experts on various workshops, a close links with the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia (GURS) have been established. Benefits of the developed solutions for lossless LiDAR data compression will save them almost ninety percent of the costs associated with the storage of LiDAR data, while significantly improving their organization and the availability of data to the users.

Finally, a comparative study of the efficiency of methods for generating digital terrain models has been made in cooperation with the Geodetic Institute of Slovenia, where our method proved to be the most efficient and suitable for the national project of LiDAR data acquisition in Slovenia [Mon13]. Thus, the algorithm along with the end-user application was prepared and tested in the production environment, allowing us to gain the information about the user experience. Based on this, we developed a comprehensive customer solution that will, in addition to the Geodetic Institute of Slovenia, be used by the Forest Service of the Republic of Slovenia for the planning and analysis of the transferability of forest roads.

[Mon13] Mongus, D., Triglav, M., Žalik, B. (2013). Analiza samodejne metode za generiranje digitalnih modelov reliefa iz podatkov lidar na območju Slovenije, Geodetski vestnik, 57(2), 245-258.

[Pla11] Alpine association of Slovenia, available on: <http://www.pzs.si/vsebina.php?pid=94>

[XLa14] XLab, Gaea+, available on: <http://www.gaeaplus.eu/en/>

#### 10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

**Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni**

Cilj		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	

	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih

<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.21 Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.22 Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.23 Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24 Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25 Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26 Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27 Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28 Priprava/organizacija razstave</b>		
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

<b>F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.30 Strokovna ocena stanja</b>		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen <input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>	
<b>F.31 Razvoj standardov</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	
<b>F.32 Mednarodni patent</b>		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen <input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>	
<b>F.33 Patent v Sloveniji</b>		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen <input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>	
<b>F.34 Svetovalna dejavnost</b>		
Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE	
Rezultat	Dosežen <input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>	
<b>F.35 Drugo</b>		
Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE	
Rezultat	<input type="text"/>	
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>	

**Komentar**


**11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**  
**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					



G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.07.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar**

--

**12. Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>11</sup>**

Sofinancer				
1.	Naziv	Dat-con, d.o.o.		
	Naslov	Cvetlična ulica 52, 3313 Polzela		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	37.831,83	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	5	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1. Pridobitev novih praktičnih znanj in veščin	F.01	
		2. Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	F.02	
		3. Dvig tehnološke ravni	F.04	
		4. Večja konkurenčna sposobnost	F.35	
		5.		
Komentar	Projekt "Obdelava velikih količin podatkov LiDAR" (L2-3650) je pokazal ogromen potencial moderne tehnologije za daljinsko zaznavanje LiDAR, ki postaja komercialno vse bolj dostopna. Raziskovalci na omenjenem projektu so v veliki meri zmanjšali razkorak med samo zmožnostjo zajema podatkov in njihovo učinkovito obdelavo, z razvojem visokozmogljivih algoritmov. Ves čas raziskave smo bili seznanjeni s stanjem projekta, ki je presegal naša pričakovanja. Menimo, da so takšni projekti prava pot za uspešnejši prenos znanja iz raziskovalnih inštitucij v gospodarstvo.			
Ocena	Rezultati projekta so izjemno zanimivi in nudijo kup možnosti za njihovo nadgradnjo in prilagoditev dejanskim zahtevam uporabnikov. Omenimo samo nekaj rezultatov: povsem avtomatizirana gradnja visokoločljivostnega površja, detekcija objektov in vegetacije, določanje fotovoltaičnega potenciala, zaznava infrastrukture (ceste, železnice, infrastruktura). Te rešitve imajo veliko možnosti uporabe v različnih aplikacijah. Nekaj prototipnih rešitev smo že predstavili našim partnerjem v tujini in glede na odzive smo prepričani, da bomo prototipne rešitve lahko nadgradili do končnih uporabnih izdelkov.			
2.	Naziv	IGEA, d.o.o.		
	Naslov	Koprška 94, 1000 Ljubljana		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	66.773,14	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	9	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra	
		1. Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	F.01	
		2. Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	F.02	

	3.	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	F.03
	4.	Dvig tehnološke ravni	F.04
	5.	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	F.15
Komentar	Sodelovanje v raziskovalnem projektu pomeni za podjetje Igea d.o.o. razvoj novih smeri pridobivanja in uporabe prostorskih podatkov. Tehnologija LIDAR odpira popolnoma nove možnosti na področju geoinformacijskih tehnologij in praks, ki jih v realnih aplikativnih procesih še ne izkoriščajo. Problemi, ki so bili obravnavani v raziskovalnem projektu, pomenijo osnovo za konkretne implementacije tehnologije v praktičnih rešitvah, pri zajemu, obdelavi in prezentaciji zahtevnih 3D podatkov. Podjetje Igea je sodelovanje v raziskovalnem projektu v tehnološkem smislu nadgradilo predvsem z razvojem infrastrukture v smeri optimizacije in sistematizacije HW in SW za zagotovitev optimalnega delovanja prostorske informacijske infrastrukture, kar je še posebej pomembno pri obdelavi in uporabi velike količine podatkov.		
Ocena	Projekt pomeni utrditev in nadgraditev tradicionalnega sodelovanja podjetja z nosilcem raziskovalnega projekta (UM-FERI) in ostalimi partnerji v projektu. Sodelovanje je pomembno v razvoju, izmenjavi, nadgradnji znanj, ki poteka v obeh smereh: iz raziskovalne sfere v podjetniško in obratno, pri čemer se v obeh smereh prenašajo raziskave in tudi praktične implementacije posameznih rešitev. Pomembna je tudi kadrovska komponenta, kjer se na osnovi tovrstnega sodelovanja povečuje izobrazbena kvalifikacija sodelavcev v podjetju, in na strani UM-FERI, posamezni sodelavci pa se vključujejo tudi v poslovne procese na eni ali drugi strani.		
3.	Naziv	XLAB, d.o.o.	
	Naslov	Pot za Brdom 100, 1000 Ljubljana	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	62.327,88	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	8	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
	1.	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	F.01
	2.	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	F.02
	3.	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	F.03
	4.	Dvig tehnološke ravni	F.04
	5.	Razvoj in izdelava prototipa	F.08
Komentar	S tem projektom je prišlo do zelo pomembnega sodelovanja med industrijo in akademskimi raziskovalnimi aktivnostmi.		
Ocena	Projekt je zelo pozitivno vplival na razvoj produktov in storitev v naši organizaciji.		
4.	Naziv	GeoIn, d.o.o.	
	Naslov	Gospodsvetska cesta 29, 2000 Maribor	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	22.226,27	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	3	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
	1.	Drugo	F.35

	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
Komentar	Podjetje GeoIn, d.o.o. je med izvajanjem projekta šlo v stečaj.	
Ocena	Strošek sofinanciranja sta si porazdelili podjetji Igea, d.o.o in XLAB, d.o.o. o čem smo ARRS pisno obestili z dopisom dne 28.6.2012.	

### 13. Izjemni dosežek v letu 2013<sup>12</sup>

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

V letu 2013 smo implementirali pohitreno metodo razpoznavanja terena v podatkih LiDAR, ki temelji na naprednih atributnih operatorjih matematične morfologije. Najpomembnejši teoretični prispevek metode temelji na formalni definicija najbolj kontrastnih regij, ki so določene kot območja z manjšimi variacijami v višini (ali intenziteti v primeru slik) znotraj njih, kot je njihova višinska razlika z ozadjem. Takšne regije predstavljajo osnovne pomenske enote, ki jim lahko določimo geometrijske, teksturne in oblikovne značilnosti, ter na tej osnovi učinkovito razločimo njihov pomen. Članek z naslovom: "Computationally efficient method for the generation of a digital terrain model from airborne LiDAR data using connected operators" je bil objavljen v prestižni reviji "IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing", v januarski številki 2014 (vol. 7, no. 1, pp. 340-351).

#### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

V letu 2013 smo vzpostavili celovito infrastrukturo za obdelavo podatkov LiDAR, ki vključuje tako arhiviranje kot vizualizacijo neomejene količine podatkov ter vse stopnje njihove obdelave do končnih uporabniških produktov. Ti vključujejo izgradnjo digitalnih modelov reliefa in izdelavo podobe njihovega analitičnega senčenja, razpoznavo ključnih razredov točk (to so teren, stavbe, visoke in nizke šumne točke, mostovi ter nizka, srednja in visoka vegetacija), pretvorbe med koordinatnimi sistemi ter analitična orodja za ocenjevanje natančnosti podatkov in izdelanih produktov. Poleg visoke računske učinkovitosti (za vsa orodja je ta dokazano linearna), so orodja tudi uporabniško prijazna in le izjemoma zahtevajo uporabniško interakcijo. Tako nam uspe iz 1GB surovih podatkov LiDAR izdelati vse končne produkte na osebнем računalniku v manj kot sedmih minutah, na strežniških sistemih pa se obdelovalni čas zaradi višje stopnje paralelizacije lahko še občutno zmanjša.

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

#### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Mariboru, Fakulteta za  
elektrotehniko, računalništvo in  
informatiko

Borut Žalik

## ŽIG

Kraj in datum: 

Maribor	21.3.2014
---------	-----------

### Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2014/32

- <sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
- <sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- <sup>3</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- <sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- <sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- <sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.  
  
Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.  
  
Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- <sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
- <sup>8</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
- <sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- <sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
- <sup>11</sup> Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
- <sup>12</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2013 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložitev/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2014 v1.01  
D4-C9-9C-DA-27-EA-5E-59-99-0C-EB-02-58-1A-DC-B4-57-19-69-ED

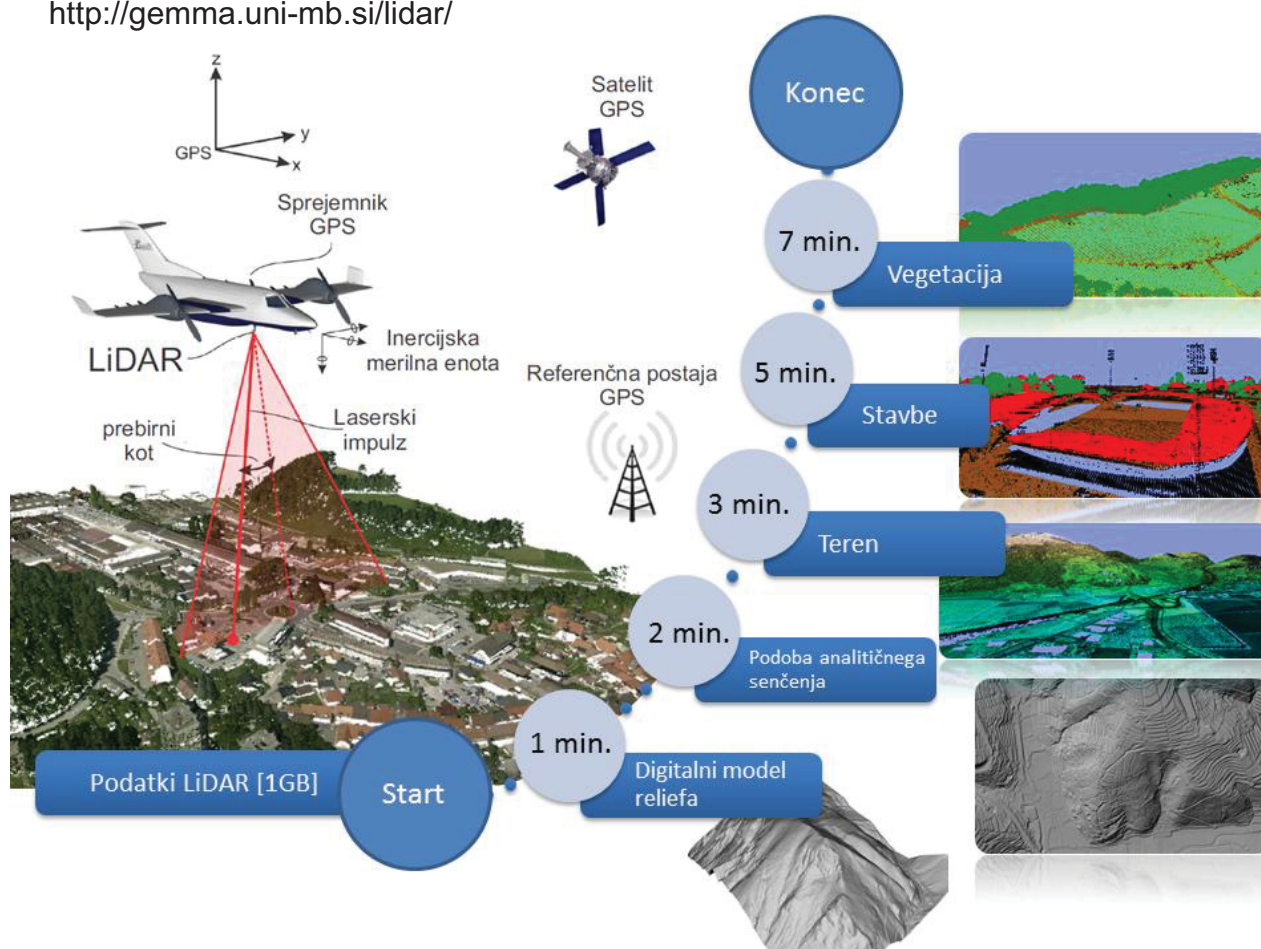
## **Priloga 1**

VEDA

Področje: 2.07 Računalništvo in informatika

Dosežek 1: Programska infrastruktura za obdelavo podatkov LiDAR, Vir:

<http://gemma.uni-mb.si/lidar/>



V letu 2013 smo vzpostavili celovito programsko infrastrukturo za obdelavo podatkov LiDAR, ki vključuje tako arhiviranje kot vizualizacijo neomejene količine podatkov ter vse stopnje njihove obdelave do končnih uporabniških produktov. Ti vključujejo izgradnjo digitalnih modelov reliefa in izdelavo podobe njihovega analitičnega senčenja, razpoznavo ključnih razredov točk (to so teren, stavbe, visoke in nizke šumne točke, mostovi ter nizka, srednja in visoka vegetacija), pretvorbe med koordinatnimi sistemi ter analitična orodja za ocenjevanje natančnosti podatkov in izdelanih produktov. Poleg visoke računske učinkovitosti (za vsa orodja je ta dokazano linearna), so orodja tudi uporabniško prijazna in le izjemoma zahtevajo uporabniško interakcijo. Tako nam uspe iz 1GB surovih podatkov LiDAR izdelati vse končne produkte na osebem računalniku v manj kot sedmih minutah, na strežniških sistemih pa se obdelovalni čas zaradi višje stopnje paralelizacije lahko še občutno zmanjša.

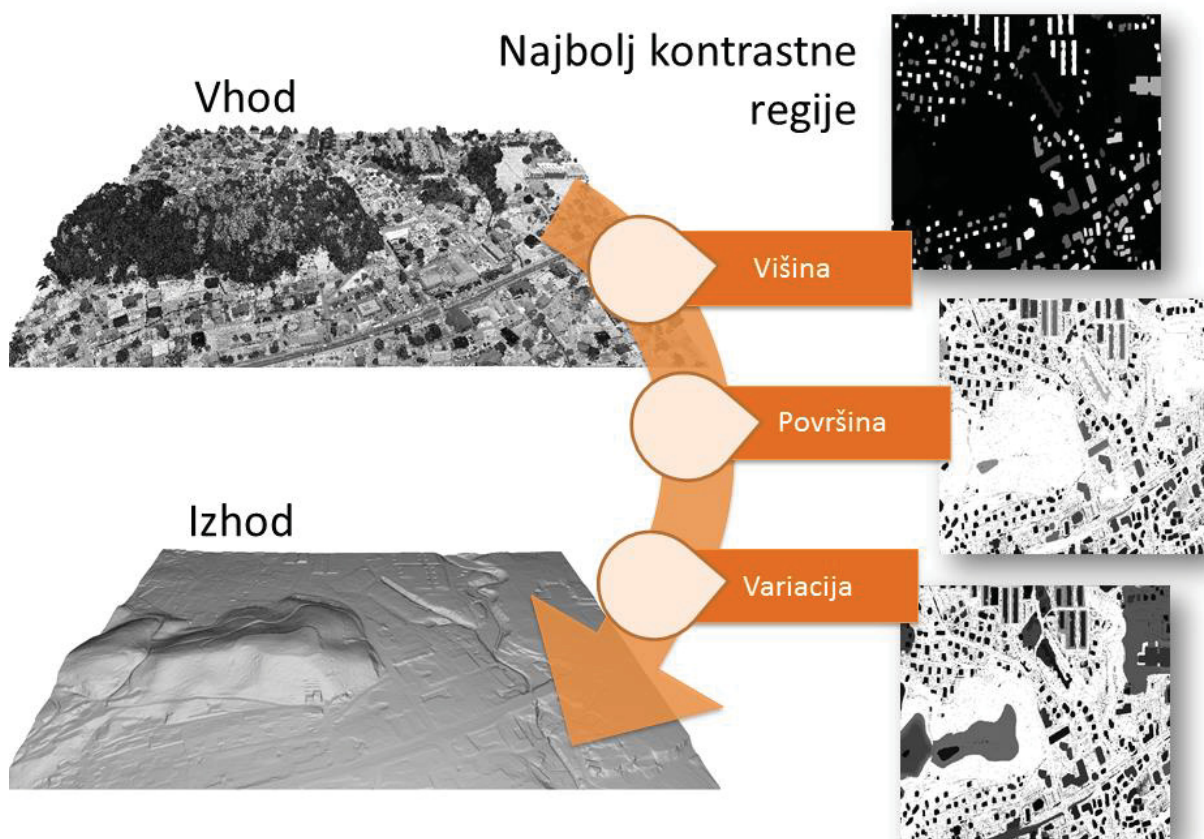


## **Priloga 2**

VEDA

Področje: 2.07 Računalništvo in informatika

**Dosežek 1:** Generiranje digitalnega modela reliefa Vir: Mongus, D., Žalik, B. Computationally efficient method for the generation of a digital terrain model from airborne LiDAR data using connected operators. IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing 7(1), 2014, 340-351.



V letu 2013 smo implementirali pohitreno metodo razpoznavanja terena v podatkih LiDAR, ki temelji na naprednih atributnih operatorjih matematične morfologije. Najpomembnejši teoretični prispevek metode temelji na formalni definicija najbolj kontrastnih regij, ki so določene kot območja z manjšimi variacijami v višini (ali intenziteti v primeru slik) znotraj njih, kot je njihova višinska razlika z ozadjem. Takšne regije predstavljajo osnovne pomenske enote, ki jim lahko določimo geometrijske, teksturne in oblikovne značilnosti ter na tej osnovi učinkovito razločimo njihov pomen. Uspešnost koncepta smo demonstrirali pri razpoznavi stavb v podatkih LiDAR, določanju geometrijskih atributov bioloških celic na mikroskopskih slikah in pri njihovem razšumljanju.