

## ПРОИЗВОДИ И ПРИМЕНА ЛАСЕРСКО АЛТИМЕТРИЈСКОГ СНИМАЊА

Доц. др **Иван Несторов**, дипл. геод. инж.\*  
**Југослав Бељин**, дипл. геод. инж.\*\*  
**Небојша Мартиновић**, дипл. геод. инж.\*\*\*

Прегледни рад  
 УДК: [528.7:528.8.04]:528.3/4(497.11)

### РЕЗИМЕ

Високом густиниом измерених тачака ваздушним LIDAR системом, односно FLI-MAP системом, отпочела је иновација у техникама даљинске детекције, у коју групу спада наведени метод прикупљања података, и помера границе традиционалних метода снимања терена. Посебно када су у питању дугачки коридори, као што су: путеви, железничке пруге, електронапонски водови, насипи итд., ласерско алтиметријско снимање представља нови метод прикупљања података на брз и економичан начин.

**Кључне речи:** *FLI-MAP, FLIP7*

## PRODUCTS AND APPLICATION OF LASER ALTIMETRY SURVEYING

**Ivan Nestorov**, Ph.d. M. Sc. Geod. eng.  
**Jugoslav Beljin**, Geod. eng.  
**Nebojša Martinović**, Geod. eng.

### ABSTRACT

High density airborne LiDAR apropos FLI-MAP system, being an innovation in remote sensing techniques, has now overcome the barriers of the traditional survey techniques. Especially for long corridors like roads, railway, electricity lines, embankments etc., laser altimetry provides a new survey method to collect remotely sensed data in a quick and economic way.

**Key words:** *FLI-MAP, FLIP7*

### 1. УВОД

Технолошки развој омогућава како нове приступе снимања тако и другачије приступе анализирања и моделирања снимљених података. Комбинацијом ласерског снимања, сателитског позиционирања, инерцијалне навигације и програмског пакета за обраду тако одређених података дефинише се нови метод за снимање коридора, познат као FLI-MAP (*Fast Laser Imaging and Mapping Airborne Platform*). Технологија и нивои тачности који се добијају овом методом снимања су описани у чланку „Ласерско алтиметријско снимање“ (Несторов, и др. 2006). У овом раду ће бити описани поступци обраде података и могућности неких инжењерских примена FLI-MAP система.

FLI-MAP систем је широко применљив како за снимање коридора као што су: путеви, железничке пруге, далеководи, цевоводи итд., тако и за моделирање објеката (зграда) што може послужити као основа за израду „true orthophoto“-а.

### 2. ПРОИЗВОДИ

Обраду податка добијену помоћу FLI-MAP система можемо поделити у две групе:

1. Претходна обрада података
2. Накнадна обрада података

Претходна обрада података се обавља на терену у току снимања. И овакав начин обраде података обезбеђује потпуну контролу квалитета прикупљених података на самом терену у току снимања. У случају расцепа у подацима, могу се испланирати додатне линије лета да би се осигурала потпуна покривеност сниманог подручја и квалитет прикупљених података. Претходна обрада почиње прорачуном базних линија између базних станица и антена које се налазе на летелици. Ове вишеструке базне линије се комбинују са подацима о позицији летелице за сваку епоху мерења. ГПС подаци прикупљени помоћу ГПС пријемника који се налазе на летелици су интегрисани са INS (*Inertial Navigation System*) подацима и служе за прецизно израчунавање линије лета. У међувремену се проверава покривеност подацима и густина тачака сниманог коридора. Завршна провера апсолутне тачности ласерских тачака се спроводи коришћењем мерења са оријентационих тачака.

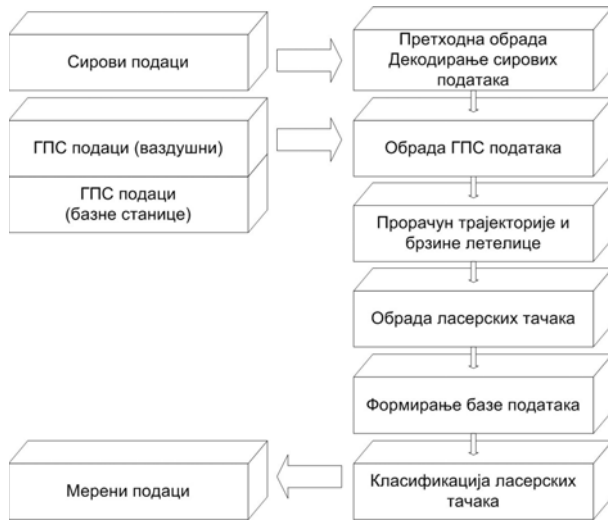
\* Грађевински факултет Универзитета у Београду – Одсек за геодезију и геоинформатику, Булевар краља Александра 73, Београд • E-mail: nestorov@grf.bg.ac.yu

\*\* Еврогеоматика д.о.о., Булевар војводе Мишића 39а, Београд E-mail: yugab@ptt.yu

\*\*\* Еврогеоматика д.о.о. • E-mail: manebojsa@gmail.com

Накнадна обрада података представља процесирање података у смислу добијања квалитетних и валидних информација. Кроз накнадну обраду података можемо издвојити:

- дигитални модел терена
- дигитални модел зграда
- топографске планове
- профиле
- ситуационе планове
- тематски дефинисане подужне профиле
- видео материјал

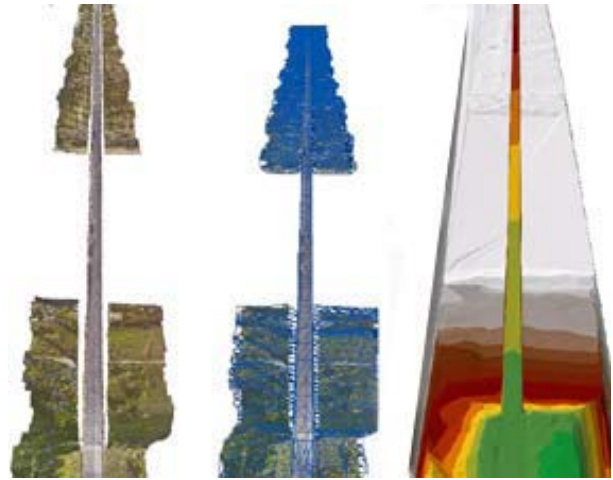


Сл. 1. Алгоритам обраде података

### 2.1. Дигитални модел терена

Дигитални модел терена има за основни проблем дефинисање grid-а односно густине тачака којом се жели приказати. Садашња програмска решења која се користе у сврху пројектовања траже гريد густине од 5 до 20 метара у зависности од размере и потреба које су везане за будуће коришћење дигиталног модела терена. Проблем се рефлектује на правилан избор тачака које ће представљати будућу мрежу, јер ако имамо у виду да је густина тачака од 20 до 70 по квадратном метру онда је проблем очигледан: како издвојити тачке које ће реално приказати модел и саме по себи имати одговарајућу тачност. Стратегије решавања су различите и базирају се на реалној конфигурацији рељефа и могу бити:

- осредњавање вредности
- осредњавање вредности уз додатне филтрације
- креирање падних линија на основу претходног класификовања и филтрирања података.

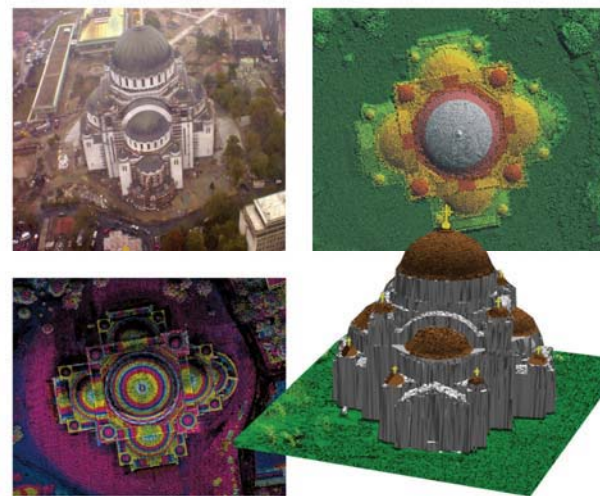


Сл. 2. Приказ ДТМ-а - Мост код Бешке

### 2.2. Дигитални модел зграда

Развој ласерске методе као ефикасне методе снимања коридора подстакао је развој алгоритама за филтрирање ласерских података (имајући у виду густину тачака у процесу обраде података) на основу којих се одговарајући садржај може издвојити.

У процесу одређивања висина објеката (висине и облика), који су веома битни када су у питању далеководи а имајући у виду бесправну градњу и објекти који су саграђени испод самих водова, користе се две врсте филтера – филтери који класификују тачке у смислу промене нагиба што представља основу за 3D дигитализацију објеката, као и филтер за одређивање висине крова који ради на сличном принципу. Као додатак дигиталном моделу терена можемо имплементирати објекте са њиховом основом и висином и добити дигитални површински модел.

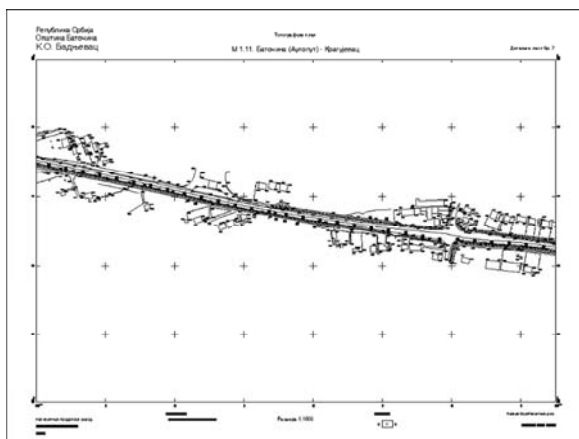


Сл. 3. Приказ моделирања објеката – Храм Светог Саве

### 2.3. Топографски планови

Израда топографских планова је процес у коме се подаци прикупљају користећи комбиновано 2D и 3D приказ из различитих углова. Како је сноп ласерских тачака које прекривају – дефинишу објекат релативно густ и како се за сваки објекат на снимљеном коридору у 3D приказу могу видети зидови и основа, то је дигитализација објеката довољно тачна и док је случајни утицај грешке оператора смањен на вредност мању од 5 cm (по положају и висини).

Када кажемо објекат подразумевамо објекат који је основни део топографског плана.



Сл. 4. Приказ топографског плана добијен FLI-MAP премером

### 2.4. Профили

Попречни профили су врло чест захтев када су у питању производи које треба испоручити инвеститору, мада попречни профили губе свој смисао када је FLI-MAP технологија у питању. У класичном геодетском снимању дигитални модел терена се добијао на основу снимљених профила и то обично на 25 односно 50 метара у зависности од размере снимања. Ласерским снимањем дигитални модел терена се може добити на основу снимљених 3D тачака.

Профили се у обради могу добити на два начина:

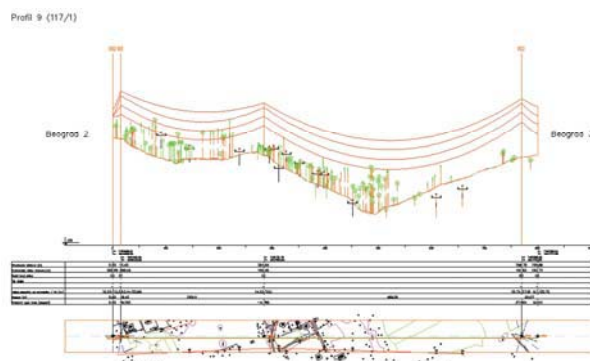
Директним пројектовањем унапред дефинисаних линија профила где се густина тачака које ће се пројектовати унапред одређују и могу се кретати од 10 cm до n метара. Коришћењем ове методологије свака тачка профила која се пројектује на терен може се добити кроз осредњавање тачака које леже у кругу одређеног полупречника (што је полупречник мањи то је тачност већа јер је избор

тачка адекватнији). Други метод добијања профила је да се они генеришу из дигиталног модела терена који је формиран не само од грида тачака већ и од просторне дефиниције свих ентитета који могу бити предмет топографских планова.

### 2.5. Подужни профили

Подужни профили су такође чест захтев инвеститора, нарочито је то важно када су у питању далеководи где је потребно израдити подужни профил за онолики број жица које су постављене на далеководу. Узимајући у обзир да далеководи могу имати 3, 5 или више жица очигледна је предност која се добија овом технологијом снимања.

Као и код подужних профила и овде се могу користити наведене две стратегије при чему је битно нагласити да је потребно издвојити и сво растиње које се налазу у коридору. Растинје у коридору опет има своју важност и тежину. Оно, поред утицаја које има на одржавање коридора, може, у зависности од софтвера, да прикаже и пројектовану ширину крошње. Подужни профили могу бити интегрисано приказани са хоризонталном представом терена као и ортофото снимцима, као што је приказано на слици 5.



Сл. 5. Приказ подужног профила далековода

## 3. ПРИМЕНА

### 3.1. Снимање електроенергетских преносних система

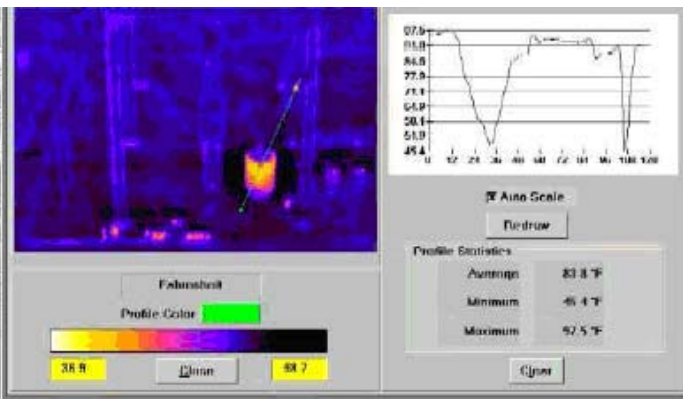
Једно од честих питања које се поставља у вези са електроенергетском мрежом јесте, „Какве су могућности транспорта више енергије, са што мање инвестиционих улагања?“. Одговор на ово питање је „Повећање капацитета постојеће мреже“. Да би се ово извело потребне су тачне информације о постојећој електроенергетској мрежи.

Зависно од прописа, и у циљу избегавања потенцијално опасних ситуација, објекти морају бити на одређеној удаљености од електро водова. Пренос вишка енергије путем постојеће мреже ће неминувано проузроковати пораст температуре водова. Због такве температурне експанзије ниво опуштања водова се повећава и овај ефекат утиче на безбедност објеката у окружењу. Због тога је неопходно урадити анализе максималних капацитета преносног система. Тачни и ажурни подаци у коридору водова, укључујући и висине зграда и вегетацију су у највећој мери непознати.

Снимање терена традиционалним методама траје временски веома дуго, и у већини случајева је веома тешко изводљиво поготово на неприступачним теренима. Шта више, мноштво неопходних информација се не може прикупити на овај начин.

Велика густина и тачност FLI-MAP података омогућава прикупљање свих просторних података у сниманом коридору брзином од 150 km на дан.

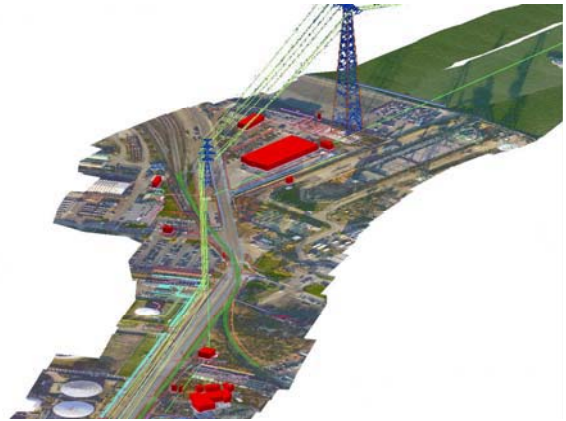
Снимањем FLI-MAP системом се могу веома прецизно одредити локације, висине и правци простирања електро водова. Велика густина ласерских тачака омогућава прецизно одређивање далековода. Осим тога тачке спајања водова су такође одређене FLI-MAP снимањем. Одређивањем ових параметара омогућава се реконструкција тачне форме, облика и опуштања далековода у времену снимања. Комбиновањем са доступним подацима водова (затезање, енергетско оптерећење) и временским условима (атмосферска температура, брзина ветра итд.) у периоду снимања, специјализованим програмским пакетима се може израчунати тренутно стање електроводова при различитим временским околностима и енергетском оптерећењу.



Сл.7. Пример коришћења инфрацрвене камере у откривању аномалија

FLI-MAP подаци снимљеног коридора садрже информације о локацијама, облику и величинама зграда и других објеката који се налазе у зони електро водова са висином терена и вегетацијом.

Комбиновањем прорачуна електро водова са прецизно одређеним координатама објеката и дигиталног модела терена, може се анализирати безбедна удаљеност електро водова од објеката. На основу овакве анализе могу се доносити исправне одлуке у циљу повећања енергетског капацитета на постојећој електроенергетској мрежи.



Сл. 6. Моделирање коридора далековода

### 3.2. Инфрацрвени снимци

Коришћење инфрацрвених камера током уобичајеног FLI-MAP снимања високо напонске преносне мреже, се омогућава детектовање аномалија у систему у исто време док се врши снимање коридора.

### 3.3. Снимање железничких пруга

Одржавање железничког система је веома скуп и комплексан посао који захтева детаљно планирање. Један од захтева јесте да се приликом

одржавања система саобраћај не оставља. За подршку оваквом систему одржавања развијено је више типова управљачких система одржавања. База података ових система би требало бити попуњена са

свим железничким средствима и другим инжењерским подацима. Ажурирани и тачни подаци железничких средстава нису увек доступна или нису геореференцирана (релативна позиција за осу пруге) и стога је немогуће интегрисати их у базу података. Тачни подаци о дигиталном моделу терена су често непоуздани, такође и пружни насипи и дренажни канали дуж шина имају велики утицај на структурни интегритет железничке пруге.

Терестричке традиционалне методе снимања дуж железничких пруга, као метод за прикупљање свих неопходних података је веома напорно и веома ограничено из перспективе безбедносних прописа.

Са FLI-MAP системом се могу прикупити сви неопходни подаци који се могу лоцирати дуж железничког коридора и интерпретирати се у жељеном координатном систему. У исто време се прикупљају просторни и топографски подаци у железничком коридору. Програмски пакети за обраду ласерски снимљених тачака имају интегрисане алате и филтере за дигитализацију шина и генерисање централних линија пруге односно осу пруге. Геореференцирани подаци изведени из FLI-MAP података представљају један од основа базе података система за управљање и одржавање железничке инфраструктуре. Друге податке и информације као што су оштећења шинске инфраструктуре могу бити прикупљена коришћењем специјалних шинских возила.

### 3.4. Снимање путева

FLI-MAP систем се све више у свету, користи за детаљно снимање путева. Резултат ових снимања могу бити чести програми одржавања путева (сваке 5. године у Холандији) или премер може бити захтеван у току актуелног процеса

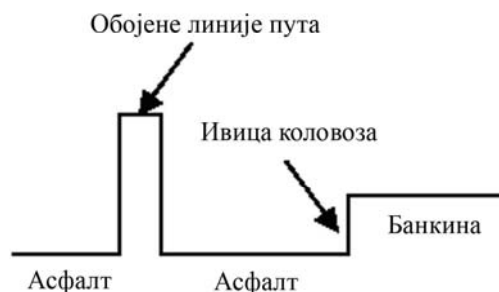
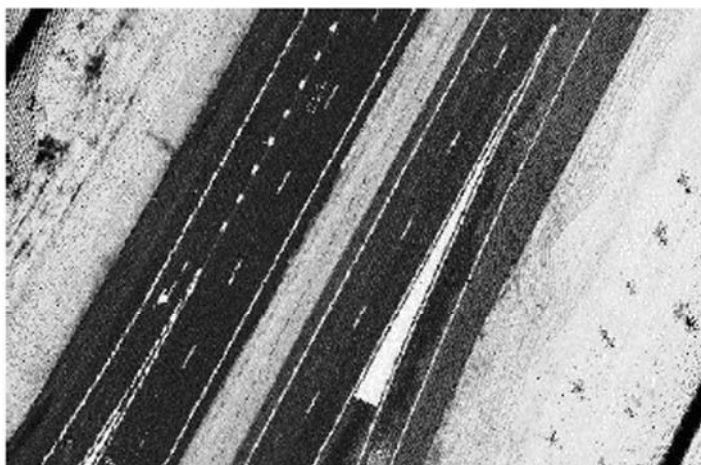
одржавања или су једноставно потребни ажурни планови траса путева.

Високо детаљни премер се уобичајно изводи фотограметријским путем или терестричким методама, али због захтева тачности и кратких рокова многе установе и компаније, које за делокруг рада имају одржавање путева, окрећу се алтернативним методама. Фотограметријски премер је скуп, док је конвенционални премер терена веома дуг и омета кориснике путева, једно од алтернативних решења је коришћење ласерско алтиметријског система FLI-MAP.

Крајњи производ добијен FLI-MAP снимањем укључује 3D дигитализацију и картирање следећих детаља:

- Тачкасти објекти: уличну расвету, саобраћајне знакове, шахтове, кабловска окна, итд.
- Линијски објекти: ивицу пута, хоризонталну сигнализацију, заштитне ограде, итд.
- Површински објекти: насипе, нагибе, итд.
- Класификација објеката: додељивање исправних кодова објектима коришћењем видео записа и слика

Програмски пакети за обраду ласерски снимљених тачака се користе за детекцију и идентификацију свих објеката који се налазе унутар снимљеног коридора. За убрзану обраду података неколико аутоматских филтерских рутина се користе за идентификовање различитих линијских објеката из скупа прикупљених података FLI-MAP методом. Различити материјали имају различите карактеристике у погледу апсорције и рефлексије ласерских импулса. FLI-MAP систем региструје ове амплитуде рефлектованих сигнала по прикупљеној ласерској тачки.



Сл.8. Слика базирна на интензитету и схематски приказ аутоматске детекције

„Intensity Filter“ користи разлику између рефлектоване енергије за аутоматско детерминисање прелаза између више типова материјала, између коловоза и обојене сигнализације на путу или ивице пута. На слици је приказана схема која приказује промене у интензитету дуж коловозног профила.

За детекцију офарбаних линија на коловозу, „Intensity Filter“ претражује прелаз између ниског и високог интензитета рефлектованог сигнала и одређује позицију високог интензитета као локацију офарбаних линија. Резултујући скуп података „Intensity Filter“ филтера је накнадно аутоматски обрађен следећим филтером „Line filter“. Овај филтер користи све кандидоване тачке и генерише праве или закривљене линије кроз њих. Само минорне мануелне акције су неопходне на спајању или укрштању линија. Као резултат, зависно од типа линије, дигитализоване линије су складиштене у различитим лејерима.

#### 4. ПРИМЕНА У СРБИЈИ

У октобру 2003. године је у Србији обављено геодетско снимање FLI-MAP методом око 300 km магистралних путева за потребе Републичке дирекције за путеве и око 60 km далековода за потребе ЈП „Електроисток“. Циљ овог снимања био је израда топографских подлога за потребе реализације идејних пројекта нових путева као и пројекта реконструкције и ревитализације постојећих путева, израда дигиталних модела терена снимљених коридора и израда геометријске основе за ГИС путева и далековода.

Деонице које су биле предмет снимања су:

- Прељина – Кокин Брод, дужине 121 km, ширина коридора 150 m,
- Бачка Паланка – Сомбор, дужине 72 km, ширина коридора 60 m,

- Суботица – Сента, дужине 33 km, ширина коридора 150 m,
- Батајница – Добановци, дужине 121 km, ширина коридора 150 m,
- Аутопут око Новог Сада, дужине 10 km, ширина коридора 150 m,
- Мост код Бешке на аутопуту Београд – Суботица, дужине 5 km, ширина коридора 60 m,
- Крагујевац – Баточина, дужине 121 km, ширина коридора 100 m,
- Коридор далековода Обреновац – Београд, дужине 60 km, ширина коридора 60 m

#### 5. ЗАКЉУЧАК

Могућности FLI-MAP система за прикупљање неопходних података са високом тачношћу и на брз и поуздан начин, чини FLI-MAP систем извршним системом за премер који подржава различите инжењерске примене.

FLI-MAP систем се доказао као добро алтернативно решење за високо детаљно и тачно прикупљање података дуж путева, електричних водова, железничких пруга, цевовода и других коридора.

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pieter Franken: *Transmission Line Monitoring through airborne modeling*, Fugro-Inpark B.V., Netherlands, 2003.
- [2] Huug HAASNOOT: *Fast and Accurate 3-D Aerial LiDAR Surveys*, Fugro-Inpark B.V., Netherlands, 2004.
- [3] Takayuki OKUBO: *AIRBORNE LASER MEASUREMENT TECHNOLOGY IN JAPAN*, Japan, 2000.
- [4] Списак коришћених интернет страница:  
<http://www.fugro-inpark.nl>  
<http://www.flimap.com>  
<http://www.lidar.com>