

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА,
ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ

инж. Дейвис Динков Динков

РАЗРАБОТВАНЕ НА 3D МОДЕЛ НА ПРИРОДЕН ПАРК
„ВРАЧАНСКИ БАЛКАН” ЗА ИНТЕГРИРАНЕ В СИСТЕМА
ЗА МОНИТОРИНГ

Автореферат

на дисертация за присъждане на образователна и научна
степен "доктор"

Професионално направление: 4.4 - Науки за Земята
научна специалност „Картография и географски информационни
системи”

Научен ръководител: проф. дгн. Румяна Вацева

София

2018

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд се състои от увод, четири глави, заключение, литература и приложения. Общият обем е 164 страници, вкл. 138 фигури, 9 таблици, 8 страници литература и две приложения с 1 таблица и 1 отпечатана карта. В цитираните библиографски източници са посочени общо 130 заглавия, от които 44 на български, 82 на английски език, и 4 интернет сайта.

Номерацията на фигурите и таблиците в автореферата съответства на тази в дисертацията.

В списъкът с литература са поместени само заглавията, които са цитирани в автореферата.

Дисертационният труд е разработен в рамките на докторантура, редовна форма на обучение, в секция „ГИС“, департамент География, НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ - БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2018 г. от ч. в зала 101 на НИГГГ-БАН, ул. „Академик Георги Бончев“, блок 3

Материалите по защитата са на разположение в канцеларията на НИГГГ-БАН, ул. „Академик Георги Бончев“, блок 3

Научно жури :

Вътрешни членове :

1. проф. дгн Румяна Вацева
2. доц. д-р инж. Любка Пашова

Външни членове :

1. проф. д-р инж. Теменужка Бандрова
2. проф. дгн Иван Чолеев
3. доц. д-р Антон Филипов

СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД	4
АКТУАЛНОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	4
ОБЕКТ И ПРЕДМЕТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	4
ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА ПО ПРОБЛЕМА.....	7
1.1. ТРИИЗМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРИРОДНИ ЛАНДШАФТИ И ОБЕКТИ НА КУЛТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОТО НАСЛЕДСТВО – ОБЗОР НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ	7
1.1.1. Триимерно моделиране на природни ландшафти.....	7
1.1.2. Триимерно моделиране на обекти на културно-историческото и природното наследство	7
1.1.3. Използване на БЛС за дистанционни изследвания	8
1.2. ПАНОРАМНИ КАРТИ – ОБЗОР И РАЗВИТИЕ	9
1.2.1. Панорамни карти на планински райони	9
1.2.2. Съвременно дигитално триимерно картографиране	10
1.3. ИЗПОЛЗВАНИ ТЕРМИНИ И ПОНЯТИЯ	10
1.4. РАЙОН НА ИЗСЛЕДВАНЕ	12
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	16
2.1. ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ ДАННИ	17
2.2. ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА НАБИРАНЕ НА ЦИФРОВИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ ДАННИ	17
2.3. ФОТОГРАМЕТРИЧНИ МЕТОДИ ЗА ОБРАБОТКА НА ИЗОБРАЖЕНИЯ И ГЕНЕРИРАНЕ НА ЦИФРОВИ МОДЕЛИ НА РЕЛЕФА	18
2.3.1. Фотограметрична обработка на снимки с използване на модула LPS на Erdas Imagine v.11	19
2.3.2. Автоматично генериране на релефа в LPS	21
2.4. МЕТОД SfM (СТРУКТУРА-ОТ-ДВИЖЕНИЕ) ЗА ОБРАБОТКА НА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ НЕМЕТРИЧНИ КАМЕРИ	22
2.5. ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ - ИЗПОЛЗВАНЕ НА БЛС ЗА ЗАСЕМАНЕ И НАБАВЯНЕ НА ДАННИ ЗА ТРИИЗМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ.....	25
2.6. ОЦЕНКА НА ТОЧНОСТТА НА ЦМР	28
2.7. ТРИИЗМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В 3D ГИС	29
2.7.1. 3D ГИС и стандарти за 3D данни	30
2.7.2. Моделиране и визуализация в 3D ГИС.....	31
2.8. ТРИИЗМЕРНО КАРТОГРАФИРАНЕ (ИЗРАБОТКА НА ПАНОРАМНА КАРТА).....	32
2.8.1. Избор на проекция за триимерно картографиране.....	33

2.8.2. 3D знакова система в триизмерните карти.....	35
2.8.3. Дизайн и оформление на триизмерната карта	37
2.9. Входни данни	38
ГЛАВА 3. ТРИИЗМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ И КАРТОГРАФИРАНЕ НА	
ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“	39
3.1. РАЗРАБОТВАНЕ НА ГИС ДАННИ ЗА ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“	39
3.2. ИЗРАБОТКА НА 3D МОДЕЛ НА ТЕРЕННАТА ПОВЪРХНИНА НА ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“	41
3.2.1. Последователност на работа	41
3.2.2. Редактиране на генерирания модел в LPS Terrain Editor и крайни цифрови продукти 41	
3.3. Оценка на грешките и вертикалната точност на ЦМР за района на ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“	43
3.3.1. Определяне на стойностите на отклоненията (грешките) ΔZ	43
3.3.2. Оценка на точността на цифровия модел на релефа	44
3.3.3. Визуализация на грешките	44
3.4. ИНТЕГРИРАНЕ НА ЦМР И ГЕОДАНИ ЗА ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“ В СИСТЕМАТА ЗА МОНИТОРИНГ НА ГОРСКИ ПОЖАРИ FAEDO	45
3.4.1. Компоненти на система за мониторинг FAEDO	45
3.4.2. Интегриране на геоданни за ПП „Врачански Балкан“ в системата за мониторинг на горски пожари FAEDO	45
3.5. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЦМР НА ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“ ЗА ТРИИЗМЕРНА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И КАРТОГРАФИРАНЕ	47
3.5.1. Триизмерно моделиране на ПП „Врачански Балкан“	47
3.5.2. Триизмерна визуализация на ПП „Врачански Балкан“	48
3.5.3. Триизмерна карта на ПП „Врачански Балкан“	49
ГЛАВА 4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТРИИЗМЕРНОТО МОДЕЛИРАНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ПРИРОДНИ ЛАНДШАФТИ И КУЛТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИ ОБЕКТИ В	
ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“	51
4.1. ПРИРОДНА ЗАБЕЛЕЖИТЕЛНОСТ „РИТЛИТЕ“	51
4.1.1. Предварителна подготовка.....	51
4.1.2. Обработка на цифровите данни от въздушното заснемане	52
4.1.3. Приложение на 3D цифровите данни, получени чрез снимки от БЛС за триизмерно моделиране	55
4.2. ПАМЕТНИК НА ВРЪХ ОКОЛЧИЦА	57
4.2.1. Предварителна подготовка.....	57
4.2.2. Обработка на цифровите данни от въздушното заснемане	58
4.2.3. Картографиране на съоръжения за създаване на векторни модели.....	58

4.2.4.	Приложение на 3D цифровите данни, получени чрез снимки от БЛС за триизмерно моделиране	59
4.3.	ЧЕРЕПИШКИ МАНАСТИР	61
4.3.1.	Предварителна подготовка	61
4.3.2.	Обработка на цифровите данни от въздушното заснемане	61
4.3.3.	Приложение на 3D цифровите данни, получени чрез снимки от БЛС за триизмерно моделиране	62
4.4.	ПОСЕТИТЕЛСКИ ЦЕНТЪР – ВРАЦА	63
4.4.1.	Схема на работния процес за 3D моделиране	63
4.4.2.	Предварителна подготовка	64
4.4.3.	Изработка на планова основа	64
4.4.4.	Триизмерно моделиране в средата на SketchUp	65
4.5.	ОСОБЕНОСТИ, ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ ПРИ РАЗРАБОТКА НА 3D МОДЕЛИ НА ПРИРОДНИ ЛАНДШАФТИ И КУЛТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИ ОБЕКТИ	67
4.5.1.	Особености, предимства и недостатъци при използване на БЛС за дистанционни изследвания и триизмерно моделиране	67
4.5.2.	Особености, предимства и недостатъци при триизмерно моделиране на обекти въз основа на архитектурни и геодезически проекти	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		68
ЛИТЕРАТУРА		71
ПРИЛОЖЕНИЕ №1		77
ПРИЛОЖЕНИЕ №2		82
БЛАГОДАРНОСТИ		83
НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ		84
ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА		85

УВОД

АКТУАЛНОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Актуалността на настоящото изследване е свързана с необходимостта от създаването на едромасщабни и актуални цифрови модели на релефа за защитените територии у нас, както и проучването, опазването и мониторинга на обектите от природното и културно-историческото наследство. Едромасщабните ЦМР (DEMs) съдържат микро-топография: уникални природни форми и забележителности, както и елементи, които са резултат от човешка дейност, като например различни класове пътища или вертикална планировка около сгради и съоръжения (Patterson, 2005). Без тези много детайлни, но важни подробности, природните и културните обекти не могат да бъдат дигитализирани и губят връзка в ГИС среда с терена под тях. Достъпът до DEM с достатъчно добра резолюция за изработка на едромасщабни комплексни цифрови модели и подробни визуализации е проблем (свободно достъпни за територията на Р. България са DEM с максимална резолюция от 30 m - ALOS World 3D - 30 m (AW3D30), ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) и Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). ЦМР с резолюция 30 m, а дори и 10 m са твърде груби, за да послужат като основа за изобразяване на културни или природни забележителности - много сгради или отделни скални феномени са с дължина на основата под 10 m.

Актуалността на 3D моделирането и визуализацията на ландшафта е свързана и със съвременните технологични възможности за създаване на геопространствени цифрови модели чрез дистанционни изследвания, които предоставят нови средства за интерактивна комуникация и мониторинг на околната среда. Непрекъснатото разработване на нови платформи, сензори, методи и средства за получаване на данни и триизмерни изображения с много висока пространствена разделителна способност (пространствена резолюция) допринесла значително за развитието на научните изследвания в областта на цифровото 3D моделиране, картографиране, съхраняване и представяне на природни ландшафти и културно-исторически обекти. Това осигурява нови възможности за атрактивно представяне на околната среда чрез генериране на перспективни изображения.

ОБЕКТ И ПРЕДМЕТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Обект на изследване е реалната физическа земна повърхност на територията на Природен парк „Врачански Балкан“, включително на избрани представителни тестови райони в границите на парка, като непосредствен източник за събиране на геопространствени данни за създаване на виртуални цифрови триизмерни модели с различна пространствена резолюция. За получаване на данните, необходими за

генерирането на триизмерния модел на релефа на ПП „Врачански Балкан“ и едромашабните прецизни 3D модели на тестовите райони се използват дистанционни изследвания от пилотирувани самолети с професионална фотограметрична апаратура, както и заснемания от безпилотни летателни системи (БЛС).

Предмет на изследване са: 1) триизмерното моделиране, картографиране и визуализация на теренната повърхнина на ПП „Врачански Балкан“, природни ландшафти и културно-исторически обекти с прилагане на дистанционни методи и 3D ГИС като подход за пресъздаване на реалната околна среда; 2) приложимостта за допълване и редакция на цифровия модел на релефа (ЦМР) чрез изработка и интегриране на прецизни 3D модели на тестовите райони; 3) визуализацията на комплексен 3D модел на Природен парк „Врачански Балкан“ чрез статични фотореалистични изображения; 4) внедряването на геопространствени данни (ЦМР, ортофотокарта и ГИС-данни) в система за мониторинг (автоматизирана система за пожароизвестяване) за територията на парка.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Основната цел на изследването е разработване и прилагане на систематизиран подход за създаване на високоточен цифров 3D модел на Природен парк „Врачански Балкан“ за триизмерно картографиране и интегриране в система за мониторинг, както и разкриване приложимостта на дистанционните методи чрез използване на безпилотни летателни системи за 3D моделиране на природни ландшафти и културно-исторически обекти.

За постигане на поставената цел е необходимо да се изпълнят следните научни задачи:

1. Преглед на изследванията и изясняване на термините и понятията за 3D моделиране.
2. Изясняване на теоретико-методологичните основи на изследването (в т.ч. избор на методи за набиране и обработка на цифрови данни, избор на оборудване на хардуер и софтуер за обработка на изображения и 3D моделиране, приложимост на БЛС за 3D моделиране).
3. Създаване на геобаза данни, интегриране и обработка на пространствени данни в 3D ГИС.
4. Изработка на цифров модел на повърхността (DSM) за Природен парк „Врачански Балкан“.
5. Изработка на едромашабни 3D модели на природни и културно-исторически обекти.

6. Изработка на комплексен 3D модел на Природен парк „Врачански Балкан“ с различна пространствена резолюция за визуализация на цялата територия на парка и на едромасщабни 3D модели на избрани тестови обекти.
7. Изработка на фотореалистична панорамна карта на ПП „Врачански Балкан“
8. Обобщаване на предимствата и недостатъците на приложения подход при разработката на 3D модели на природни и културно-исторически обекти.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА ПО ПРОБЛЕМА

1.1. Триизмерно моделиране на природни ландшафти и обекти на културно–историческото наследство – обзор на научните изследвания

1.1.1. Триизмерно моделиране на природни ландшафти

Триизмерното (3D) моделиране и визуализация намира все по-широко приложение при изследването на ландшафтите и ландшафтното планиране (Ervin, 2001; Egger et al., 2002; Appleton, Lovett, 2003; Remondino et al., 2011; Nex, Remondino, 2014). Потенциалът на триизмерната визуализация за осигуряване на сравнително реалистична представа за изследван или проектен обект дава възможност за оценка на състоянието на околната среда или на влиянието върху нея на даден обект.

ГИС-базираната ландшафтна визуализация е един от методите за създаване на изображения за научни изследвания.

Последните поколения 3D ГИС предоставят възможности за импортиране на реалистични 3D CAD обекти и локализиране на географско местоположение в общия модел. Вече е възможно да се интегрират напълно съществуващите пространствени елементи и планираните допълнителни 3D елементи, като 3D текстура или 3D условни знаци в процеса на моделиране на ландшафти (Tiede, Blaschke, 2005).

1.1.2. Триизмерно моделиране на обекти на културно–историческото и природното наследство

Дистанционните методи за събиране на данни (като фотограметрия или лазерно сканиране) позволяват създаването на подробни триизмерни модели на исторически паметници или археологически обекти, които показват състоянието на паметника в различни моменти. Това позволява не само да се регистрира всеки стадий, но и да се анализират промените с течение на времето (Castellazzi et al., 2017).

Други методи за триизмерно моделиране, свързани със съхранението, документирането и атрактивното визуализиране на сгради - паметници на културата са т.нар. методи за CAD моделиране с цел получаване на коректни геометрични модели, служещи за реконструкция на сгради с особено значение (Arias et al., 2005).

Изработката на триизмерни модели на културното и природното наследство успешно се използва за подготовка на информационни,

презентационни материали и представителни филми, клипове, виртуални изложби и експозиции в 3D формат, интерактивни приложения, отпечатване на 3D принтери и др.

1.1.3. Използване на БЛС за дистанционни изследвания

В исторически аспект безпилотните летателни системи (БЛС) са използвани предимно за военни цели. През последните години използването на безпилотни летателни апарати в цивилния сектор като инструменти за дистанционно наблюдение предоставя нови и интересни възможности.

Най-високата пространствена разделителна способност за данни, получени от конвенционални платформи, като сателити и пилотирувани самолети, обикновено е в диапазона 20-50 cm / пиксел. За разлика от тези платформи, БЛС са способни да летят много по-ниско и по този начин могат да събират изображения с много по-висока пространствена резолюция, често по-малко от 10 cm / пиксел и дори 1 cm / пиксел (Colomina et al., 2008; Laliberte, Rango, 2009; Berteska, Ruzgiene, 2013; Aicardi et al., 2016; Agüera-Vega et al., 2016, 2017).

В нашата страна използването на БЛС за дистанционни изследвания намира все по-широко приложение в научните разработки и мониторинга на околната среда.

Университетският център за въздушно наблюдение към Софийски Университет „Св. Климент Охридски“ е един от пионерите в гражданския сектор при тестване на приложимостта на БЛС в различни направления: осигуряване на видеонаблюдение в реално време на бедстващи райони, оценка състоянието на земеделските и горски култури, заснемане на туристически и археологически обекти и др. (Попов и др., 2005; Филипов, 2011; Филипов, 2016).

В УАСГ - катедра “Фотограметрия и картография” (в т.ч. проф. д.н. инж. Станислав Василев, проф. д-р инж. Пламен Малджански, проф. д-р инж. Борислав Маринов, проф. д-р инж. Теменужка Бандрова и др.) са разработени множество публикации за изследвания за приложимостта на БЛС за заснемане и моделиране на архитектурни обекти и триизмерно картографиране (Bandrova et al., 2012; Малджански, 2012, 2017; Bandrova, Pashova, 2017).

Екип от секция „Дистанционни изследвания и ГИС“ към ИКИТ-БАН, съвместно с колеги от Института по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкар“ - Селскостопанска академия, успешно използват БЛС - SENSEFLY eBee Ag при разработването на иновативни решения, свързани с усъвършенстване на методите за провеждане на оперативен дистанционен мониторинг на състоянието на земеделски посеви (Jeleve et al., 2016).

В последните години в НИГГГ-БАН се разработват научни изследвания, свързани с триизмерното моделиране и картографиране, компютърна графика, ГИС, както и приложението на БЛС за заснемане, картографиране и триизмерно моделиране (*Динков, 2018*).

В сферата на кадастъра и геодезията също се извършват експерименти за приложимостта на дистанционни данни от БЛС при изработката на кадастрални планове и карти (*Калчев, Христозова, 2016; Петров, 2014; Билидеров, Пачалийски, Стефанов, Янакиев, 2010*).

1.2. Панорамни карти – обзор и развитие

Първите картографски произведения, представящи околния свят в пропорции и вид близък до човешкото възприятие са перспективните рисунки, последвани от панорамните карти. Може би най-известната първа панорамна карта е картата на областта Тоскана и долината Киана, нарисувана 1502 г. от Леонардо да Винчи. Градските карти, създадени в Европа по време на Ренесанса, са директните стилистични предшественици на панорамите от птичи поглед (*Patterson, 2005*).

Едно от най-монументалните постижения в изкуството в началото на Ренесанса е развитието на линейната перспектива. Традицията на перспективното картографиране процъфтява в Европа в края на шестнадесети и началото на седемнадесети век. Първият градски атлас *Civitates Orbis Terrarum* ("Градове на света") е изработен през 1572 г. Друго произведение от 16 век е перспективна карта на Цюрих (*Murerplan*), отпечатана през 1576 г. от *Jos Murer* (1530-1580). Едва през 1860 г. напредъкът в литографията, фотолитографията и фотогравирането позволяват създаването на евтини, висококачествени панорамни карти в цвят.

1.2.1. Панорамни карти на планински райони

Алпите са може би първите планини, които вдъхновяват за изработката на сериозни панорами, с датирани публикации от седемнадесети век (*Solar, 1977*).

Повечето алпийски панорамни карти в Европа са направени от трима панорамни художници: *Хайнрих С. Беран, Винфрид Кетлер и Арно Рохведер*. От началото на 30-те години на миналия век развитието на планинския и ски-туризма води до нуждата от печатни картографски изображения, които да представят и рекламират планинските курорти.

Хайнрих С. Беран, (1915-1999), бащата на модерната панорамна карта, е изработил стотици панорамни карти в целия свят, включително и панорамна карта на Витоша при кандидатурата на София за домакинство на олимпийските игри през 1992 г.

1.2.2. Съвременно дигитално триизмерно картографиране

През последното десетилетие изследователите обсъждат и предлагат картографски стандарти, принципи на дизайна и техники за визуализация, за да увеличат още повече ефективността и изразителността на 3D моделирането и изработката на 3D карти. Най-основният термин „3D карта“ се дефинира от *Haerberling (2002, 2005)* като компютърно генериран перспективен изглед (представяне) на триизмерен интегриран модел с картографско съдържание, т.е. съгласно картографска знакова система и изисквания за генерализация. Извършени са значителен брой изследвания във връзка с принципите на картографското проектиране, придобиване и реалистична визуализация на 3D геоданни, интерактивна комуникация и ориентирани към потребителя карти (*Haerberling, 2005; Haerberling et al. 2008; Pegg, 2012; Bandrova et al., 2012; Semmo et al., 2015*). Понастоящем 3D моделирането и картографирането представляват ключови компоненти за нарастващия брой различни приложения и имат разнообразен обхват от потребители в области като градоустройство, мониторинг на ландшафта, управление на услуги и транспорт, туристически карти и 3D картографски услуги. През последното десетилетие у нас са разработени редица комерсиални 3D картографски продукти (панорамни карти на курортни комплекси) и научни изследвания за триизмерното моделиране и визуализация (*Bandrova 1999, 2012, 2017; Bonchev 2009,2010; Dinkov, 2016; Dinkov, Vatseva, 2016*).

1.3. Използвани термини и понятия

Представени са основни термини и понятия, използвани в настоящото изследване във връзка с триизмерното моделиране и обработката на данни от дистанционни изследвания, както и с изработването на триизмерни карти:

- **3D моделиране в картографията** - изработване на реален 3D цифров модел на картографирания обект (картографираната област и съвкупност от обекти).
- **3D визуализация** - процес на генериране на цифрово изображение от триизмерния модел в компютърната графика. Визуализацията се постига чрез процес, наречен *рендъринг* или *рендирване* (от английски език - *rendering*).
- **3D ГИС** - специфичен вид ГИС, в който геопространствените данни имат не само координати X и Y за географско местоположение, но и координати Z, които представляват височината. В 3D ГИС са възможни триизмерна визуализация и 3D анализи.
- **3D облак точки (3D point cloud)** - точков масив от данни в определена координатна система. В триизмерна координатна система тези точки обикновено се определят от координатите X, Y

и Z и често са предназначени да представляват външната повърхност на обект.

- **Ray Tracing** - техника за генериране на изображение чрез проследяване на пътя на светлината през пикселите в равнината на изображението. Пикселът възприема цвета на обекта, който е засегнат за първи път от светлинния лъч; вторичните лъчи могат да бъдат използвани за добавяне на отражение, пречупване или хвърляне на сенки.
- **Рендъринг** - процес на генериране на цифрово изображение (визуализация) от модел в компютърната графика. Под „модел“ тук се има предвид описанието на всякакви обекти или явления, представени на строго определен математически език или във вид на масив от данни.
- **Рендирането** превръща модела в изображение, като симулира излъчване на светлина, за да се получат фотореалистични изображения.
- **Панорама, панорамна гледка, панорамна карта**
Терминът „панорама“ произлиза от гръцки (*pan* = всички и *horama* = виж). Значението на този термин е променен през последните 200 години. „Панорама“ е често използван термин за описване на изглед към заобикалящия ландшафт (Schumacher, 2012). Според Imhof (1963) терминът „панорама“ описва 360 градусов изглед на околния ландшафт от дадена теренна точка. Проекционните лъчи пресичат 360° цилиндър и върху цилиндъра се проектират образите от действителния терен. Според Spengler, Rüber (2012) **панорамната карта** представлява нарисувана или компютърно генерирана панорама или **панорамен изглед**, допълнени с картографско съдържание.
- **Цифров модел на терена (Digital Terrain Model - DTM)** - представлява оголена земна повърхност без никакви обекти върху нея, като растителност и сгради.
- **Цифров модел на повърхността (Digital Surface Model - DSM)** - модел на терена, който описва повърхността на Земята, включително всички статични елементи, намиращи се върху нея, напр. растителност и сгради (с изключение на временни/динамични обекти).
- **Цифров модел на релефа (Digital Elevation Model - DEM)** - вид растерни ГИС слоеве - 2,5-D гريد базиран модел (x,y + височина за атрибут) за всеки пиксел. Чрез DEM се представят във вид на геореферирани растер и двата вида теренни повърхнини - DTM/DSM.
- **Ландшафт** - съгласно Европейската конвенция за ландшафта (ДВ. бр. 22 от 15 март 2005 г.) е „територия, специфичният облик и елементите на която са възникнали като резултат на действия и взаимодействия между природни и/или човешки фактори“.
- **Геопространствени данни** - еднозначно определени координатни стойности в зададена координатна система,

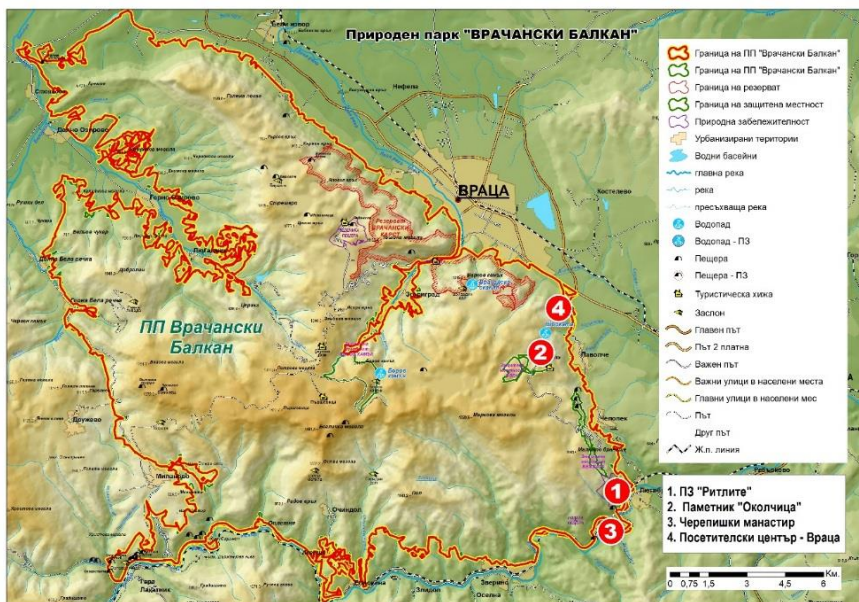
определящи пространственото положение на даден клас пространствени данни.

- **Геореферирание (georeferencing)** - определяне на местоположението на обекта в съответната координатна система, в която той е проектиран в равнина с помощта на контролни точки.
- **SfM (Structure from Motion - Структура от движение)** - метод, базиран на принципите на фотограметрията, при който значителен брой снимки, взети от различни припокриващи се гледни точки, се комбинират, за да пресъздадат среда - т.е. получава се 3D структура от серия припокриващи се изображения.
- **SIFT (Scale Invariant Feature Transform - мащабна инвариантна трансформираща характеристика)** - принцип за автоматично съвпадение на изображения, които се базират на автоматично намиране на свързващи точки между снимките. За целта е необходимо за всяка част от модела да са осигурени няколко изображения (минимум 3) от различна гледна точка, така че геометрията на точките да бъде добре изчислена.
- **БЛС (безпилотна летателна система)** - безпилотен летателен апарат, снабден с модули за автоматично управление, навигация и дистанционни измервания, който може да извършва автономни и дистанционно управляеми полети посредством компютърен модул и радиоуправление.
- **Дистанционни изследвания** - включват различни методи за събиране на информация за обекти или събития в дадена област на Земята, без пряк физически контакт с тях. В съвременната употреба, терминът обикновено се отнася до използването на въздушни сензорни технологии за откриване и класифициране на обекти на Земята. Носител на информацията са електромагнитните вълни, излъчвани или отразени от обектите на земната повърхност и регистрирани с помощта на определен сензор.
- **Дистанционно събиране на геопространствени данни за местността** - получаването на пространствена, координатно определена метрична информация за разположението на обектите, при това с достатъчно висока точност в интервала от няколко сантиметра до няколко метра.

1.4. Район на изследване

- Географско положение

Изследваният район обхваща територията на Природен парк „Врачански Балкан“, разположен в Северозападна България и включващ по-голямата част от Врачанска планина (Фиг. 1.4-1).



Фигура 1.4-1. ПП „Врачански Балкан“ - район на изследване

Районът има следните географски координати на крайните точки: $43^{\circ} 04' 22''$ - $43^{\circ} 16' 55''$ N и $23^{\circ} 20' 34''$ - $23^{\circ} 37' 28''$ E. Територията се ограничава на запад от долината на р. Ботуня, на югозапад - от р. Бела река и Дружевската седловина, на юг - от р. Искър (от Гара Лакатник, община Своге, до с. Лютиброд, община Мездра), на изток и север - от периферията на северния старопланински склон между селата Лютиброд, община Мездра и Стояново, община Вършец. В тези граници районът на изследване е с площ 28 803,9 ha.

➤ Морфохидрографски особености

Като една от главните морфохидрографски особености на изследвания район може да се отбележи преобладаващата ориентация северозапад - югоизток на планинските ридове и възвишения. Речните долини са развити както надлъжно на планинските ридове (в посока изток-запад - р. Искър, Черна и Бела река), така и напречно (в посока юг-север - Лева река или север-юг - р. Ботуня и левите притоци на р. Искър).

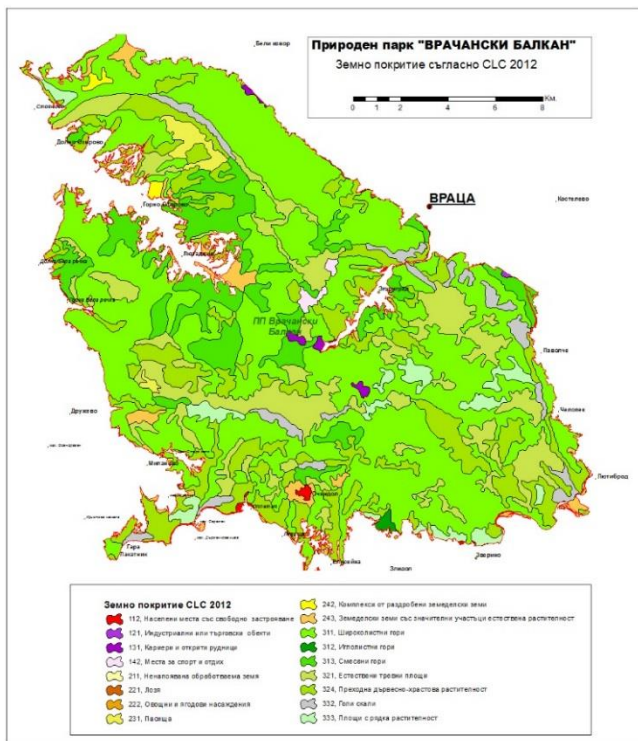
Долините на реките Лева, Черна и Златица ясно обособяват три дяла на Врачанска планина: Стрешерски (Северозападен) - с най-висок връх Стрешеро (1215,0 m), Беглички (Югозападен) - с най-високия връх във

Врачанска планина вр. Бегличка могила (1481,4 m) и Базовски (Източен) - вр. Бук (1393,6 m).

Преобладават следните морфографски типове релеф: хълмист, нископланински и среднопланински. Надморската височина на планинските ридове и възвишения е от 500 m до 1000 m. Само отделни върхове (например Стрешеро, Соколо, Бук, Базова могила, Бегличка могила и др.) се издигат до 1200 - 1480 m.

➤ Земно покритие за 2012 г.

За целите на изследването е създадена векторна база данни за земното покритие на ПП „Врачански Балкан“ за 2012 г. Съставена е цифрова тематична карта в мащаб 1:100 000, която показва пространственото разпределение на земното покритие за 2012 г. (Фиг. 1.4-2) съгласно CORINE Land Cover (CLC).



Фигура 1.4-2. ПП „Врачански Балкан“ - земно покритие CLC 2012

➤ Тестови райони

Избрани са четири тестови обекти в ПП „Врачански Балкан“ за изработване на едромасщабни цифрови триизмерни модели, които се интегрират в един комплексен 3D модел на парка:

Природна забележителност (ПЗ) „Ритлите“ е уникален скален феномен. Разположена е на площ от 123 ha на левия бряг на р. Искър, срещу с. Лютиброд. Представлява четири почти успоредни отвесни скални стени, дълги 200 m с височина на скалните ребра 60-80 m, под които преминава жп линия. Включена е в регистъра на защитените територии в България от 27.05.1938 г.

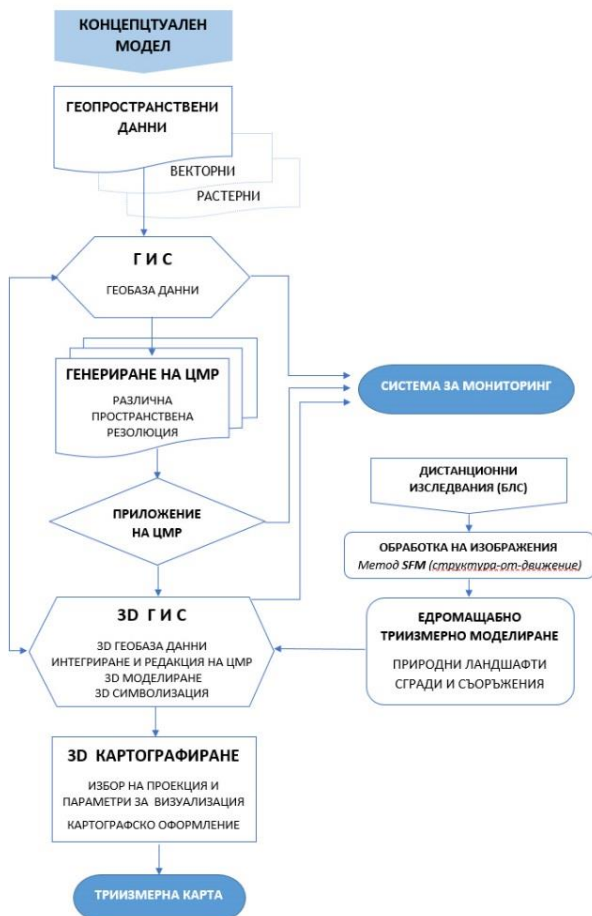
Паметникът на вр. Околчица се намира на около 20 km югоизточно от гр. Враца в защитена местност „Вола“ на вр. Околчица (1048 m) и е част от мемориалния комплекс „Ботев път“. Включен е в списъка на Стоте национални туристически обекта.

Черепишкият манастир „Успение Богородично“ се намира на 29 km югоизточно от гр. Враца, на брега на р. Искър. Датира от Второто Българско царство по времето на цар Иван Шишман (1371-1395 г.). Обявен е за паметник на културата от национално значение.

Посетителски център – Враца („Посетителски център с контролен горски пункт - Враца“ към Дирекцията на ПП „Врачански Балкан“) се намира в местността „Копана могила“ и е открит на 12.06.2015 г. Центърът изпълнява комуникационни, образователни и управленски функции.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧНИ ОСНОВИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

В настоящото изследване е разработен и приложен систематизиран подход за създаване на високоточен комплексен цифров 3D модел на Природен парк „Врачански Балкан“ за триизмерно картографиране и интегриране в система за мониторинг - обобщена схема е показана на фигура 2-1.



Фигура 2-1. Обобщена схема на приложения систематизиран подход за 3D моделиране и картографиране

2.1. Геопространствени данни

Триизмерното моделиране и визуализация позволяват да бъде пресъздадена околната среда чрез перспективни изображения, като се използва широк набор от геопространствени данни: географски, геоложки, архитектурни, геодезически, ботанически и др., които са достъпни или могат да бъдат получени чрез преки или дистанционни измервания. *Петров, Михайлов (2014)* дефинират геопространствените данни като „еднозначно определени координатни стойности в зададена координатна система, определящи пространственото положение на даден клас пространствени данни”.

Основни източници на геопространствени данни

В качеството на източници на геопространствени данни се използват:

- Дистанционни и преки измервания на реалната земна повърхност, като съвкупност от следните слоеве: физическа земна повърхност и земно покритие.
- Съществуващи картни материали (в графичен или цифров вид)
- Различни математически и физически модели на пространствени данни

2.2. Основни методи за набиране на цифрови геопространствени данни

Основните методи за набиране на цифрови данни са три: дистанционни, геодезически и картографски.

Дистанционни методи

Използването на различни сензори осигурява възможности за набиране на данни, които могат да бъдат анализирани, за да се получи информацията относно изследваните обекти, области и явления. Това позволява обработката на големи масиви данни, като директно се получава триизмерна информация за теренната повърхнина.

Геодезически методи

Чрез преки геодезически измервания се получават както непосредствените количествени стойности на дискретните елементи (координати на точки и линии), така и други техни количествени стойности (разстояния, посоки, посочни ъгли и др.).

Картографски метод

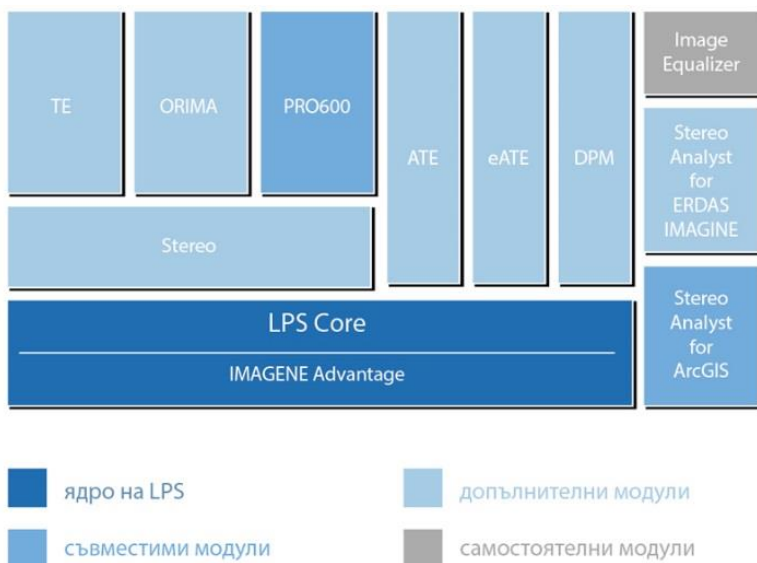
При картографския метод се извършва дигитализиране на избраните елементи от теренната повърхнина, като при това дигитализиране се получават количествени данни (координатите X, Y, Z) за обектите.

2.3. Фотограметрични методи за обработка на изображения и генериране на цифрови модели на релефа

Съвременни системи за цифрова фотограметрия

Някои от съвременните системи за цифрова фотограметрия са:

- ERDAS Imagine - www.hexagongeospatial.com
- PHOTOMOD - www.racurs.ru
- INPHO - www.trimble.com/imaging
- Pix4D - www.pix4d.com



Фигура.2.3-1. Структура на програмата Erdas Imagine

2.3.1. Фотограметрична обработка на снимки с използване на модула LPS на Erdas Imagine v.11

При работа с модула LPS на Erdas Imagine се прилага следният работен процес - (фигура 2.3-2) :



Фигура 2.3-2. Работен процес за фотограметрична обработка с LPS на Erdas Imagine

Аеротриангулация – теоретични бележки

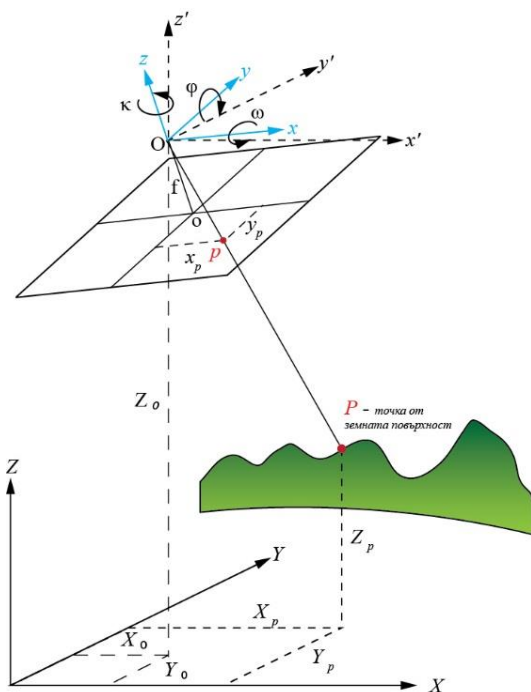
➤ Елементи на вътрешно и външно ориентиране

Параметри на вътрешното ориентиране на камерата са: фокусно разстояние, физически размер на пиксела, данни за дисторзията на обектива

Параметри на външно ориентиране на снимките са: линейни елементи на външно ориентиране - координатите на центъра на фотографиране S (X_S, Y_S, Z_S); ъглови елементи на външното ориентиране - ω, φ и κ .

➤ Връзка между изчисленията и параметрите на външно ориентиране

Използвайки трите ъгъла на ротация и връзката с образната координатна система, могат да бъдат определени земните пространствени координати (X, Y и Z) - Фигура 2.3-4.



Фигура 2.3-4. (източник : Петров, 2013)

➤ Уравнения за колинеарност

Уравненията за колинеарност се използват, за да се дефинира връзката между камерата, изображението и Земята. Изхождайки от Фигура 2.3-4, условието за колинеарност определя, че проекционният център, точката от земната повърхност и съответната ѝ върху образната равнина на снимката трябва да лежат на една права и се изразява по следния начин:

$$\begin{aligned} x_p - x_0 &= -f \left[\frac{m_{11}(X_p - X_{0_1}) + m_{12}(Y_p - Y_{0_1}) + m_{13}(Z_p - Z_{0_1})}{m_{31}(X_p - X_{0_1}) + m_{32}(Y_p - Y_{0_1}) + m_{33}(Z_p - Z_{0_1})} \right] \\ y_p - y_0 &= -f \left[\frac{m_{21}(X_p - X_{0_1}) + m_{22}(Y_p - Y_{0_1}) + m_{23}(Z_p - Z_{0_1})}{m_{31}(X_p - X_{0_1}) + m_{32}(Y_p - Y_{0_1}) + m_{33}(Z_p - Z_{0_1})} \right] \end{aligned}$$

Тези две уравнения се използват в класическата фотограметрия за всяка една точка, намираща се в снимката и се използват при процесите на ортофотото трансформация, извличане на терен, създаване на стерео модел и картиране. За да се решат тези уравнения, теоретичното минимално изискване е три наземни контролни точки с известни координати X_p , Y_p и Z_p или шестте параметъра на камерата, които дават позициите X_{0_1} , Y_{0_1} и Z_{0_1} заедно с трите ъгъла на въртене по време на заснемането на изображението.

➤ Изравнение по метода на най-малките квадрати

Методът определя неизвестните параметри, като едновременно с това ги оценява и минимизира грешките. Чрез този начин на изравнение се постигат следните резултати:

- определяне на стойностите на външно ориентиране
- определяне на координатите на свързващите точки
- определяне на стойностите на вътрешна ориентация (ако е използвана неметрична камера и не са известни)
- минимизиране и разпределение на грешката в данните

2.3.2. Автоматично генериране на релефа в LPS

В основата на цифровата фотограметрична технология за получаване на ЦМР, независимо от тяхната структура, точност и обем на базата данни, са застъпени няколко основни етапа:

➤ Избор на характерни точки (mass point)

Целта е избор и идентификация на характерни точки в стереодвойка снимки, които съдържат характерна информация за релефа на местността, да се определят образните им координати върху лявата и дясната снимка и така да послужат за формирането на модел на релефа.

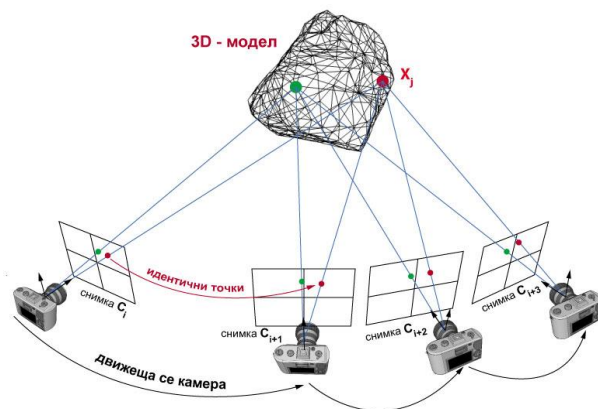
След определяне на броя съвпадащи точки във всяка една стерео двойка LPS ATE изчислява пикселните им координати и ги записва в доклад.

Използвайки уравненията за колинеарност и параметрите за външно ориентиране, определени от въздушната триангулация се изчисляват земните координати на всички съвпадащи точки. В зависимост от избрания формат за релефа всички точки се обединяват в един общ файл (регулярна или нерегулярна клетка).

2.4. Метод SfM (структура-от-движение) за обработка на изображения от неметрични камери

Методът SfM (Структура от движение) се основава на съвпадащи характеристики (точки) в множество припокриващи се изображения, за да се реши едновременно и автоматично триизмерната позиция на камерата и геометрията на изображението. (*Fonstad et al., 2013*). Методът (SfM) е базиран на принципите на фотограметрията, при които значителен брой фотографии, взети от различни припокриващи се гледни точки, се комбинират, за да пресъздадат обекта - т.е. получаваме 3D структура от серия припокриващи се изображения.

SfM методът обаче, се различава значително от традиционната фотограметрия. Докато при класическата фотограметрия се разчита на ивици от припокриващи се снимки, които са получени от паралелни полетни линии, при SfM-метода триизмерната геометрия на обектите се възстановява от случайни (неподредени) изображения. Като важно условие е една физическа точка от изследван обект да присъства в множество изображения. При SfM позициите и ориентацията на камерата се решават автоматично, без да е необходимо първо да разполагаме с мрежа от контролни точки с известни 3D координати. (*Westoby et al., 2012*). Вместо това те се решават едновременно чрез използването на много повтарящи се итеративни процедури за пакетно изравнение (фигура 2.4-2), които се базират на база от данни, автоматично извлечени от припокриващите се изображения (*Snively, Seitz, 2008*).



Фигура 2.4-2. Представяне на принципа за пакетно изравнение

Работен процес при прилагането на SfM-метода

Налице са няколко фотограметрични програми, използващи SfM метода. Най-популярните комерсиални решения включват Agisoft PhotoScan и Pix4D. Програмите SfM следват общ работен процес (Фигура 2.4-3), представен от Rossi et al. (2012).



Фигура 2.4-3. Общ работен процес за цифрова фотограметрия чрез SfM-метод

➤ Източници на изображения

Първата стъпка в работния процес е избор на желаните изображения, които трябва да се обработят. Когато се използват изображения, получени с БЛС, важно условие е да има такова застъпване на снимките, че един физически обект да присъства в множество изображения.

➤ Извличане на характеристики

Тази стъпка генерира набор от дескриптори (контролни блокове) за всяко изображение. Дескрипторът е идентификатор на ключова точка, която го отличава от останалата част от масата на единични точки. Съществуват многобройни алгоритми за извличане на характеристики, като най-често срещаният алгоритъм SIFT (Scale Invariant Feature Transform), разработен от Lowe (1999), предоставя силни дескриптори при различни условия на изображение.

➤ Съчетаване на характеристики

Създава се таблица на съвпаденията от характеристики, които да свързват всички комбинации от дескриптори между изображенията. Целта е да се изчислят свързващите точки или съответствието между изображенията.

➤ Групово (пакетно) изравнение

Пакетното изравнение е решение за прецизиране на визуалната реконструкция, за да се създаде взаимно оптимална 3D структура и параметри на камерата (Rossi *et al.*, 2012).

Междинният етап в работния процес при SfM метода е получаването на облак (първоначален рядък облак) от точки с локални X, Y и Z, които не са в реалната координатна система. В този момент се въвеждат координати на GCP (земни контролни точки) и/или координати на позиции на камерата, за да се трансформира и регистрира този облак от SfM точки към установена координатна система. Тази трансформация е линейна и твърда и дава облак от точки, подходящ за картографски приложения.

➤ Генериране на плътен 3D облак точки

Вследствие на пакетното изравнение се получават параметрите на камерата за всяка сцена и се генерира рядък облак от триизмерни точки за изследвания обект. С тези параметри се извършва уплътняване на 3D облаците. Процесът по уплътняване на облака използва параметрите (елементите на вътрешното и външно ориентиране) на камерата, съответствието между 2D изображенията, характеристиките около 2D съответствията и триангулационния алгоритъм за извличане на 3D точки за сцената (Rossi *et al.*, 2012).

➤ Реконструкция на повърхнината

За реконструкция на обектната повърхнина може да бъде използван алгоритъм като Poisson Surface Reconstruction, чрез който реконструкцията на повърхността от ориентираните 3D точки (с ориентираните нормали) може да бъде решена като пространствена задача на Поасон и може да се използва за реконструкция на повърхнината (*Bolitho, Kazhdan, Burns, Hoppe, 2009*). Тази стъпка води до продукти като орторектифицирани изображения (ортофото мозайки) и триизмерни текстурирани повърхнини.

➤ Визуализация

След получаването на цифровите продукти в предишните етапи от работния процес на SfM последната стъпка е тяхната визуализация. В комерсиалните софтуерни пакети като Agisoft PhotoScan и Pix4D има вградени визуализатори на триизмерните облаци и текстурирани повърхнини. Могат да се ползват програми с отворен код като Meshlab и Blender за допълнителна обработка на 3D облаци от точки и повърхнини, както и за техните визуализации.

2.5. Дистанционни методи – използване на БЛС за заснемане и набавяне на данни за триизмерно моделиране

За изследване и мониторинг на околната среда, културно-исторически обекти и природни забележителности все по голям дял заемат дистанционните изследвания. За изработката на високо точни триизмерни модели набавянето на качествени и достъпни входни данни е важно и необходимо условие. Чрез използването на снимки, получени от конвенционални неметрични камери и подходящ софтуер за обработка има достъпна алтернатива на изработка на триизмерни модели.

Избор на БЛС (безпилотна летателна система)

Всички полети и заснети изображения, необходими за тестовите обекти, описани в Глава 4, са извършени с безпилотна летателна система - DJI INSPIRE-1.

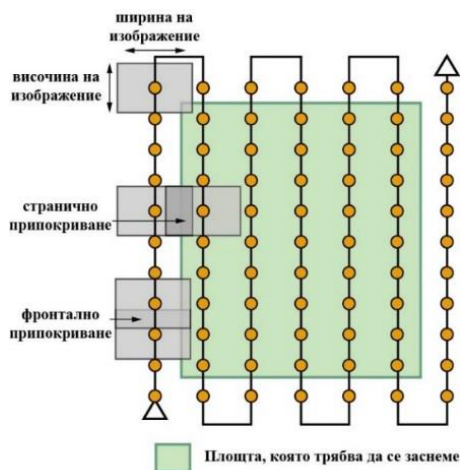
DJI INSPIRE-1 са проектирани като професионален клас системи и като такива те са снабдени с редица технологии и се открояват с различни предимства и възможности, както при полет, така и при снимки като: прецизна стабилизация на камерата, FPV и видео стрийминг в реално време към мобилни устройства, TV станции или друг тип системи приемащи HD сигнал по HDMI.

Компоненти на системата:

- Безпилотна летателна система (БЛС): мултикоптер (дрон) - модел DJI INSPIRE-1
- Система за навигация на летателния апарат: GPS + IMU
- Система за дистанционни измервания - фоторегистриращо устройство (камера - FC350) - камерата FC350 е професионален клас, снабдена със сензор $\frac{1}{2}$.3 инча CMOS матрица Sony EXMOR и с оптика f/2.8 (20мм еквивалент), 9 елемента в 9 групи, асферични елементи, UV филтър и резолюция 12 Mpix(4000x3000 pix) при снимка
- Модул (наземен) за управление на БЛС
- Софтуер за планиране и управление на полетите
- Софтуер за обработка на резултатите от заснемането с БЛС - за обработката на получените изображения е използван софтуерният пакет Pix4Dmapper.

Подготовка за фотограметрично въздушно заснемане с БЛС – съставяне на летателен план

За да се получат резултати с висока точност е необходимо голямо припокриване между изображенията. Планът за летене зависи от изискванията за разделителна способност, съответстваща на размер на терения елемент - GSD (Ground Sampling Distance). На фигура 2.5-2 са илюстрирани основните елементи и понятия, които се съблюдават при изготвянето на един план на летене при заснемане на площни обекти тип „фотограметрична мрежа“.



Фигура 2.5-2. Примерен план за летене за фотограметрично заснемане

Прецизно координиране на земни контролни точки (GCP)

За постигане на сантиметрова точност в геореферирането на дигиталните продукти в резултат на фотограметричното заснемане е необходимо да се маркират и координират земни контролни точки в обхвата на заснемания обект. Координатите на използваните контролни точки могат да бъдат получени, чрез използването на GPS (глобални системи за позициониране) приемници преди, по време и след завършване на летателната мисия. Координирането на контролните точки за обектите от ПП „Врачански Балкан“ е извършено чрез измервания в реално време с геодезически двучестотен GNSS RTK приемник.

Общ работен процес за триизмерно моделиране чрез използване на БЛС



Фигура 2.5-4. Работен процес за триизмерно моделиране чрез използване на БЛС

2.6. Оценка на точността на ЦМР

Генерираният по фотограмметричен метод цифров модел на релефа на ПП „Врачански Балкан“ е 2,5D DEM, който по същество е цифров модел на повърхността (DSM), защото от модела не са премахнати дърветата, горските масиви, сградите и съоръженията. Целта на оценката на точността е да се установи какви са отклоненията във височинно отношение за определени контролни точки с приети за безгрешни коти и съответните им стойности от цифровия модел на релефа.

За изследването на височинната точност е избран критерият за грешка в абсолютно височинно положение на контролна точка ΔZ . За изчисляване на грешката ΔZ се сравняват височините на центроидите на клетки от грида, в които попадат контролните точки.

Оценка на точността на изследвания ред

Изчисляване на средната квадратна грешка - m_z (RMSEz)

$$m_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{i(\text{DSM})} - H_{i(\text{GSP})})^2} \quad (2.6-5),$$

където $H_{i(\text{DSM})}$ е височината на i -та тествана точка (пиксел) в DSM, $H_{i(\text{GSP})}$ е височината на i -та контролна точка, n е броят на тестваните точки, i е цяло число от 1 до n .

Оценка на средната квадратна грешка m_z (RMSEz) - m_m (ERMSEz), която може да бъде оценена по следния начин:

$$m_m = \frac{m_z}{\sqrt{n}} \quad (2.6-6),$$

където m_z е средната квадратна грешка, n - брой измервания

Проверка за наличие на грешки над допустимите чрез изчисление на допустимата грешка (f)

$$f = t \cdot m_z \quad (2.6-7),$$

където f е допустима грешка, m_z е средната квадратна грешка а t е гаранционен множител, чиято стойност зависи от гаранционната вероятност, с която могат да се гарантират направените изводи. Обикновено при изследвания за цифрови модели на релефа (*ICSM Guidelines for Digital Elevation Data, 2008*) се работи с гаранционна вероятност 95 %, при която гаранционния множител $t = 1.96$.

Според документа „*INSPIRE Data Specification on Elevation - Technical Guidelines*” (2013), критерият средна квадратна грешка - RMSEz е даден като най-добър измерител за вертикална точност и е определен за задължителен при оценка на качеството на височинните данни.

2.7. Триизмерно моделиране и визуализация в 3D ГИС

Геоинформационни системи

За целите на триизмерното моделиране и изработка на фотореалистичен модел на ПП „Врачански Балкан“, ГИС база данните трябва да могат да решават следните задачи, обобщени както следва:

- Информационната система да осигури възможност за актуализиране и възпроизвеждане на стандартни карти и бази данни.
- Да осигури възможност за извършване на географски справки и извеждане на специализирани (тематични) карти във всякакви мащаби.
- Да осигури възможност за извършване на пространствен анализ на информацията.

2.7.1. 3D ГИС и стандарти за 3D данни

3D ГИС е специфичен вид ГИС, в който теренните данни имат не само координати X и Y за географско местоположение, но и координати Z, които представляват височината. Възможно е, обаче, в конкретни случаи да се създадат триизмерни ГИС, представящи 3D графични форми, внесени в GIS софтуер, проектирани със специфичен софтуер за 3D моделиране. 3D ГИС е не само визуализация, неговата основна сила е 3D анализът. Предимствата при използването на 3D ГИС, са че възможностите за визуализация и анализ могат да се използват за различни цели, дава се по-ясна представа за изобразяваните обекти, може да отговаря на различни задачи, възможност за разнообразно представяне на пространствените данни.

Стандарти за 3D данни

При създаването на модел на дадена територия или на определен обект се използват установени стандарти за форматите на данни (Zlatanova, 2012). Едни от най-разпространените стандарти са т.нар. индустриални формати:

- DXF - CAD файлов формат, разработен от Autodesk, с цел обмен на данни между продуктите на Autodesk и другите софтуерни продукти.
- ESRI Shape - разработен е от ESRI и е създаден основно като ГИС формат.

Отворени стандарти

През последните 10 г. XML и базираните на него технологии се налагат в различни сфери и придобиват огромна популярност.

- XML (eXtensible Markup Language) - структурен език за описание на данни.
- VRML (Virtual Reality Markup Language) - стандартен формат за представяне на 3-дименсионални интерактивни векторни графики.
- X3D - файлов формат, който е ISO стандарт, базиран на XML за представяне на 3D компютърни графики.
- Wavefront 3D Object File (.OBJ) - формат на данните, който представлява само 3D геометрия.

Други файлови формати

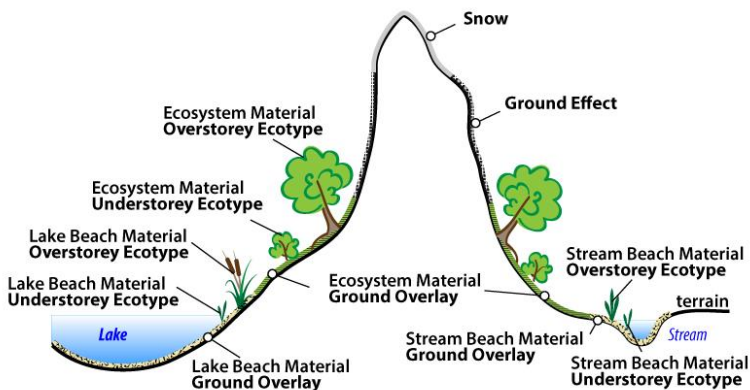
- KML - представлява език за представяне на географски обекти в географски координати. KML форматът се използва за визуализиране на дву- и тридименсионални карти чрез интернет-базирани браузъри. Разработен е от Google, като се използва от Google Earth.

- COLLADA (COLLABorative Design Activity) - общ формат за създаване на обекти с 3D съдържание.
- CityGML - международен стандарт, издаден от OGC и е общ информационен модел за представяне на 3D градски обекти.

2.7.2. Моделиране и визуализация в 3D ГИС

3D визуализацията е общ термин, който обозначава процеса на извличане на данни от цифров пространствен модел и представянето им на екрана (Zlatanova, 2000). За създаването на комплексен триизмерен модел на ПП „Врачански Балкан“ се използва софтуерът VNS (Visual Nature Studio) (3D Nature, LLC, 2008). VNS е 3D географска информационна система (3D-ГИС) за създаване на карти и графики въз основа на пространствени данни чрез осигуряване на реалистична визуална симулация на географските данни.

На фигура 2.7-2. са отбелязани основните структурни елементи за 3D моделиране и визуализация на земното покритие във VNS. Земното покритие се управлява чрез векторни полигони или тематични цветни карти. За да изглежда теренът естествен, има инструменти за симулиране на земен ефект. След това чрез прилагане на инструменти като Ground Effects, Ecosystems и Environments получаваме реалистично пресъздаване на околната среда.

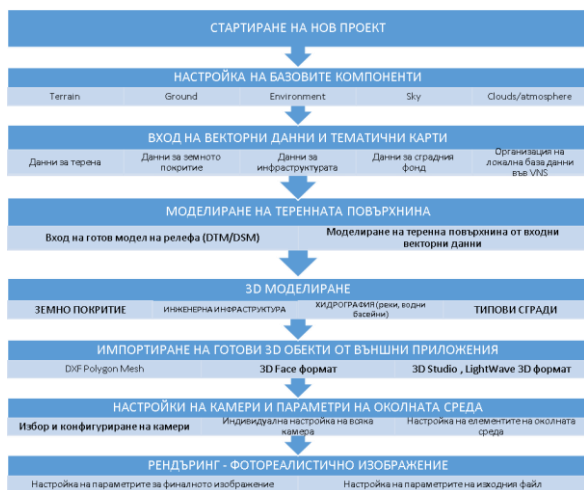


Фигура 2.7-2. Основни структурни елементи за 3D моделиране и визуализация във VNS (Visual Nature Studio) (модифициран, Източник: 3D Nature, 2008)

Елементи и инструменти за симулиране на земното покритие:

- А) Земна повърхност - (Ground - Ground Effect)
- Б) Екосистеми (Ecosystems) - използват се за покриване на терена с всичко от основно ниво на земната повърхност (Ground overlay) до подраст (Understorey) и високи етажи дървета (Overstorey).
- В) Околна среда (Environments) - комбинира различен брой екосистеми в една дефинирана околна среда.

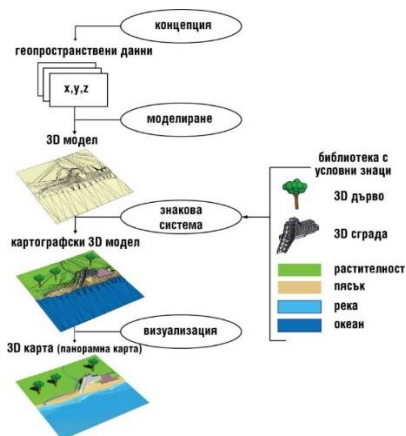
На фигура 2.7-3 е показан работният процес за създаването на триизмерен комплексен модел на ПП „Врачански Балкан“ с използване на VNS софтуер, генерираните ГИС слоеве и пространствени данни.



Фигура 2.7-3. Работен процес за триизмерно моделиране с VNS

2.8. Триизмерно картографиране (изработка на панорамна карта)

Триизмерното картографиране включва четири основни етапа: концепция, моделиране, прилагане на знакова система (картографско оформление) и визуализация (Фигура 2.8-1).



Фигура 2.8-1 Схематичен процес за изработка на 3D карти (променен, източник: Terribilini, 2001)

В концептуалната фаза трябва да се дефинира съдържанието и спецификациите на продукта. Стъпката на моделиране съдържа обработката на слоевете тематични данни (растерни и векторни данни), включително трансформации на формата и структурата на данните, геометрията на обектите и семантиката. Стъпката на прилагане на знакова система включва добавяне на графичните атрибути към отделните обекти на изградения 3D модел. По този начин триизмерният цифров модел на теренната повърхнина се трансформира в картографски 3D модел. В последната стъпка на визуализация картографският 3D модел се изобразява като 2D перспективно изображение в избран формат.

2.8.1. Избор на проекция за триизмерно картографиране

Централната проекция е най-често използваната проекция при изработката на панорамни карти, тъй като е подобна на човешкото око или обектив на фотограметричната камера.

За конструирането и създаването на панорамни карти най-често използваните централни проекции са следните (Jenny B., 2004):

- Прогресивна (progressive) проекция ;
- Проекция "Fish eye" (рибешко око);
- Проекция "The rubber projection" (избирателно деформираща проекция) ;
- Проекция „Circle section“ (кръгов сегмент) (Imhof, 1963);

При цифрово изпълнение на прогресивната проекция, картографи и компютърни специалисти използват два основни подхода (Jenny, H.; Jenny, B.; Hurni, L., 2010), при които или модифицират камерата (*група 1*) или деформират формата на 3D повърхнината (*група 2*).

- **Група 1 - модифициране на камерата**

Метод на извитите проекционни лъчи

Подходът за изкривяване на лъчите обикновено се изпълнява с помощта на Ray Tracer. **Ray Tracing** е техника за генериране на изображение чрез проследяване на пътя на светлината през пикселите в равнината на изображението. Falk et al. (2007) прилага **ray curving** (изкривяване на лъчите) подход, използвайки силово поле. Така се прилага прогресивна проекция за ски панорами, а наклонът на лъчите позволява да се избегнат нежелани локални визуални препятствия.

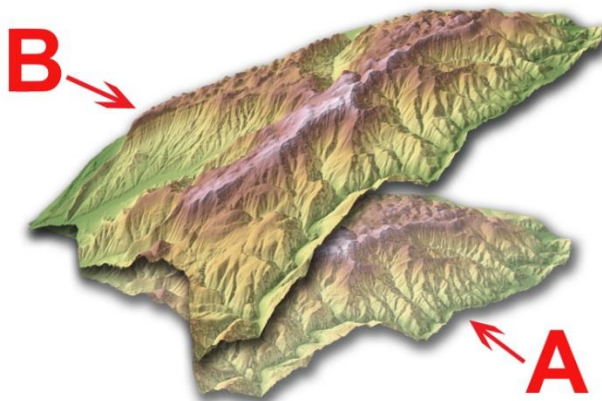
Метод чрез интерполация на камерата

Подходът с интерполирана камера изпълнява прогресивната проекция чрез интерполация между две въображаеми камери (Jenny, 2004). Потребителят дефинира геометрията на две централни камери с перспектива. Първата е използвана за долната зона в изображението, т.е. на преден план на изгледа, втората камера се използва за най-горната зоната на изображението, т.е. за фона на изгледа. За всяка зона на изображението между тях, параметрите на камерата се интерполират. Този подход също запазва оригиналната геометрия на терена.

- **Група 2 - прогресивна проекция чрез огъване на терена**

Подходът за огъване на терена създава прогресивна перспектива чрез повърхностна деформация. Възможни са два подхода: огъване на преден план и прилагане на плосък ъгъл на гледане или огъване на фона и използвайки рязък ъгъл на гледане. Този подход манипулира геометрията на терена и обикновено използва или централна перспектива, или паралелна проекция за показване.

На фигура 2.8-8 е показан експеримент с прилагане на прогресивна перспектива чрез огъване на терена за ПП “Врачански Балкан”.



Фигура 2.8-8. Прогресивна перспектива чрез огъване на терена за ПП „Врачански Балкан“:

А) Оригинална теренна повърхнина; В) Приложена прогресивна перспектива

В настоящото изследване за изработката на панорамна карта на ПП „Врачански Балкан“ е използвана наклонена аксонометрия при триизмерната визуализация (рендъринг) в средата на 3D ГИС (VNS). Разгледаните прогресивни проекции могат да бъдат приложени при изработката на други картографски продукти, например за образователни цели, туристически пътеводители и др.

2.8.2. 3D знакова система в триизмерните карти

При фотореалистичните панорами акцентът е в художествената стойност и правдоподобното пресъздаване на околната среда. Панорамните карти предлагат общ преглед на картографирания регион и чрез подходяща комбинация от 3D знакова система и 2D условни знаци могат да се покажат туристически обекти и маршрути, интересни природни забележителности и феномени.

Въз основа на разработките на редица триизмерни карти у нас (К.С. ДавГЕО 1999-2017) и проведени проучвания (Haeberling, 2005; Vandrova, 2001) могат да се обобщят следните принципи за прилагане на 3D знакова система в триизмерните карти за планински райони, курорти и защитени територии :

Относно изобразяване на триизмерни реални обекти:

- 1) При изобразяване на земното покритие условните знаци трябва да бъдат подобни на реалните обекти от физическата земна повърхност (дървета, храсти, скални масиви, почвена и растителна покривка).
- 2) При изобразяване на туристическа инфраструктура и културно-исторически обекти (хижи, заслони, информационни центрове, паметници, църкви и т.н.) се използват реални модели на обектите или стилизирани 3D знаци в зависимост от мащаба и обхвата на разработката.
- 3) При изобразяване на едромашабни природни ландшафти, реални модели на сгради и съоръжения трябва да се използват модели с минимални полигони.
- 4) При едромашабно 3D картографиране триизмерните условни знаци трябва да бъдат създадени съобразно реалните им измерения.

Относно изобразяване на линейни обекти:

- 1) Моделите и стиловете на линейни обекти (напр. горски пътища, туристически маршрути, граница на защитени територии, граница на опасни зони и др.) също трябва да бъдат с ясна и проста символика, за да бъдат разпознати и на фона на триизмерната карта.
- 2) Минимално изискване за линейните обекти е да притежават контраст спрямо триизмерната основна повърхнина по отношение на отличаващ цвят или тип на линейния знак.

Относно изобразяване на точковите обекти:

- 1) За точкови условни знаци могат да се използват стилизирани 3D знаци, които да са интегрирани в триизмерния модел или да се нанесат 2D условни знаци при финалното картографско оформление.
- 2) Както при класическите топографски карти, условните знаци в триизмерните планински карти също трябва да бъдат с преувеличен мащаб. Показвани в реални размери, обектите на картата едва ли могат да се видят (указателни табели, чешми, наблюдателни площадки и др.).
- 3) Размерът на условните знаци и разстоянията помежду им трябва да са изобразени в правдоподобно съотношение. Ако обектите от 3D карта са твърде големи, съществува опасност да се скрият други обекти или да се покрият големи участъци от терена.

2.8.3. Дизайн и оформление на триизмерната карта

За да се получи един завършен картографски продукт, триизмерната визуализация трябва да се оформи с рамка, надписи, легенда и математическа основа. Един от основните елементи на географската карта е математическата основа (Чолеев, 1996, 1999). Тя включва геодезическата основа, мащаба и картографската проекция. Съставянето на триизмерна карта на ПП „Врачански Балкан“ е извършено по компоновъчен макет, представен на фигура 2.8-9.



Фигура 2.8-9. Компоновъчен макет за оформяне на триизмерната карта на ПП „Врачански Балкан“

2.9. Входни данни

При изработката на 3D модела на ПП „Врачански Балкан“ са подготвени цифрови информационни слоеве, които са организирани в ГИС база данни. Ползвани се следните източници на информация:

- Кадастрални данни: Карта на възстановената собственост (КВС) за зоната на парка; Лесоустройствени планове;
- Топографски данни - Едромащабна топографска карта (ЕТК) М 1:5000
- Архитектурни и геодезически проекти за инфраструктурни обекти
- Цифрова ортофото карта за нуждите на земеделието
- Преки теренни геодезически и дистанционни измервания за набавяне на необходимата информация

Използваните входни данни включват:

1. Релеф

- Цифров модел на повърхността - DTS
- Обособени теренни форми (дерета, скални масиви и скални сипеи)

2. Земно покритие

- Класификация на земеделските земи по начин на трайно ползване
- Класификация на горите по видове
- Урбанизирани територии
- Граници на защитени територии

3. Инфраструктура

- Пътна мрежа (национална и общинска)
- Алеи, пътеки, горски пътища

4. Хидрография

- Водни обекти (езера, язовири, водни басейни)
- Реки, потоци, канали

5. Туристическа инфраструктура и обекти на културно-историческото наследство (КИН)

- Обекти от КИН (паметници на културата, монументи)
- Туристическа инфраструктура (хотели, навеси, административни и представителни сгради)

ГЛАВА 3. ТРИИЗМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ И КАРТОГРАФИРАНЕ НА ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“

3.1. Разработване на ГИС данни за ПП „Врачански Балкан“

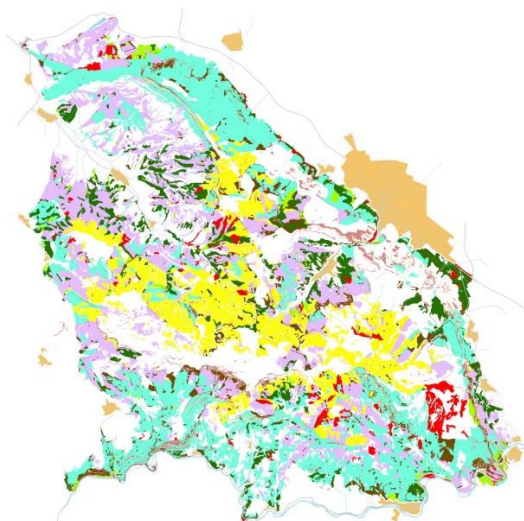
Пространствените данни са обработени и трансформирани в проекционна координатна система WGS84/UTM зона 35N и в Балтийската височинна система и записани в ESRI shape формат. Съставянето на цифровата база данни се извършва чрез специализиран ГИС софтуер ArcGIS и QGIS. Важно условие за окончателните данни е те да бъдат геореферирани и да притежават атрибутна информация относно качествените си характеристики.

Организация на данните в геоинформационни слоеве:

- Данни за релефа
 - Изолинии с надморски височини (хоризонтали)
 - Височинни точки (теренни точки с надморски височини)
 - Скали (скални масиви и образувания)
- Данни за земното покритие
 - Класификация на земеделските земи по начин на трайно ползване
 - Класификация на горите по видове
 - Урбанизирани територии
- Данни за пътната инфраструктура
 - Пътна мрежа (национална и общинска)
 - Пътеки, горски пътища
- Данни за хидрографията
 - Водни обекти (езера, язовири, водни басейни)
 - Реки, потоци, канали
- Данни за туристическата инфраструктура и КИН:
 - Обекти от КИН (паметници на културата, монументи, църкви, манастири)
 - Туристическа инфраструктура (хижи, заслони, навеси, административни и представителни сгради)
 - Пещери
 - Природни забележителности
 - Археологически обекти
- Данни за защитените територии
 - Граница на ПП „Врачански Балкан“
 - Граници на резервати и защитени местности
 - Природни забележителности и защитени обекти

Въз основа на геопространствените данни се генерира геореферирано растерно изображение (фиг. 3.1-6) с класификация на земното покритие, която съчетава няколко информационни слоя от ГИС

данните за ПП „Врачански Балкан“ и се прилага за генериране на 3D земно покритие в софтуера за триизмерно моделиране VNS.



Фигура 3.1-6. Геореферирано растерно изображение с класификация на земното покритие на ПП „Врачански Балкан“

Таблица 3.1-3. Цветова класификация на земното покритие за ПП „Врачански Балкан“

Земно покритие	ЦВЯТ	R	G	B
СКАЛНИ МАСИВИ		214	133	137
СКАЛНИ СИПЕИ		239	228	190
УРБАНИЗИРАНА ТЕРИТОРИЯ		246	197	103
ШИРОКОЛИСТНИ ГОРИ-НИСКОСТЪБЛЕНИ		170	255	0
ШИРОКОЛИСТНИ ГОРИ -ВИСОКИ		255	0	0
ШИРОКОЛИСТНИ ГОРИ -ПРЕВРЪЩАНЕ		232	190	255
ИГЛОЛИСТНИ ГОРИ		38	115	0
НЕЗАЛЕСЕНИ ТЕРИТОРИИ		115	76	0
ШИРОКОЛИСТНИ ГОРИ -БУКОВИ		255	255	0
ХРАСТИ,КЕЛЯВ ГАБЪР		115	255	223
ВОДИ		151	219	242
ПЪТНА МРЕЖА		204	204	204

3.2. Изработка на 3D модел на теренната повърхнина на ПП „Врачански Балкан“

За изработването на триизмерен модел на ПП „Врачански Балкан“ е използван фотограметричен метод с прилагане на автоматизирана фотограметрична технология в средата на LPS (Leica Photogrammetry Suite). За целите на разработката се използват 15 стерео двойки снимки от три полетни ивици от полет, проведен през 2010 г.

3.2.1. Последователност на работа

За достигане на етапа за генериране на цифров модел на релефа предварително са извършени процедурите по въвеждане на параметрите на геометричния модел (Координатна и височинна система, елементи на вътрешното ориентиране, извършен е процеса ATM (Automatic Tie point Measurement - Автоматично измерване на свързващи точки) и самата аеротриангулация на блока - работен процес описан на Фигура 2.3-2.

3.2.2. Редактиране на генерирания модел в LPS Terrain Editor и крайни цифрови продукти

➤ Етапи на редакция:

- Груба редакция за „сваляне“ на точки, които не са на терена (сгради, растителна покривка, различни съоръжения)
- Изчертаване на break lines, където е наложително (подпорни стени; склонове, оврази, пътища и елементи от инфраструктурата)
- Заглаждане на равни площи, където има единични „хвърчащи“ или „потънали“ точки
- Конвертиране на терена в GRID формат и по-прецизно оформяне на специфични и характерни елементи от релефа

Снимки на екрана, показващи състоянието на суровия модел (фигура 3.2-6) и вида след редакцията (фигура 3.2-7).

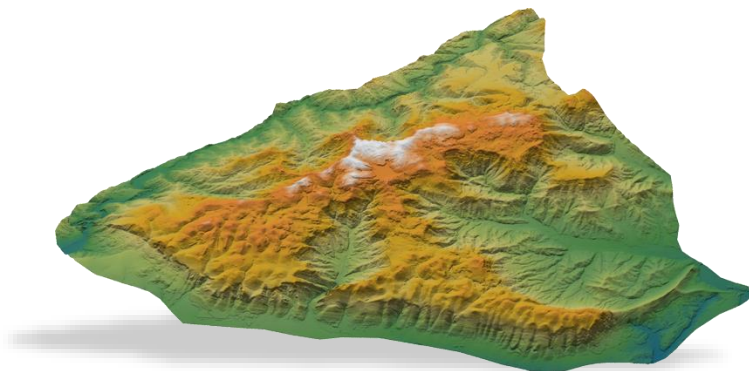


Фигура 3.2-6. Район Леденика - „суров“ модел ;



Фигура 3.2-7. Обработен модел

- Визуализиране на крайния продукт: DSM в grid формат с размер на клетката 2 m (фиг. 3.2-8)



Фигура 3.2-8. Цифров модел на релефа на ПП „Врачански Балкан“ - формат DSM - GRID

- Ортофото изображение на ПП “Врачански Балкан” с размер на клетката 40 cm.



Фигура 3.2-9. Ортофото мозайка на ПП „Врачански Балкан“ с размер на пиксела 40 cm

3.3. Оценка на грешките и вертикалната точност на ЦМР за района на ПП „Врачански Балкан“

Оценката на вертикалната точност е извършена въз основа на координатен регистър от данни за контролни точки (GCP) за района на ПП „Врачански Балкан“. Регистърът включва стойности за координатите и надморските височини за 196 точки от ДГМ (държавната геодезическа мрежа) и 24 GNSS контролни точки от преки геодезически измервания. Разликите между стойностите на извлечените височини от DSM и от стойностите на височините на контролните точки (GCP) дава представа за отклоненията (или грешките) на височините на точките в DSM спрямо приетите за по-точни стойности на височинните контролни точки от изходния регистър.

3.3.1. Определяне на стойностите на отклоненията (грешките) ΔZ

Данните за определяне на стойностите на отклоненията (грешките) ΔZ в цифровия модел на релефа на ПП „Врачански Балкан“ са представени в таблица 3.3-1, пълната таблица виж в Приложение №1.

Таблица 3.3-1: Данни за определяне на стойностите на отклоненията (грешките) ΔZ в цифровия модел на релефа на ПП „Врачански Балкан“

№	Тип	Означение	Име	Z(m)-GCP	Z(m)-DSM	$\Delta z(m)$
1	ТТ	57/XXVIII/	57/XXVIII/	1163,69	1161,99	-1,69
2	ТТ	5	БЕРОВ_РЪТ	607,23	605,73	-1,50
3	ТТ	3	БОРИЕВ_КАМЪК	1241,82	1240,54	-1,28
---	----	-----	-----	-----	-----	-----
95	ТТ	48/7/	ДОБРОЛИН	670,12	672,04	1,92
96	GNSS	1002	Леденика	838,05	839,41	1,36
---	----	-----	-----	-----	-----	-----
111	GNSS	3003	Врачански карст	1002,75	1000,90	-1,84
112	GNSS	3004	Врачански карст	1014,06	1012,64	-1,42

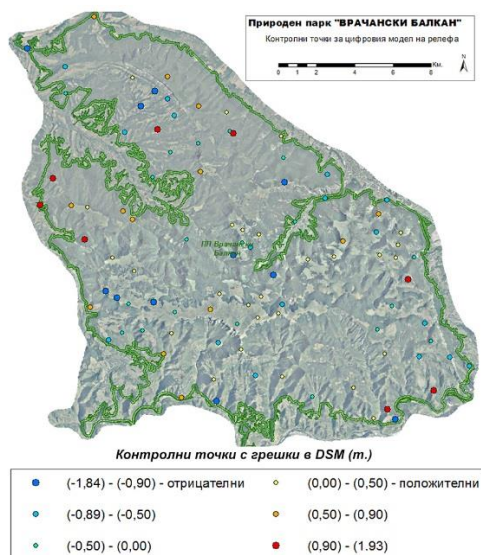
3.3.2. Оценка на точността на цифровия модел на релефа

Данните за отклоненията ΔZ са обработени с базов статистически софтуер и са получени следните резултати:

- средната квадратна грешка - m_z (RMSEz) = ± 0.769 m
- грешка на ср. кв. грешка - m_m (ERMSEz) = $\pm 0,071$ m
- допустима грешка (съгласно формула 2.3.7-6) - $f = \pm 1,51$ m, което е полученият резултат за вертикалната точност на теренната повърхнина. От всичките изследвани грешки в контролните точки - само в 5 от тях (номера 1, 95, 105, 109 и 111) се констатира грешки извън този интервал, което е 4,5% от изследвания ред и е по-малко от границата 10% от всички тествани точки.

3.3.3. Визуализация на грешките

За визуализация на пространственото разположение на контролните точки и грешките в теренната повърхнина е изработена тематична карта в ГИС среда (фиг. 3.3-3). За всяка от контролните точки в района на ПП „Врачански Балкан“ е изобразена грешката в DSM чрез пропорционални (по компонент „големина на грешката“) точкови условни знаци с цветови градиент (по компонент „знак на грешката“).



Фигура 3.3-3. Визуализация на грешките в DSM за ПП "Врачански Балкан"

3.4. Интегриране на ЦМР и геоданни за ПП „Врачански Балкан“ в системата за мониторинг на горски пожари *FAEDO*

Faedo е автоматична система за откриване на горски пожари, която е внедрена за територията на ПП „Врачански Балкан“.

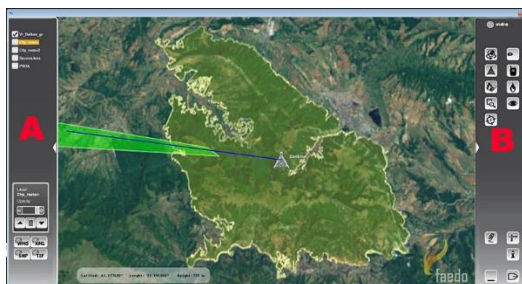
3.4.1. Компоненти на система за мониторинг *FAEDO*

Основни компоненти на системата са:

- *FaedoCam* - приложение, което предоставя на потребителя в реално време изображения и възможност за контрол на камерите
- *FaedoMaps* - интегрирана 3D информационна система, специално проектирана, за визуализация на информация, свързана с горските пожари чрез цифрова картография
- *FaedoDB* - компонент от системата, който позволява преглед на всички аларми, възникнали през предварително избран период от време.
- *FaedoConfig* - приложението притежава различни инструменти за настройка на алрми, настройки на алгоритъма, качество на предаваното изображение от камерите, и рестартиране на оборудването.

3.4.2. Интегриране на геоданни за ПП „Врачански Балкан“ в системата за мониторинг на горски пожари *FAEDO*

Модулът *FaedoMaps* показва 3D карта с всички наблюдателни кули, свързани с контролния център. *FaedoMaps* има две основни менюта, едно от лявата страна за зареждане на данни и управление на слоевете на картата (фиг. 3.4-1-A) и едно отдясно за всички инструменти за управление на специализираните функции (фиг 3.4-1-B).



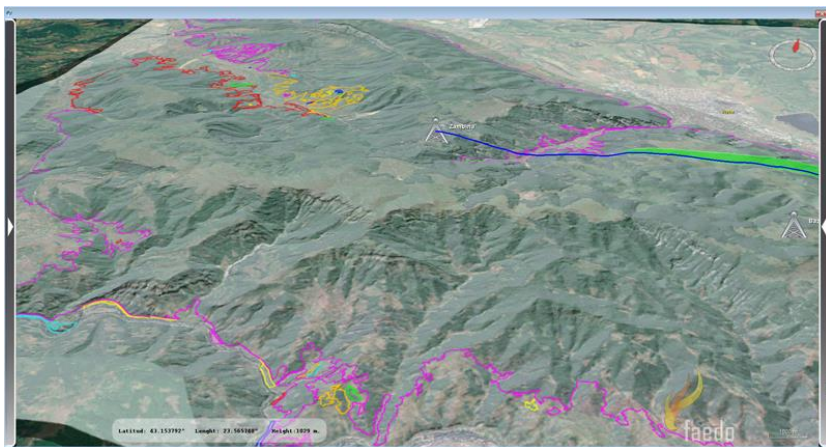
Фигура 3.4-1. Модул *FaedoMaps*

В модула FaedoMaps могат да бъдат въведени следните информационни слоеве:

- WMS - чрез услугата Web Map Service (WMS),
- KML (Key Markup Language);
- SHP - тази опция предоставя възможност за импортиране в база данните на FAEDO на географска информация в ESRI SHP формат;
- TIF - импорт на геореферирани растрерни данни.

В системата за мониторинг на горски пожари са импортирани успешно следните данни за територията на ПП „Врачански Балкан“:

- данни за цифровия растререн модел на релефа (DSM с размер на клетката 2 m) - фиг. 3.4-3;
- ортофотомозайка за цялата територия на парка с размер на пиксела 0.40 m - фиг. 3.4-4;
- векторни ГИС слоеве в ESRI SHP формат - фиг. 3.4-4.



Фигура 3.4-3. Система FAEDO - 3D изглед с импортиран DSM на ПП "Врачански Балкан"

3.5. Приложение на ЦМР на ПП „Врачански Балкан“ за триизмерна визуализация и картографиране

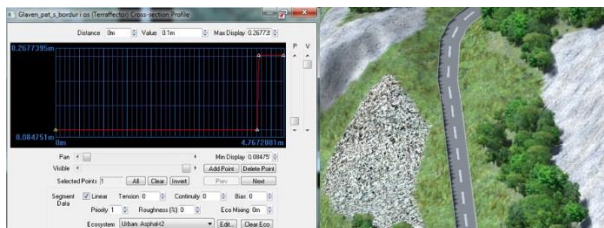
Създаването на 3D модел за дадена територия изисква първоначален подбор и обработка на входни данни, разработване на геоинформационни слоеве, генериране на 3D компютърна графика и фотореалистична визуализация на целия регион или на избрани части (сцени).

3.5.1. Триизмерно моделиране на ПП „Врачански Балкан“

За триизмерното моделиране се прилага работният процес, показан на Фигура 2.6-4. За триизмерното моделиране на теренната повърхнина на ПП „Врачански Балкан“ се използва изработеният по фотограметричен метод цифров модел на повърхността (DTS) - 2.5D растер (георефериран TIFF) с резолюция на пиксела 2 m. В средата на ArcGIS се подготвят допълнителни модели на теренната повърхнина с по-ниска резолюция и подходящ формат за вход във VNS (Arc Grid - размер на клетката (X, Y) 5m/5m; 10m/10m; 20m/20m), които са използвани за генериране на модели с различна резолюция и подробност.

А) *Моделиране на земното покритие* - формиране и оформяне на ландшафтни характеристики (видове гори, обработваеми земи, трайни насаждения, парцели) - тази категория обекти е представена от полигони със съответна площ и граници, както и вид земно покритие - качествен компонент. Границите на полигоните се определят чрез въведената тематична карта на земното покритие (Фигура 3.1-6).

Б) *Моделиране на инженерна инфраструктура* - пътища, железопътни линии, напоителни канали - триизмерните модели на инфраструктурните съоръжения се генерират на базата на линейни вектори и геодезическите данни съдържат съответните параметри за всеки обект - напречен профил, повърхностно покритие, околна среда и др. (Фигура 3.5-1).



Фигура 3.5-1. Инструмент за моделиране на линейна инфраструктура (път) в средата на VNS

В) *Моделиране на площни водни обекти* - езера, язовири, блата и реки. Повърхностите на водните тела са моделирани с помощта на полигони за всеки обект и съответните качествени характеристики на водното тяло - дълбочина, тип дъно, водна флора и др.

Г) *Моделиране на типове сгради* - сградите се моделират чрез входни векторни полигони и модул "Wall (Стени)", като се прилагат предварително подготвените шаблони .

Д) *Импортиране на триизмерни обекти, построени във външни 3D приложения* - има възможност 3D обекти със сложна структура, като сгради, съоръжения, 3D повърхнини и т.н., да се импортират от външни източници. В това проучване са изработени подробни триизмерни модели на природни ландшафтни форми, обекти на КИН, монументи и сгради, които подробно са разгледани в глава 4.

3.5.2. Триизмерна визуализация на ПП „Врачански Балкан“

За визуализация на пространствения модел е необходимо да се изберат сцени и да се конфигурират множество камери с настройки за всяка избрана сцена, както и параметри за запис на финалното изображение в следната последователност:

- Конфигуриране на камерите
- Конфигуриране на параметрите на околната среда
- Финално фотореалистично изображение (рендър - фиг. 3.5-5.)



Фигура 3.5-5. Визуализация на ПП „Врачански Балкан“ - изглед от юг (от Искърското дефиле)

3.5.3. Триизмерна карта на ПП „Врачански Балкан“

Триизмерната карта за територията на ПП „Врачански Балкан“ е изработена съгласно разгледания (т. 2.7 и фиг. 2.7-1) работен процес за триизмерно картографиране.

Знакова система

Следвайки принципите за прилагане на 3D знакова система в триизмерните карти за планински райони, разгледани в т.2.7.2., за панорамната карта на ПП „Врачански Балкан“ е разработена и приложена система от условни знаци за изобразяване на площи, точкови и линейни обекти (фиг.3.5-8 , фиг. 3.5-9, фиг. 3.5.10)



Фигура 3.5-8. Изобразяване на земно покритие (гори, скали, клек и пасища)



Фигура 3.5-9. 3D условни знаци : А) Реален модел на паметника Околчица , В) и С) Стилизирани триизмерни модели на хижа и заслон



Фигура 3.5-10. 3D линейни условни знаци (граница, пътица и река)

Математическа основа на картата:

Математическата основа на картата включва мащаба на картата (линеен мащаб) и картографска мрежа от паралели и меридиани.

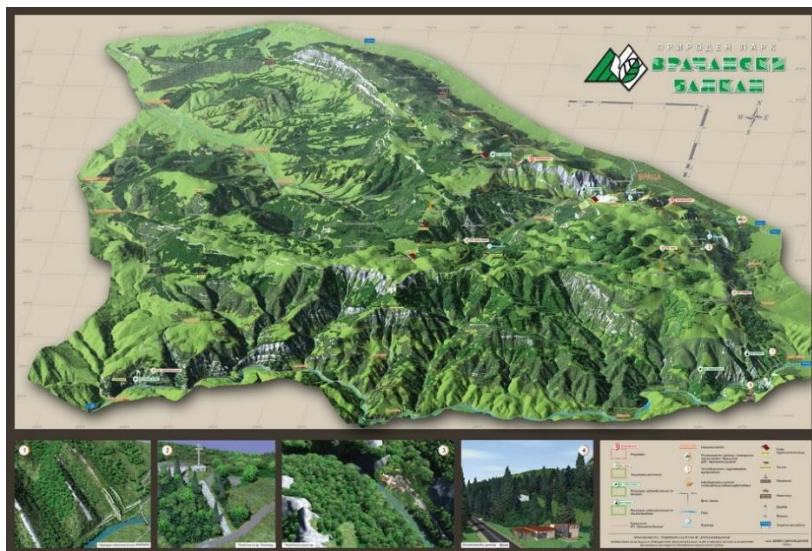
➤ Проекция

За получаване на еднакъв мащаб в триизмерната карта за целия район на ПП „Врачански Балкан“ при настройване параметрите на камерата е избрана наклонена аксонометрия за изобразяване на проекционната равнина. Коефициентите по проекционните оси не са еднакви, т.е. използвана е триметрична аксонометрична проекция.

➤ Картографска мрежа от паралели и меридиани

За реализирането на картографска мрежа върху триизмерната карта в ГИС среда е подготвена мрежа от паралели и меридиани с интервал $0^{\circ} 1' 0''$, в координатна система WGS 84 и проекция - UTM 35N. Добавен е и линеен мащаб в две координатни направления. Картографската мрежа е въведена в средата на 3D ГИС - VNS и при визуализацията на триизмерния модел е включена като слой от изображението.

Финалната картографска обработка включва добавяне на надписи, условни знаци, означения, рамково оформление и легенда (фиг.3.5-16). Триизмерна карта на ПП“Врачански Балкан“ е изработена в размер 90/140 см и отпечатана и в размер 50/70 см. (приложение 2 към дисертацията).



Фигура 3.5-16. ПП „Врачански Балкан“ - триизмерна карта

ГЛАВА 4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТРИИЗМЕРНОТО МОДЕЛИРАНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА ПРИРОДНИ ЛАНДШАФТИ И КУЛТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИ ОБЕКТИ В ПП „ВРАЧАНСКИ БАЛКАН“

4.1. Природна забележителност „Ритлите“

Във връзка с изработката на едромащабни прецизни триизмерни модели на природни ландшафти за тестов район е избрана природна забележителност (ПЗ) „Ритлите“ като представителен обект за скален феномен със сложна геометрия и разнородни елементи на ландшафта. Избраният тип на обекта не предполага възможност за реконструкция на геометричната му структура само по метрични данни (геодезически измервания или данни от картни източници). По тази причина се прилага технология за триизмерна реконструкция, базирана на данни от дистанционни изследвания - фотограметрично заснемане с безпилотна летателна система (БЛС).

Приложен е методът за обработка на изображения SfM за моделиране структурата на теренната повърхнина на ПЗ "Ритлите". Чрез заснемане с БЛС с интегрирана цифрова камера са направени 201 броя въздушни снимки, които са използвани за създаване на облак от точки и последващи цифрови модели.

4.1.1. Предварителна подготовка

- Локализиране на тестовия район на изследване
- Избор и стабилизиране на земни контролни точки (ground control point - GCP)
- Подготовка на план на летење с БЛС - фигура - 4.1-1
- Полет и заснемане на ПЗ "Ритлите"



Фигура 4.1-5. План на летење за ПЗ „Ритлите“ в приложението Pix4D Capture

- Предварителен преглед на резултатите от заснемането

След завършване на планираната мисия снимките се преглеждат и се стартира предварителна обработка в софтуера Pix4DDesktop

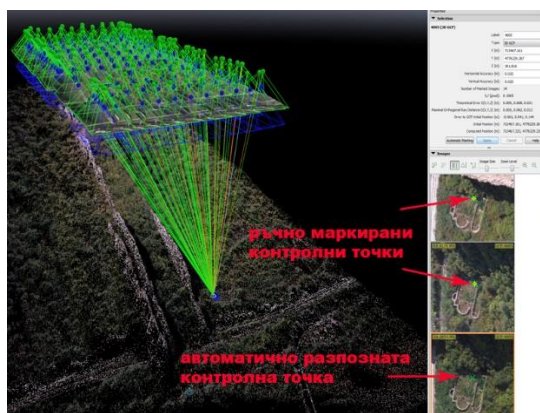
4.1.2. Обработка на цифровите данни от въздушното заснемане

Направените 149 бр. снимки от въздушното заснемане са обработени, като са коригирани нивата на интензивност на сенките на изображенията, средните тонове и акцентите, за да се избегне загуба на данни в сенчестите участъци. Така обработените снимки се използват за следваща фотограметрична обработка с метода SfM. Автоматичната фотограметрична обработка по използваната в този софтуер технология **преминава в три стъпки.**

Първа стъпка – първоначална обработка

При първоначалната обработка се идентифицират ключовите точки, изчислени в припокриващи се изображения, като се използва алгоритъм за разпознаване на характеристики. Върху ключовите точки е извършено итеративно, повтарящо се пакетно изравнение, за да се изчислят вътрешните и външните елементи на ориентирането на камерата и да се получи рядък облак триизмерни точки (Фиг. 4.1-2).

За постигане на по-висока точност е необходимо да се използват измерените с GNSS-RTK приемник контролни точки.



Фигура 4.1-10. Идентифициране и маркиране на контролни точки в 3D облак (рядък облак от първоначална обработка) в редактор RayCloud на Pix4DMapper за ПЗ “Ритмлите”

След като първата стъпка е изпълнена и е генериран рядък облак точки, може да се използва редактор RayCloud (3D интерфейс, вграден в

Pix4D) за автоматизирано маркиране на земните контролни точки. След въвеждането и маркирането на земните контролни точки се извършва и реоптимизация на първоначалната обработка. Реоптимизацията включва оптимизация на параметрите на камерата и изчисляване на ротационни и транслационни матрици, както и мащабен фактор за точното георефериране на точковия облак въз основа на контролните точки - GCP.

Важна характеристика на дигиталните продукти е стойността на пространствената разделителна способност (ground sample distance - GSD). В конкретния случай стойността на GSD е 7.40 cm/pixel, което означава, че един пиксел в снимката се проектира като квадрат със страна 7.40 cm върху земната повърхност. Друг важен показател в резултатите от обработката е обобщената средна квадратна грешка при георефериране на цялостния модел, която за настоящото изследване е със средна стойност (mean RMS error) = 0.149 m чрез използвани 6 опорни точки

Втора стъпка – генериране на плътен 3D облак точки

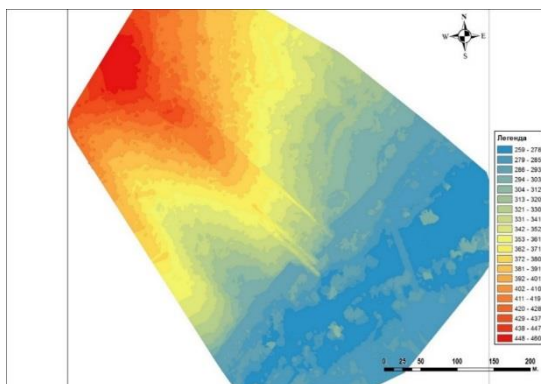
Във втората стъпка първоначално генерираният рядък облак се уплътнява с помощта на подхода MVS (Furukawa, Ponce (2010)). Уплътненият точков облак (Фиг. 4.1-3) съдържа 8,85 милиона пункта със средна плътност от 12.39 пункта на m^3 . В тази стъпка с Pix4D се генерира и нерегулярна текстурирана повърхнина (3D textured mesh - от непресичащи се триъгълници) за изследвания обект въз основа на плътния облаков масив.



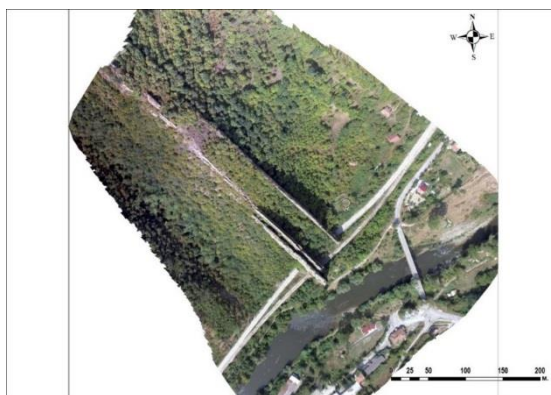
Фигура 4.1-11. Триизмерен модел на ПЗ "Ритлите" от плътен облак точки

Трета стъпка – генериране на цифрови триизмерни продукти

Последната стъпка включва извличане и експортиране на цифров модел на повърхнината (DSM - фиг. 4.1.4) и ортофото мозайка (фиг. 4.1.5) с разделителна способност 7.4 см/пиксел. Използваният софтуер Pix4D включва и много други възможности, като например класификация на точкови облаци, генериране на цифров модел на терена (DTM), изчисляване на индекси и генериране на хоризонтали при височина на сечението до 0.1 m.



Фигура 4.1-13. Цифров модел на повърхнината (DSM) на ПЗ "Ритлите"

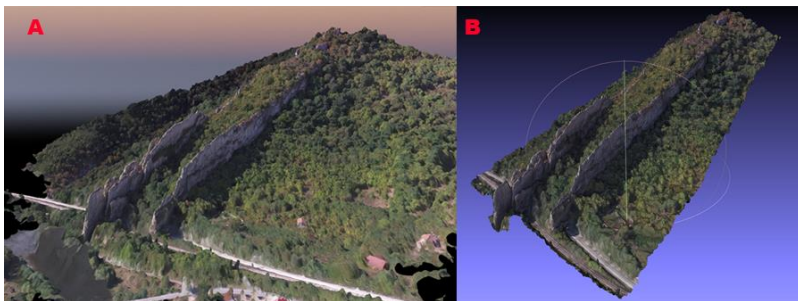


Фигура 4.1-14. Ортофото мозайка за ПЗ "Ритлите"

4.1.3. Приложение на 3D цифровите данни, получени чрез снимки от БЛС за триизмерно моделиране

В общия случай суровите данни, които са получени чрез метода SfM са с по-голям обхват и подробности и трябва да се оптимизират за нуждите на конкретния проект.

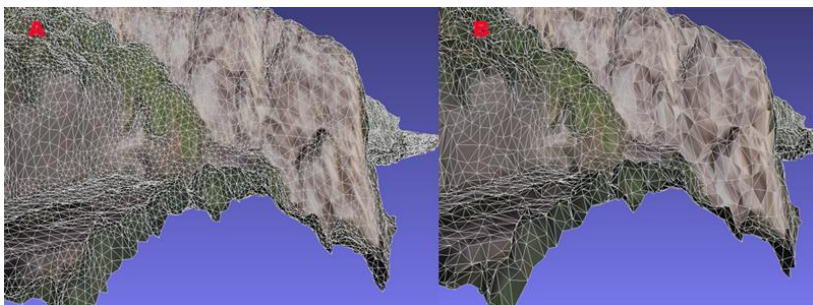
- Отстраняване на излишните елементи и зони в повърхнината



Фигура 4.1-15. Коригиране на обхвата и съдържанието на триизмерната повърхнина на ПЗ "Ритлите":

А) - оригинална триизмерна повърхнина; В) - коригирана повърхнина

- Оптимизиране на триизмерната повърхнина (намаляване броя на триъгълници и възли)



Фигура 4.1-17. Опростяване геометрията на триизмерната повърхнина на ПЗ "Ритлите":

А) Оригинална повърхнина; В) Опростена повърхнина

➤ Триизмерна визуализация на ПЗ “Ритлите“

В настоящото изследване създаденият триизмерен модел на ПЗ “Ритлите“ е представен като самостоятелна визуализация (Фиг. 4.1-8) и е включен като съставен елемент (самостоятелен 3D обект) в цялостния триизмерен модел на ПП “Врачански Балкан“ (Фиг. 4.1-9).



Фигура 4.1-18. Самостоятелен рендъринг на ПЗ " Ритлите"



Фигура 4.1-19. Триизмерен модел на ПП “Врачански Балкан“ - район Лютиброд с интегриран 3D модел на ПЗ “Ритлите“

4.2. Паметник на връх Околчица

Изборът на тестов обект „Паметник на вр. Околчица” (обект „Околчица”) е свързан със създаването на пространствени данни за триизмерно моделиране на тип обект, който съчетава природен ландшафт и културно-исторически обект (сграда, монумент). Извършените дейности за тестов обект „Околчица” включват две нови стъпки (в сравнение с ПЗ „Ритлите“) в работния процес:

- Създаване на векторни метрични данни за обекта
- Изработка на опростен триизмерен модел на монумента

4.2.1. Предварителна подготовка

Предварителната подготовка включва : локализиране на тестовия район на изследване, избор и стабилизиране на земни контролни точки (GCP), подготовка на план на летене с БЛС, полет и заснемане.

С оглед характеристиките на терена и обектите за заснемане (хълмист терен със смесена горска и нискостеблена растителност в комбинация с висок вертикален обект) се налага да се проведат два различни типа полети за заснемане. Първият полет е тип „двойна фотограметрична мрежа” за обхващане и моделиране на цялата територия. При наличието на отвесни и скрити повърхнини (каквито се явяват стените на паметника) е необходимо допълнително заснемане на фасадните елементи. За тази цел е извършен допълнителен свободен полет около монумента, както и заснемане на стълбите от паркинга към площадката с паметника - фигура 4.2-6



Фигура 4.2-6. Пространствено положение на камерата със заснетите кадри, визуализиран

4.2.2. Обработка на цифровите данни от въздушното заснемане

Снимките от двата полета са прегледани и съвместени в един проект за последваща обработка. Общият брой на снимките в проекта е 231 броя. Всичките снимки са подложени на фотограметрична обработка по метода SfM, следвайки стъпките описани в т. 4.1.2. Разделителната способност на модела GSD е 2.31cm/pixel и обобщената средна квадратна грешка при георефериране е със средна стойност (mean RMS error) = 0.04 m. чрез използвани 6 опорни точки.

4.2.3. Картографиране на съоръжения за създаване на векторни модели

В триизмерния облак от точки могат да бъдат отчетени разстояния между 3D точките за намиране на височината и дължината на съоръжения. По аналогичен начин в редактора RayCloud могат да бъдат създавани и линии и повърхнини, като всички създадени обекти могат да бъдат изведени и използвани в различни CAD и GIS софтуерни продукти.

- Построяване на линии в триизмерния модел

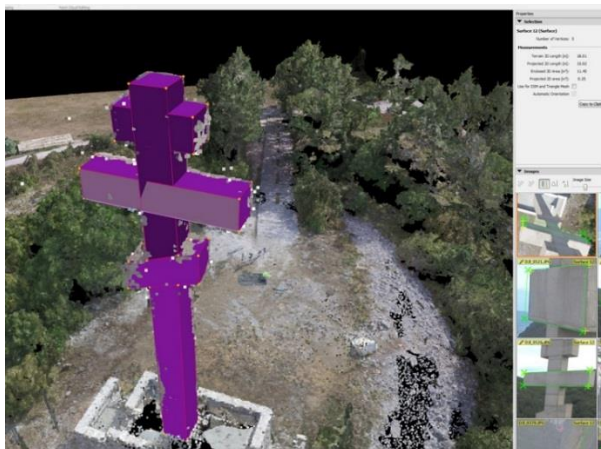
Чрез редактор RayCloud е построена линия в основата на съоръжението (паметник „Околчица”) с ясно различни основи на фотоизображенията - фигура 4.2-2



Фигура 4.2-13. Изображение на построена линия A-B в средата на Pix4D

- Построяване на повърхнини в триизмерния модел

Освен линии, в средата на софтуер Pix4D могат да бъдат построени и повърхнини. Функцията за построяване на повърхнини е използвана, за да се векторизира тялото на кръста от паметника „Околчица“ и впоследствие да се изведе като триизмерен полигонов обект - фигура 4.2-3.



Фигура 4.2-15. Построяване на векторни повърхнини от паметника на обект „Околчица“ в средата на софтуер Pix4D

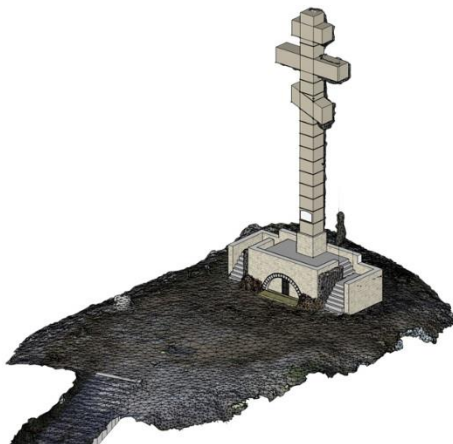
4.2.4. Приложение на 3D цифровите данни, получени чрез снимки от БЛС за триизмерно моделиране

В резултат от обработката на цифровите данни от БЛС е получен достатъчно подробен и достоверен триизмерен модел на паметника „Околчица“ и терена около него. В същото време този модел трябва да отговаря и на условието да може да се вгражда в други приложения за визуализация и мониторинг на ПП „Врачански Балкан“.

- Подготовка на генерираните 3D цифрови данни за триизмерно моделиране - отстраняване на излишните елементи от модела и оптимизация на повърхнините.
- Триизмерно моделиране на паметника „Околчица“

За постигане на точен геометричен модел, който да е с минимален брой повърхнини, е построен триизмерен модел на паметника

„Околчица” в средата на софтуер за създаване на 3D геометрия SketchUP - фиг. 4.2-17.



Фигура 4.2-17. Триизмерно моделиране на паметника „Околчица” в средата на софтуер SketchUP

- Интегриране на триизмерния модел на паметника „Околчица” в 3D модела на ПП „Врачански Балкан“ и фотореалистична визуализация - фигура 4.2-18.



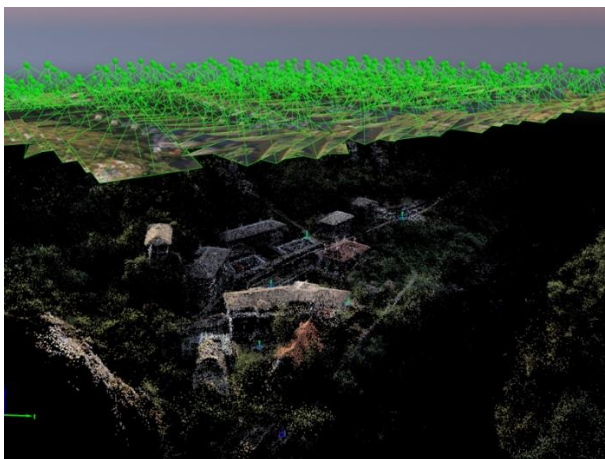
Фигура 4.2-18. Визуализация на тестов обект “Околчица” в средата на VNS (Visual Nature Studio)

4.3. Черепишки манастир

Изборът на тестов обект Черепишки манастир „Успение Богородично” (обект „Черепишки манастир”) е свързан със създаването на пространствени данни за триизмерно моделиране на обект, който е паметник на културата от национално значение и представлява комплекс от множество сгради, разположени в район със сложен релеф.

4.3.1. Предварителна подготовка

Предварителната подготовка включва : локализиране на тестовия район на изследване, избор и стабилизиране на земни контролни точки (GCP), подготовка на план на летене с БЛС, полет и заснемане. При въздушното заснемане се експериментира с наклона на оптичната ос на фотокамерата да е 70° с цел по-добро заснемане фасадите на сградите.



Фигура 4.3-4. Рядък облак точки и местоположение на наклонените изображения, визуализирани в редактор RayCloud на Pix4Dmapper за обект „Черепишки манастир“

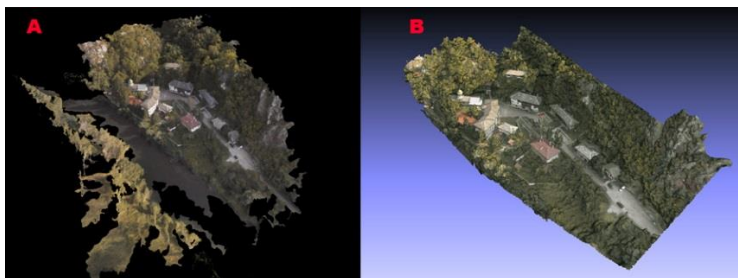
4.3.2. Обработка на цифровите данни от въздушното заснемане

Направените 217 броя снимки от въздушното заснемане са обработени, като е постигната пространствена разделителна способност на модела $GSD = 2.85 \text{ cm/pixel}$ и обобщена средна квадратна грешка за

георефериране на цялостния модел (mean RMS error) = 0.043 m. чрез използвани 5 опорни точки.

4.3.3. Приложение на 3D цифровите данни, получени чрез снимки от БЛС за триизмерно моделиране

Описаният подход в точка 4.1.3 за тестов обект ПЗ „Ритлите“ е приложен и за обект „Черепишки манастир“, като са извършени редактиране и оптимизация на триизмерните данни в средата на софтуер MeshLAB. В резултат е получен 3D модел с олекотена структура и коригиран обхват (Фиг. 4.3-8).



Фигура 4.3-8. Коригиране на обхвата и съдържанието на триизмерната повърхнина на обект „Черепишки манастир“: А) - оригинална триизмерна повърхнина; В) - коригирана повърхнина

Крайните резултати за тестов обект „Черепишки манастир“ включват генерирането на следните цифрови продукти:

- Ортофото мозайка за района с пространствена резолюция 2.85 см/пиксел
- Цифров модел на повърхнината (DSM)
- Цифров модел на терена (DTM)
- Триизмерен модел на тестов обект „Черепишки манастир“ с геолокация и оптимизирана структура за визуализация и вграждане в 3D модела на ПП „Врачански Балкан“



Фигура 4.3-9. Триизмерен модел на ПП „Врачански Балкан“ - район Лютиброд с интегриран 3D модел на Черепишки манастир „Успение Богородично“

4.4. Посетителски център – Враца

Изборът на тестов обект “Посетителски център - Враца” (“Посетителски център с контролен горски пункт - Враца” към Дирекцията на ПП “Врачански Балкан”) има за цел изработването на триизмерен модел на обект по съществуващи архитектурни и инженерни данни. За извършеното експериментално моделиране на сграда са предоставени от Дирекцията на ПП “Врачански Балкан” всички необходими чертежи и данни. Целта е да се създаде геометрично верен 3D модел на обекта, който да се импортира в триизмерния модел на природния парк.

4.4.1. Схема на работния процес за 3D моделиране

За целите на моделирането е използван софтуерният продукт SketchUp. В процеса на работата са изпълнени следните основни стъпки (Фиг. 4.4-2):



Фигура 4.4-2. Схема на работния процес за триизмерно моделиране на тестов обект "Посетителски център - Враца"

4.4.2. Предварителна подготовка

С цел вярно конструиране на геометричния триизмерен модел на обекта е посетена Дирекцията на ПП "Врачански Балкан", където са събрани и анализирани наличните изходни материали - архитектурни и геодезически планове, записки и регистри. Направени са и цифрови снимки на сградата и са обсъдени идеите за визуализация.

4.4.3. Изработка на планова основа

При изработката на 3D модела на "Посетителски център - Враца" са използвани данни от архитектурни проекти - фасадни планове в М 1:75

Table 1: Room Numbers and Areas

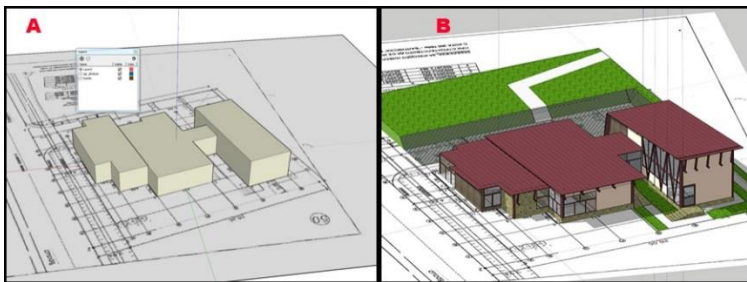
Room No.	Area (m ²)
1	1.5
2	1.5
3	1.5
4	1.5
5	1.5
6	1.5
7	1.5
8	1.5
9	1.5
10	1.5
11	1.5
12	1.5
13	1.5
14	1.5
15	1.5
16	1.5
17	1.5
18	1.5
19	1.5
20	1.5
21	1.5
22	1.5
23	1.5
24	1.5
25	1.5
26	1.5
27	1.5
28	1.5
29	1.5
30	1.5
31	1.5
32	1.5
33	1.5
34	1.5
35	1.5
36	1.5
37	1.5
38	1.5
39	1.5
40	1.5
41	1.5
42	1.5
43	1.5
44	1.5
45	1.5
46	1.5
47	1.5
48	1.5
49	1.5
50	1.5
51	1.5
52	1.5
53	1.5
54	1.5
55	1.5
56	1.5
57	1.5
58	1.5
59	1.5
60	1.5
61	1.5
62	1.5
63	1.5
64	1.5
65	1.5
66	1.5
67	1.5
68	1.5
69	1.5
70	1.5
71	1.5
72	1.5
73	1.5
74	1.5
75	1.5
76	1.5
77	1.5
78	1.5
79	1.5
80	1.5
81	1.5
82	1.5
83	1.5
84	1.5
85	1.5
86	1.5
87	1.5
88	1.5
89	1.5
90	1.5
91	1.5
92	1.5
93	1.5
94	1.5
95	1.5
96	1.5
97	1.5
98	1.5
99	1.5
100	1.5

4.4.4. Триизмерно моделиране в средата на SketchUp

- Входни данни от ГИС слоеве в SketchUp

- Изработка на триизмерен модел

65



Фигура 4.4-7. Триизмерен модел на обект „Посетителски център - Враца“ в средата на SketchUp: А) Входни геореферирани векторни и растерни данни от ГИС слоеве; В) Готов триизмерен модел на обекта

- Интегриране на тестовия обект в 3D модела на ПП „Врачански Балкан“ и визуализация

Създаденият триизмерен модел на обект „Посетителски център - Враца“ е включен като съставен елемент (самостоятелен 3D обект) в цялостния триизмерен модел на ПП „Врачански Балкан“ (Фиг. 4.4-9).



Фигура 4.4-9. Интегриране на 3D модел „Посетителски център - Враца“ в 3D модела на ПП „Врачански Балкан“ и визуализация в средата на VNS (Visual Nature Studio)

4.5. Особенности, предимства и недостатъци при разработка на 3D модели на природни ландшафти и културно-исторически обекти

4.5.1. Особенности, предимства и недостатъци при използване на БЛС за дистанционни изследвания и триизмерно моделиране

Предимства :

- иновативен подход за получаване на пространствени данни за 3D моделиране
- висока ефективност на вложените финансови средства, време и човешки ресурси
- изследване на труднодостъпни райони със сложен релеф
- високата точност и пространствена резолюция на получените данни
- ❖ необходима е квалификация на оператора на БЛС (картографски и технически опит)

Като недостатъци при прилагане на метода на терен могат да се посочат:

- ограничени функции при планиране и осъществяване на полетите с използвания свободно достъпен (безплатен) софтуер
- неблагоприятна метеорологична обстановка (вятър, дъжд, мъгла...)

4.5.2. Особенности, предимства и недостатъци при триизмерно моделиране на обекти въз основа на архитектурни и геодезически проекти

Основното предимство на този метод е избягването на разходи на финансови средства, време и оборудване за теренни дейности.

Методът не е приложим при триизмерното моделиране на природни ландшафти, тъй като уникалността в геометрията и текстурата не могат да бъдат пресъздадени и построени достоверно по зададени размери, цветове и обеми. Именно по тази причина в изработката на комплексен триизмерен модел на ПП “Врачански Балкан“ са приложени комбинирани методи за изследване, измерване и триизмерно моделиране на природни и културно-исторически обекти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на настоящото изследване е разработен нов и оригинален информационен продукт - комплексен триизмерен (3D) модел на Природен парк „Врачански Балкан“ с различна пространствена резолюция за визуализация на цялата територия на парка и на прецизни пространствени модели на избрани тестови обекти, като иновативно средство за мониторинг на околната среда и триизмерно картографиране. Изработена е триизмерна карта с математическа основа и комбинирана знакова система от 3D и 2D картографски условни знаци.

Разработен е и успешно е приложен систематизиран подход за триизмерно моделиране, картографиране и визуализация на природни ландшафти и културно-исторически обекти с използване на дистанционни изследвания с безпилотни летателни системи за получаване на пространствени данни с висока точност. Подбрани са и са приложени съвременни методи и средства за получаване на триизмерни модели от неметрични и непрофесионални камери, които могат да се използват за мониторинг на околната среда и за създаване на 3D панорамни карти.

При изработката на цифрови 3D модели в настоящото изследване са използвани достъпни технологии и методи за постигане на реалистично, точно и пълно моделиране и пресъздаване на изследваните обекти. Получените резултати и придобитият практически опит се основават на приложението на водещи практики и тенденции в съвременните географски информационни системи, триизмерното моделиране и визуализация и не на последно място картографското оформление за подготовка и издаване на цифрови или печатни материали.

В изпълнение на основната цел на изследването е изработен подробен цифров 3D модел на терена на Природен парк „Врачански Балкан“, който е интегриран в система за пожароизвестяване, внедрена в Дирекцията на парка, и е подходящ за приложение при изработка за триизмерна визуализация, презентационни и учебни материали.

Приложени са съвременни фотограметрични технологии и софтуер за изработката на цифровия модел на релефа на парка. Избрани са и са тествани съвременни бързо развиващи се технологии за дистанционни изследвания - БЛС (безпилотни летателни системи). Това е направено въз основа на прегледа на значителен обем научна и техническа литература, което подпомогна включване в изследването на БЛС за заснемане на природни ландшафти и обекти на културно-историческото наследство, попадащи на територията на парка.

Въз основа на направените проучвания и постигнатите резултати могат да се обобщят следните изводи и заключения:

1. Направен е подробен анализ и подбор на подходящи софтуерни продукти и методологии за изпълнение на всички етапи от изследването.
2. Изработен е цифров модел на теренната повърхнина на ПП „Врачански Балкан“ (DSM) с пространствена резолюция 2 m и ортофотомозайка за цялата територия на ПП „Врачански Балкан“ с пространствена резолюция 0.40 m, които отговарят на изискванията за внедряване в автоматизираната система *FAEDO* (модул *Faedo Maps*) за пожароизвестяване за територията на парка.
3. Систематизирани са и са верифицирани наличните цифрови данни от плана за управление на ПП „Врачански Балкан“, обработени са допълнителни източници и са подготвени ГИС данни за триизмерно моделиране, които успешно могат да се използват и от Дирекцията на ПП „Врачански Балкан“ за дейности по управление на територията.
4. Успешно е експериментирано с приложението на дистанционни изследвания с БЛС за получаване на високоточни пространствени данни. За обработка на резултатите от фотограметричното заснемане специално внимание е отделено на прилагането на методите за получаване на триизмерни модели от неметрични и непрофесионални камери, като е ползван и разгледан международния опит в това набиращо все по-голяма скорост направление. Показаните резултати от обработката чрез метода SfM и Ray Cloud инструментариума в използвания софтуер, доказват че използваната технология е приложима в значителна степен за картографиране на природни ландшафти и обекти на културно-историческото наследство.
5. Успешно са интегрирани в един комплексен триизмерен модел на ПП „Врачански Балкан“ различните цифрови данни, както следва:
 - a. Векторните данни от ГИС слоевете - описани в т.3.1
 - b. Цифров модел на повърхността, изработен в т. 3.2
 - c. Цифровите триизмерни модели, получени от дистанционни изследвания:
 - i. ПЗ „Ритлите“ - т. 4.1;
 - ii. Паметник „Околчица“ - т. 4.2;
 - iii. Черепишки манастир - т. 4.3;
 - d. Цифров модел, изработен в CAD софтуер от архитектурни и геодезически проекти - „Посетителски център - Враца” - т.4.4

6. Изработени са фотореалистични изгледи в различен мащаб и обхват на ПП „Врачански Балкан“ и отделни райони от него.

Представени са статични 3D перспективни изгледи, тъй като те отразяват най-високо ниво на детайлност на реалния свят и могат да се използват за наблюдение на околната среда или за създаване на 3D панорамни карти. Различни техники за визуализация са илюстрирани за основни елементи на ландшафта, например растителност, скали, пясък, вода и т.н., както и 3D условни знаци за сгради, дървета, спортни и развлекателни съоръжения и др.

Като краен резултат успешно приложеният подход за дигитализация и визуализация на природни ландшафти, на ценни исторически и архитектурни символи чрез съвременните методи за триизмерно визуализиране може да спомогне за тяхното по-нататъшно специализирано изследване, опознаване и популяризиране сред подрастващото поколение, опазване, а при необходимост и възстановяване на културни ценности от миналото.

ЛИТЕРАТУРА

- Билидеров С., Н. Пачалийски, В. Стефанов, А. Янакиев, (2010) Приложение на безпилотните летателни апарати за фотограметрични цели, Геомедия, 2010
- Вацева, Р. (2004) Пространствен анализ на морфометрични характеристики на релефа на Врачанска планина. - Проблеми на географията, 3-4, 94-108.
- Вацева, Р. (2014) Генерализация на пространствени данни в ГИС. Проблеми на географията, кн. 3-4, с. 3-10.
- Динков, Д. (2018) 3D моделиране на природни ландшафти с използване на безпилотни летателни системи. Проблеми на географията, кн. 1-2 (приета за печат)
- Калчев И., Христозова И. (2016), Анализ и оценка на приложимостта на въздушното безпилотно заснемане в геодезията и кадастъра, ГКЗ, 2016
- Малджански, П. (2012) Развитие на методите за заснемане и обработка на данни в архитектурната фотограметрия. „ТЕС Дизайн“, 122 с.
- Малджански, П. (2017) Фотограметрични технологии, <https://e-learn.uacg.bg>
- Петров Д., (2014) Използване на безпилотните летателни апарати за кадастрални дейности, 2014
- Петров, Д.; Михайлов, П. (2014) Съвременни технически средства и технологии за събиране на геопространствени данни за местността.
- Петров Д., (2013) Създаване на орторектифицирани изображения с използване на програмна система за цифрова фотограметрия - ERDAS - LPS, „Епископ Константин Преславски“, Шумен, 2013
- Попов, А., А. Филипов, С. Димитров, (2005) ГИС и дистанционни изследвания. Методическо пособие., Фондация ЛОПС
- Филипов, А. (2011) Използване на Безпилотни Летателни Системи (БЛС) като платформи за дистанционни изследвания. Сп. Геомедия, С.
- Филипов, А. (2016) Използване на безпилотна летателна система за фотограметрични цели. От С. У. ОХРИДСКИ“, Книга 2 - ГЕОГРАФИЯ, Том 109, 7-15.
- Чолеев, И. Математическа география и картография. - С., „Тилиа“ 1996

Чолеев, И. Практическа картография. - С., „Тилиа“,1999

3D Nature (2008) Visual Nature Studio, LLC, Using VNS 3. Manual, www.3DNature.com

Agüera-Vega, F.; Carvajal-Ramírez, F.; Martínez-Carricondo, P. (2017) Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement* 98, 221-227.

Agüera-Vega, F.; Carvajal-Ramírez, F.; Martínez-Carricondo, P. (2016) Accuracy of digital surface models and orthophotos derived from unmanned aerial vehicle photogrammetry. *J. Surv. Eng.* 143, 4016025.

Aicardi, I.; Nex, F.; Gerke, M.; Lingua, A. (2016) An image-based approach for the co-registration of multi-temporal UAV image datasets. *Remote Sens.* 8, 779.

Appleton, K.; Lovett, A. (2003). GIS-based visualisation of rural landscapes: Defining 'sufficient' realism for environmental decision-making. *Landscape and Urban Planning.* 65. 117-131. 10.1016/S0169-2046(02)00245-1.

Arias P.; Herráez J.; Lorenzo H.; Ordóñez C. (2005) Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods, *Computers & Structures*, Volume 83, Issues 21-22, 2005, Pages 1754-1766

Bandrova T.; Ivanova, K. (1999) 3D Cartographic Modeling in City Environment., 19th International Cartographic Conference, Session 31-B (CD), Ottawa, Canada.

Bandrova, T. (2001) Designing of Symbol System for 3D City Maps., 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, Volume 2, pp. 1002 - 1010.

Bandrova, T.; Pashova L. (2017) Cartographic Visualization of Multi-Source Data for the Disaster Management Response, 13th International Conference Geoheritage, Geoinformation and Cartography Selce, Croatia, September 7-9.

Bandrova, T.; Zlatanova, S.; Konecny, M. (2012) Three-dimensional maps for disaster management. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 1-4, 245-250.

Berteska, T.; Ruzgiene, B. (2013) Photogrammetric mapping based on UAV imagery. *Geodesy and Cartography* 39 (4): 158.

- Bolitho, M.; Kazhdan, M.; Burns, R.; Hoppe, H. (2009) Parallel Poisson Surface Reconstruction. *Advances in Visual Computing. ISVC 2009* (pp. 678-689). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bonchev, St. (2009) Development of a three-dimensional map of a mountain resort for tourist purposes, *International Conference UACEG2009: Science & Practice, CD Proceedings, Sofia.*
- Bonchev, St.; Bandrova, T. (2010) 3D Maps for Internet Application., 3rd ISDE Digital Earth Summit, CD Proceedings, Nessebar, Bulgaria, ISBN: 978-954-724-039-1
- Castellazzi, G.; D'Altri, A.; Miranda, S.; Ubertini, F. (2017) An innovative numerical modeling strategy for the structural analysis of historical monumental buildings. *Engineering Structures.* 132. 229-248. 10.1016/j.engstruct.2016.11.032.
- Colomina, I.; Blazquez, M.; Molina, P.; Pares, M.E., Wis, M. (2008) Towards A New Paradigm for High-Resolution Low-Cost Photogrammetry and Remote Sensing, In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress, Beijing, China, XXXVII. Part B1, 1201-1206.*
- Dinkov, D. (2016) "Generation of 3D panoramic map for tourism management applications" - 6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17.June.2016, Albena, Bulgaria.
- Dinkov, D.; Vatsheva, R. (2016) "3D modelling and visualization for landscape simulation" - 6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17.June.2016, Albena, Bulgaria.
- Egger, K.; Geier, B.; Muhar, A. (2002) 3D-Visualization-Systems for Landscape Planning - Concepts and Integration into the Workflow of Planning Practice. In: Buhmann, E., Nothhelfer, U., Pietsch, M. (eds.) *Trends in GIS and Virtualization in Environmental Planning and Design.* Wichmann, Heidelberg.
- Ervin, S.M. (2001) Digital landscape modeling and visualization: a research agenda. *Landscape & Urban Planning*, 54: 49-62
- Fonstad, M.A.; Dietrich, J.T.; Courville, B.C.; Jensen, J.L. (2013) Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, pp 421-430.
- Furukawa, Y.; Ponce, J. (2010) Accurate, dense, and robust multiview stereopsis, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 32, 1362-1376, doi: 10.1109/TPAMI.2009.161.

- Haerberling, C. (2002) 3D Map Presentation: A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects. Online Paper of the 2nd ICA Mountain Cartography Workshop, Mt. Hood. Available at http://www.mountaincartography.org/mt_hood/pdfs/haeberling2.pdf
- Haerberling, C. (2005) Cartographic design principles for 3D maps - A contribution to cartographic theory. In Proceedings of the 22nd ICA International Cartographic Conference, A Coruna, Spain.
- Haerberling, C.; Bar, H.; Hurni, L. (2008) Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory. *Cartographica*, 43(3), pp. 175-188.
- ICSM (International Community of Surveying & Mapping), Guidelines for Digital Elevation Data, August 12, (2008).
- Imhof, E. (1963), *Kartenverwandte Darstellungen der Erdoberfläche. Eine systematische Übersicht*, Internationales Jahrbuch der Kartographie, Gütersloh und Zürich. Vol. 3, 54-99.
- INSPIRE Data Specification on Elevation - Technical Guidelines (10.12.2013).
- Jelev, G.; Roumenina, E.; Dimitrov, P.; Kamenova, I.; Ilieva, I.; Naydenov, Y.; Nankov, M.; Krasteva, V. (2016) Application of Specialized Unmanned Systems Sensefly eBee Ag for Mapping and Evaluation of Maize Crop State with Different Fertilizing Rate. Eleventh scientific conference with International Participation "Space, Ecology, Safety" (SES 2015) pp 154-166.
- Jenny, H.; Jenny, B.; Hurni, L. (2010) 'Interactive design of 3Dmaps with progressive projection', *The Cartographic Journal*, 47, pp. 211-221.
- Jenny, B. (2004). Bringing traditional panorama projections from the painter's canvas to the digital realm. 4th ICA Mountain Cartography Workshop, At Nuria, Spain, Volume: Monografies tècniques 8: Institut Cartogràfic de Catalunya, p. 151-157.
- Laliberte, A.S.; Rango, A. (2009) Texture and Scale in Object-Based Analysis of Subdecimeter Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol.47, pp. 761-770.
- Lowe, D.G. (1999) Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. In *International Conference on Computer Vision*, (pp. 1150-1157). Corfu, Greece.
- Nex, F.; Remondino, F. (2014) UAV for 3D mapping applications: A review. *Appl. Geomat.* 6, 1-15.

- Patterson, T. (2000). A View from on High: Heinrich Berann's Panoramas and Landscape Visualization Techniques for the U.S. National Park Service. *Cartographic Perspectives*. No. 36, Spring 2000: 38-65.
- Patterson, T. (2005) Looking Closer: A Guide to Making Bird's-eye Views of National Park Service Cultural and Historical Sites, *Cartographic Perspectives* , № 52:59-75.
- Pegg, D. (2012) Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles. Available at: <http://lazarus.elte.hu/cet/academic/pegg.pdf> (Accessed 11 March 2016).
- Remondino, F.; Barazzetti, L.; Nex, F.; Scaioni, M.; Sarazzi, D. (2011) UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling—Current Status and Future Perspectives. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XXXVIII, 14-16.
- Rossi, A.; Rhody, H.; Salvaggio, C. (2012) Abstracted workflow framework with a structure from motion application. *Western New York Image Processing Workshop*, (pp 9-12), New York.
- Schumacher, Y. (2012), *Der schweifende Blick und das Objektiv, Top of the Alps - Panorama-Fotografien der Alpen von Willi P. Burkhardt und Matthias Taugwalder*, Luzern.
- Semmo, A.; Trapp, M.; Jobst, M.; Dollner, J. (2015) Cartography-Oriented Design of 3D Geospatial Information Visualization - Overview and Techniques. *The Cartographic Journal*, Taylor & Francis, pp. 95-106.
- Snaveley, N.; Seitz, S.M.; Szeliski, R. (2008) Modeling the world from Internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*, 189-210.
- Spengler, M.; Räber, S. (2012) Panoramic maps-evaluating the usability and effectiveness. *Proceedings of 8th ICA Mountain Cartography Workshop*, Taurewa, New Zealand.
- Terribilini, A. (2001) *Entwicklung von Arbeitsabläufen zur automatischen Erstellung von interaktiven, vektorbasierten topographischen 3D-Karten*. Dissertation, Institut für Kartographie der ETH Zuerich. Zuerich. Available at: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/diss/fulltext/eth14387.pdf>.
- Tiede, D.; Blaschke, Th. (2005). A Two-Way Workflow for Integrating CAD, 3D Visualization and Spatial Analysis in a GIS Environment. *The 6 th international Conference for Information Technologies in Landscape Architecture: Real-Time Visualization and Participation, Visualization in Landscape Architecture*.

- Westoby, M.; Brasington, J.; Glasser, N.F.; Hambrey, M.J.; Reynolds, J.M. (2012) 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, pp 300-314.
- Zlatanova, S. (2000), 3D GIS for Urban Development, Thesis, Graz, Austria, 2000.
- Zlatanova, S. (2012), Training school on 3D Urban Visualisation. Open Web Technologies, Sofia, Bulgaria, 1-5 October, 2012.

ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ ОТ ИНТЕРНЕТ:

- Закон за достъп до пространствени данни:
http://www.esmis.government.bg/upload/docs/2015-04/Zakon_dostup_prost_danni.pdf (Посетен 08.07.2016)
- Дирекция на Природен парк „Врачански Балкан“
<http://www.vr-balkan.net/bg/prirodni-i-kulturni-zabelezhitelnosti/>
(Посетен 18.08.2016)
- Европейска конвенция за ландшафта (ратифицирана със закон, приет от XXXIX Народно събрание на 13 октомври 2004 г. - ДВ, бр. 94 от 2004 г. в сила за Република България от 1 март 2005 г.)
<http://mrrb.government.bg/docs/f31e2756a33d95ccddfe4693d3bfd8ac.doc>
- www.kettler-panorama.ch (посетен 12.02.2018)

ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Данни за определяне на стойностите на отклоненията (грешките)
 ΔZ в цифровия модел на релефа на ПП“Врачански Балкан“

№	Тип	Означение	Име	Z(m)-GCP	Z(m)-DSM	$\Delta z(m)$
1	ТТ	57/XXVIII/	57/XXVIII/	1163,69	1161,99	-1,69
2	ТТ	5	БЕРОВ_РЪТ	607,23	605,73	-1,50
3	ТТ	3	БОРИЕВ_КАМЪК	1241,82	1240,54	-1,28
4	ТТ	6	КОЛНИЧКИ_ДЕЛ	448,41	447,25	-1,16
5	ТТ	6	РАВНИЯ_КАМЪК	1326,77	1325,61	-1,16
6	ТТ	11	ВИС_ГЛАВА	1299,27	1298,24	-1,03
7	ТТ	18	БЕЖАНОВ_ДЯЛ	416,45	415,42	-1,03
8	ТТ	51	ХУБАВИЯ_РЪТ	494,89	493,92	-0,97
9	ТТ	2528	СОКОЛЕЦ	1372,88	1371,92	-0,96
10	ТТ	2551	ТОШИНА_МОГИЛА	1133,39	1132,45	-0,94
11	ТТ	24/АТС/	МАЛА_КРЕШ	309,82	308,91	-0,91
12	ТТ	2	КМОЧА	464,25	463,39	-0,86
13	ТТ	8	РЕЗЕРВОАРА	984,14	983,30	-0,84
14	ТТ	3	ЧУБАВИЦА	809,01	808,22	-0,79
15	ТТ	69	ЗАЛОГО	995,10	994,32	-0,78
16	ТТ	26	ГРЕБЕН	888,46	887,68	-0,78
17	ТТ	143	Ю	427,20	426,44	-0,76
18	ТТ	30	УШИТЕ	1277,78	1277,05	-0,73
19	ТТ	48/2/	48/2/	1173,82	1173,10	-0,72
20	ТТ	2556	КРЕЖТА	576,93	576,24	-0,69
21	ТТ	17	ТРЕБЕЖ	631,27	630,58	-0,69
22	ТТ	25	ВЕЖДАТА	846,90	846,22	-0,68
23	ТТ	137	137	710,41	709,78	-0,63
24	ТТ	2880	СВЕТОГОРСКИ_КАМЪК	1057,02	1056,45	-0,57

№	Тип	Означение	Име	Z(m)-GCP	Z(m)-DSM	$\Delta z(m)$
25	ТТ	19024	ГАБРОВА_МОГИЛА	1096,90	1096,35	-0,55
26	ТТ	29/5/	29/5/	658,95	658,44	-0,51
27	ТТ	28	РИТЛИТЕ	373,81	373,30	-0,51
28	ТТ	153	КАПТАЖ_ВРАТЦАТА	449,32	448,81	-0,51
29	ТТ	69	69	519,53	519,07	-0,46
30	ТТ	18210	МЕЧИ_ТЕПЕ	1387,20	1386,74	-0,46
31	ТТ	2	ДЪЛГИ_РИД	538,33	537,93	-0,40
32	ТТ	2881	БАЗОВА_МОГИЛА	1313,63	1313,25	-0,38
33	ТТ	12	ТЕПЕТО	727,26	726,89	-0,37
34	ТТ	50	50	841,48	841,14	-0,34
35	ТТ	9	КУРАТСКИ_ДОЛ	1129,62	1129,30	-0,32
36	ТТ	18189	РАНЕНСКИ_РЪТ	1055,58	1055,27	-0,31
37	ТТ	12	ГОЛАТА_МОГИЛА	992,55	992,25	-0,30
38	ТТ	2882	МАЛКОТО_БРАНИЩЕ	1095,02	1094,73	-0,29
39	ТТ	10	СОКОЛЕЦ	1330,75	1330,46	-0,29
40	ТТ	2549	ЗАМБИНА_МОГИЛА	1208,55	1208,29	-0,26
41	ТТ	14	МОГИЛАТА	571,80	571,58	-0,22
42	ТТ	38/2/	38/2/	912,79	912,59	-0,20
43	ТТ	13	БИВОЛАРСКИ_ВРЪХ	1111,48	1111,31	-0,17
44	ТТ	65	65	906,38	906,25	-0,13
45	ТТ	18145	ЧИЧЕРТА	439,45	439,35	-0,10
46	ТТ	24	ЯВОРЕЦ	1272,93	1272,86	-0,07
47	ТТ	2527	БЕГЛИЧКА_МОГИЛА	1481,44	1481,39	-0,05
48	ТТ	7904	КЪРНОВ_ВРЪХ	978,21	978,21	0,00
49	ТТ	155	ИСКРИ_ВРЪХ	1121,90	1121,91	0,01
50	ТТ	19006	ГЛАВА	1078,87	1078,91	0,04
51	ТТ	18236	СМИЛЬОВИЦА	1387,93	1387,98	0,05

№	Тип	Означение	Име	Z(m)-GCP	Z(m)-DSM	$\Delta z(m)$
52	ТТ	21	21	1137,35	1137,41	0,06
53	ТТ	4	РАВНИЯ_ВРЪХ	631,15	631,25	0,10
54	ТТ	19	ЧУКАТА	452,84	452,97	0,13
55	ТТ	60	БИЛОТО	1115,99	1116,14	0,15
56	ТТ	5	СТАЧАТА	1034,38	1034,53	0,15
57	ТТ	60	СУХАТА_МОГИЛА	1032,85	1033,01	0,16
58	ТТ	54	ЛИЦЕТО	909,20	909,37	0,17
59	ТТ	7791	БАБИНСКА_МОГИЛА	1159,05	1159,22	0,17
60	ТТ	24	КРЪТАНОВА_МОГИЛА	1429,91	1430,09	0,18
61	ТТ	15	УШИТЕ	1368,01	1368,21	0,20
62	ТТ	23	КАЛИЧИНА_БАРА	1364,21	1364,43	0,22
63	ТТ	2546	ДОБРОЛИН	1040,27	1040,54	0,27
64	ТТ	14	КОНЯРНИКА	1125,75	1126,04	0,29
65	ТТ	27	ОСТРАТА_МОГИЛА	1332,21	1332,50	0,29
66	ТТ	19015	ДЕВЕКОВА_МОГИЛА	846,08	846,39	0,31
67	ТТ	14	СКРОДНИ_ДОЛ	773,67	773,99	0,32
68	ТТ	64	64	423,29	423,63	0,34
69	ТТ	61	ДО_ПОЧ	1070,50	1070,84	0,34
70	ТТ	31/6/	КУРИЛО	1215,63	1216,01	0,38
71	ТТ	7923	РАДЕВ_ВРЪХ	873,12	873,50	0,38
72	ТТ	50/4/	ЛИСА_МОГИЛА	1213,62	1214,01	0,39
73	ТТ	56	КАНАРАТА	1085,55	1085,94	0,39
74	ТТ	22	ГЪЗЕРО	1362,30	1362,72	0,42
75	ТТ	25/5/	ВЛАСАТОВА_НИВА	728,00	728,53	0,53
76	ТТ	16	ПОПОВА_НИВА	967,28	967,83	0,55
77	ТТ	13	ПРЪШЕВИЦА	1430,68	1431,24	0,56
78	ТТ	18149	ГАНЧОВ_ВРЪХ	948,74	949,31	0,57

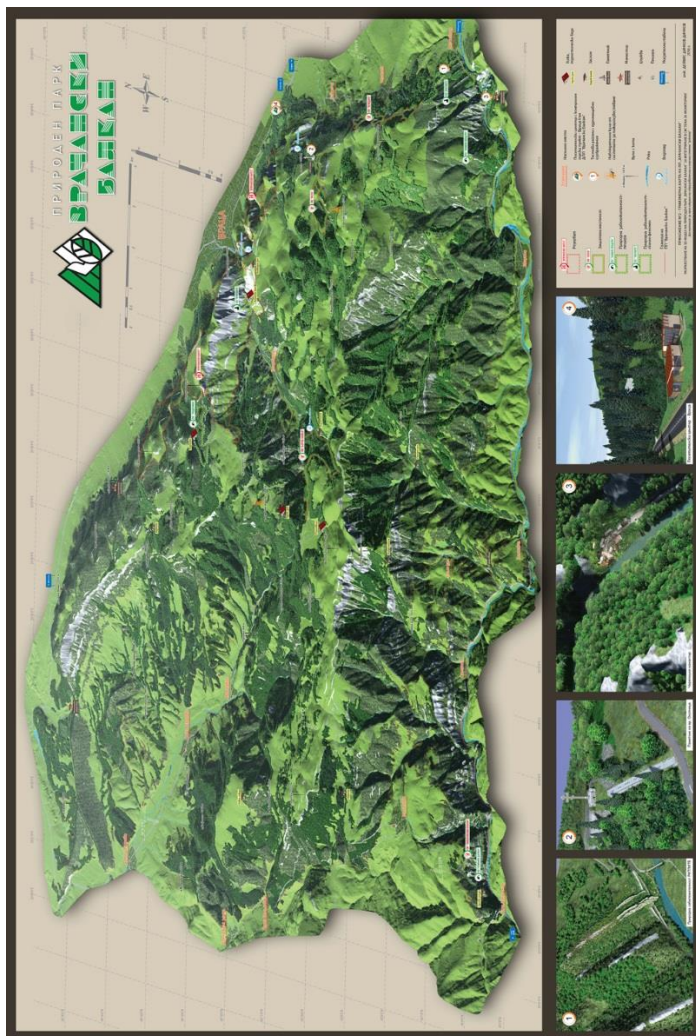
№	Тип	Означение	Име	Z(m)-GCP	Z(m)-DSM	$\Delta z(m)$
79	ТТ	8	НАД_МАЛА_РЕКА	523,79	524,41	0,62
80	ТТ	18180	СРЕДНИ_ДЯЛ	258,20	258,83	0,63
81	ТТ	39	ВЕНЕЦА	959,38	960,03	0,65
82	ТТ	47	47	428,13	428,78	0,65
83	ТТ	53	ГУЦОВА_МОГИЛА	1112,37	1113,06	0,69
84	ТТ	16	КУРАТСКИ_РЪТ	906,57	907,31	0,74
85	ТТ	18219	ВИСОКОТО	1113,81	1114,56	0,75
86	ТТ	51	ГОЛЯМА_ЛОКВА	1126,82	1127,59	0,77
87	ТТ	142	С	857,25	858,08	0,83
88	ТТ	9	ПЕЧИНИ_ДЕЛ	495,60	496,52	0,92
89	ТТ	18231	БИВОЛАРНИКА	1077,80	1078,76	0,96
90	ТТ	27	ЛИСКАТА	584,72	585,72	1,00
91	ТТ	57/22/	57/22/	1113,87	1114,98	1,11
92	ТТ	48	ПЛОЧАТА	448,71	449,90	1,19
93	ТТ	18142	ВЕЛЬОВ_ЧУКАР	707,79	709,14	1,35
94	ТТ	2883	БЕЖАНОВ_ДЯЛ	542,14	543,62	1,48
95	ТТ	48/7/	ДОБРОЛИН	670,12	672,04	1,92
96	GNSS	1002	Леденика	838,05	839,41	1,36
97	GNSS	2001	Околчица	1045,61	1046,46	0,85
98	GNSS	2002	Околчица	1045,66	1046,60	0,94
99	GNSS	2003	Околчица	1052,65	1053,37	0,73
100	GNSS	2004	Околчица	1057,90	1058,72	0,82
101	GNSS	2005	Околчица	1057,76	1058,30	0,54
102	GNSS	2006	Околчица	1056,92	1057,83	0,91
103	GNSS	4001	Ритлите	232,24	231,88	-0,36
104	GNSS	5001	Черепишки манастир	247,60	247,49	-0,11
105	GNSS	5002	Черепишки манастир	248,38	250,10	1,72

№	Тип	Означение	Име	Z(m)-GCP	Z(m)-DSM	$\Delta z(m)$
106	GNSS	5003	Черепишки манастир	245,03	245,94	0,91
107	GNSS	5004	Черепишки манастир	245,03	245,94	0,91
108	GNSS	5006	Черепишки манастир	242,06	242,28	0,22
109	GNSS	5007	Черепишки манастир	242,04	243,97	1,93
110	GNSS	3001	Врачански карст	976,15	975,35	-0,80
111	GNSS	3003	Врачански карст	1002,75	1000,90	-1,84
112	GNSS	3004	Врачански карст	1014,06	1012,64	-1,42

ПРИЛОЖЕНИЕ №2

Триизмерна карта на ПП“Врачански Балкан“

(изработена в размер 90/140 см, отпечатана и в размер 50/70 см.)



БЛАГОДАРНОСТИ

Издавам своята искрена благодарност към :

- моя научен ръководител проф. дгн Румяна Вацева за ценните напътствия, ангажираност и подкрепа при разработката на дисертацията
- Дирекцията на ПП „ Врачански Балкан“ за споделената информация, идеи и перспективи за приложението на реализираната разработка
- екипа на „Геомера“ ЕООД за предоставеният достъп до професионална фотограметрична техника и софтуер, както и за споделения опит от инж. Ивайло Александров
- приятелите за оказаната помощ и подкрепа при теренните изследвания и оформянето на дисертацията

Благодаря на моето прекрасно семейство за безценната помощ, подкрепа и разбирателство !

НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработен е нов и оригинален информационен продукт - комплексен триизмерен (3D) модел на Природен парк „Врачански Балкан“ с различна пространствена резолюция за визуализация на цялата територия на парка и на прецизни пространствени модели на избрани тестови обекти, като иновативно средство за мониторинг на околната среда и триизмерно картографиране.
2. Разработен е и е приложен систематизиран подход за триизмерно моделиране, картографиране и визуализация на природни ландшафти и културно-исторически обекти с използване на дистанционни изследвания с безпилотни летателни системи за получаване на пространствени данни с висока точност. Подбрани са и са приложени съвременни методи и средства за получаване на триизмерни модели от неметрични и непрофесионални камери, които могат да се използват за мониторинг на околната среда и за създаване на 3D панорамни карти.
3. Създадени са ГИС данни за триизмерно моделиране, като са систематизирани и верифицирани налични цифрови данни от плана за управление на Природен парк „Врачански Балкан“ и от допълнителни източници. Създадените геопространствени данни (цифров модел на теренната повърхнина, ортофото карта и ГИС-данни) са интегрирани в автоматизираната система FAEDO (модул Faedo Maps) за пожароизвестяване за територията на парка.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

- Dinkov, D. (2016) "Generation of 3D panoramic map for tourism management applications" - 6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17.June.2016, Albena, Bulgaria.
- Dinkov, D.; Vatsheva, R. (2016) "3D modelling and visualization for landscape simulation" - 6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17.June.2016, Albena, Bulgaria.
- Динков, Д. (2018) 3D моделиране на природни ландшафти с използване на безпилотни летателни системи. Проблеми на географията, кн. 1-2 (приета за печат)