

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,  
smer Geodezija

Kandidatka:

**Maja Mohorović**

# **Metode s področja geodezije za spremljanje in proučevanje divjih živali**

**Diplomska naloga št.: 868**

**Mentor:**  
prof. dr. Bojan Stopar

**Somentor:**  
asist. dr. Dejan Grigillo

Ljubljana, 29. 9. 2011

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

---

**IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **Maja Mohorovič** izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom  
»**Metode s področja geodezije za spremljanje in proučevanje divjih živali**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 09.09.2011

## BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

<b>UDK</b>	528:59(043.2)
<b>Avtor</b>	Maja Mohorovič
<b>Mentor</b>	prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.
<b>Somentor</b>	asist. dr. Dejan Grigillo, univ. dipl. inž. geod.
<b>Naslov</b>	Metode s področja geodezije za spremljanje in proučevanje divjih živali
<b>Obseg in oprema</b>	141 str., 3 pregl., 55 sl., 8 en.
<b>Ključne besede</b>	Radijska telemetrija, satelitska telemetrija, fotogrametrija, daljinsko zaznavanje, (ne)invazivne metode, divje živali, teodolit, GIS

### Izvleček

V današnjem času, ko je obstoj mnogih živalskih vrst zaradi naraščanja prebivalstva, sodobnega načina življenja, sprememb v okolju in nekaterih drugih dejavnikov že resno ogrožen, ima zaščita divjih živali vse večji pomen. Pogoji za uspešno zaščito najrazličnejših živalskih vrst so ustrezni zaščitni ukrepi. Osnova programov za zaščito živali pa so poznavanje migracijskih poti živali, poznavanje njihovega vedenja, habitata, fizioloških značilnosti, prehranjevalnih navad ipd. Vse te podatke je možno pridobiti na različne načine, z različnimi obstoječimi metodami. To diplomsko delo obravnava metode s področja geodezije, ki se ob ustreznem načrtovanju lahko uspešno uporabijo (oziroma se uporabljajo) na področju spremljanja in proučevanja divjih živali. Vse predstavljene metode so glede na lastnosti uvrščene v enega od dveh sklopov – na področje invazivnega ter na področje neinvazivnega spremljanja in proučevanja divjih živali. Predstavljene so značilnosti, prednosti in pomanjkljivosti, natančnost, točnost ter uporabnost različnih metod. Govora je tudi o ustreznem načrtovanju raziskav na tem področju ter o obdelavi in predstavitvi podatkov o živalih, pridobljenih z eno od predstavljenih metod.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC</b>	528:59(043.2)
<b>Autor</b>	Maja Mohorović
<b>Supervisor</b>	Prof. Bojan Stopar, Ph. D.
<b>Co-Supervisor</b>	Assist. Dejan Grigillo, Ph. D.
<b>Title</b>	Methods in the field of geodesy for tracking and studying wild animals
<b>Notes</b>	141 p., 3 tab., 55 fig., 8 eq.
<b>Key Words</b>	Radio telemetry, satellite telemetry, photogrammetry, remote sensing, (non)invasive methods, wild animals, theodolite, GIS

**Abstract**

In present days, the existence of many animal species is seriously endangered due to population growth of human beings, modern lifestyle, changes in the environment and some other facts. Hence the protection of wild animals is of great importance. Prerequisite for effective protection of various animal species are appropriate animal protection programs. The basis for these programs are knowledge about migration paths of studied animals, their behaviour, feeding habits, physiological characteristics, habitat structure etc. All these information can be obtained in various ways, by using various existing methods. This graduation thesis deals with methods in the field of geodesy which are appropriate for monitoring and studying wild animals. All methods included in this thesis are classified in one of two sets due to their characteristics – to the scope of invasive and to the scope of noninvasive tracking and studying of wild animals. Characteristics, advantages and disadvantages, precision, accuracy and usefulness of all these different methods are presented. Appropriate planning of research, processing, analysing and presentation of informations about studied animals obtained by one of the presented methods is also considered.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Bojanu Stoparju ter somentorju asist. dr. Dejanu Grigillu za usmerjanje, spodbudo, predloge in vso ostalo pomoč pri izdelavi te diplomske naloge. Zahvaljujem se še prof. dr. Ivanu Kosu z Biotehniške fakultete (Oddelek za biologijo), da mi je pojasnil nekaj meni neznanih pojmov z zame novega področja in mi nekoliko pobliže predstavil njihovo delo. Hvala tudi Ani Hace s slovenskega društva za raziskovanje in zaščito morskih sesalcev Morigenos za kar nekaj koristnih informacij in za posredovano literaturo. Zahvaljujem se tudi Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, preko katere sem bila v preteklih dveh letih včlanjena v RIN (Royal Institute of Navigation) združenje, od koder sem pridobila precej uporabne in aktualne (tuje) literature s področja, ki ga zajema to diplomsko delo.

Iskrena hvala staršema, sestri, trenerju, prijateljem, študijskim kolegom in vsem ostalim, ki so mi vedno stali ob strani in me podpirali na moji poti.

**KAZALO VSEBINE**

<b>STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA .....</b>	<b>II</b>
<b>IZJAVA O AVTORSTVU.....</b>	<b>IV</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM .....</b>	<b>V</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....</b>	<b>VI</b>
<b>ZAHVALA.....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO VSEBINE.....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC.....</b>	<b>XII</b>
<b>KAZALO SLIK.....</b>	<b>XIII</b>
<b>OKRAJŠAVE IN SIMBOLI .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Namen in cilji .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Uvodna terminološka pojasnila .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INVAZIVNE METODE S PODROČJA GEODEZIJE ZA SPREMLJANJE IN PROUČEVANJE ŽIVALI.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Satelitska telemetrija .....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Zgodovina .....	10
2.1.2 Značilnosti in princip delovanja .....	11
2.1.2.1 Argos.....	11
2.1.2.1.1 Sestava in delovanje sistema Argos.....	11
2.1.2.1.2 Zgradba oddajnika PTT ( <i>ang. Platform Transmitter Terminal</i> ).....	17
2.1.2.1.3 Sledenje živalim – lociranje živali.....	17

2.1.2.1.4	Ocena točnosti in natančnosti.....	24
2.1.2.1.5	Razvoj sistema Argos.....	27
2.1.2.2	GPS.....	31
2.1.2.2.1	Osnovne informacije .....	31
2.1.2.2.2	Omejitve in problemi .....	38
2.1.2.2.3	Uporabnost in prednosti .....	40
2.1.2.3	Primerjava sistemov GPS in Argos .....	44
2.1.3	Tehnološke in oblikovne rešitve za spremljanje različnih vrst živali .....	46
2.1.4	Prednosti in slabosti satelitske telemetrije .....	49
2.1.5	Natančnost in točnost satelitske telemetrije .....	51
2.1.6	Uporabnost in primeri uporabe satelitske telemetrije .....	52
<b>2.2</b>	<b>Radijska telemetrija.....</b>	<b>59</b>
2.2.1	Zgodovina radijske telemetrije.....	59
2.2.2	Značilnosti in princip delovanja radijske telemetrije .....	61
2.2.3	Natančnost in točnost radijske telemetrije .....	66
2.2.4	Tehnološke rešitve za spremljanje različnih vrst živali .....	68
2.2.5	Prednosti in omejitve radijske telemetrije.....	68
2.2.6	Uporabnost in primeri uporabe radijske telemetrije.....	70
<b>2.3</b>	<b>Načrtovanje telemetričnih raziskav.....</b>	<b>72</b>
<b>2.4</b>	<b>Fotogrametrične metode.....</b>	<b>80</b>
<b>2.5</b>	<b>Povezovanje invazivnih metod in uporaba pridobljenih podatkov s temi metodami na drugih področjih .....</b>	<b>89</b>
<b>2.6</b>	<b>Obdelava in analiziranje pridobljenih podatkov .....</b>	<b>90</b>
<b>2.7</b>	<b>Grafična predstavitev podatkov .....</b>	<b>91</b>



<b>2.8</b>	<b>Geografski informacijski sistemi pri spremljanju in proučevanju divjih živali</b>	<b>92</b>
<b>3</b>	<b>NEINVAZIVNE METODE S PODROČJA GEODEZIJE ZA SPREMLJANJE IN PROUČEVANJE ŽIVALI .....</b>	<b>95</b>
<b>3.1</b>	<b>Metode daljinskega zaznavanja.....</b>	<b>96</b>
3.1.1	Radarji.....	96
3.1.2	Lidar.....	100
3.1.3	Infra rdeče (IR) kamere in toplotni posnetki .....	104
<b>3.2</b>	<b>Fotogrametrične metode .....</b>	<b>105</b>
3.2.1	Dokumentiranje živali, njihovih sledi, bivališč,... s fotoaparati in kamerami .....	105
3.2.2	3D sledenje živalim z večslikovno fotogrametrijo .....	110
3.2.3	Bližnjefotogrametrija .....	111
3.2.4	Aerofotogrametrija .....	114
<b>3.3</b>	<b>GPS.....</b>	<b>114</b>
<b>3.4</b>	<b>Teodoliti.....</b>	<b>115</b>
3.4.1	Osnovni princip .....	115
3.4.2	Določitev višine teodolita nad morskogladino .....	116
3.4.3	Točnost in natančnost položajev (x, y) spremljanih živali .....	119
3.4.4	Uporabnost in primeri uporabe .....	120
<b>3.5</b>	<b>Načrtovanje neinvazivne raziskave.....</b>	<b>124</b>
<b>3.6</b>	<b>Povezovanje neinvazivnih metod.....</b>	<b>124</b>
<b>3.7</b>	<b>Obdelava in analiziranje podatkov (meritev) ter analiza in predstavitev rezultatov .....</b>	<b>125</b>

<b>4</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>126</b>
<b>5</b>	<b>VIRI.....</b>	<b>128</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Primerjava metode najmanjših kvadratov s Kalmanovim filtrom (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 15).	22
Preglednica 2: Klasifikacija lokacij v razrede (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 14).	24
Preglednica 3: Tabela nekaterih proizvajalcev opreme za sledenje živalim in njihovo proučevanje.	48

## KAZALO SLIK

Slika 1: Odnosi med natančnostjo in točnostjo (Pfuhl et al., 2010, str. 3).	8
Slika 2: Princip delovanja sistema Argos (Wake Forest University, Albatross Project, 1997).	12
Slika 3: Shematski prikaz satelita s skoraj polarno sončno sinhrono tirnico (Fancy et al., 1988, str. 10).	13
Slika 4: Vidno polje satelita Argos (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 4).	14
Slika 5: Prikaz tirnice satelita Tiros-N v Mercatorjevi projekciji (Fancy et al., 1988, str. 11).	14
Slika 6: Prekrivanje sosednjih pasov (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 4).	15
Slika 7: Argos sprejemne postaje (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 5).	16
Slika 8: Dopplerjev pojav (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 9).	19
Slika 9: Geometrijski princip določitve lokacije oddajnika (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 10).	20
Slika 10: Izračun položaja s Kalmanovim filtrom (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 11).	21
Slika 11: GPS pozicioniranje preko sistema Argos (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 11).	23
Slika 12: Parametri elipse pogreškov.	25
Slika 13: Elipsa pogreškov (Argos Flash, oktober 2008, str. 1).	26
Slika 14: Dvosmerna komunikacija med sateliti in oddajniki (Childress, M., Demmou, M.C., 2006, str. 4).	28
Slika 15: Minimiziranje oddajnikov/sprejemnikov je omogočilo spremljanje tudi najmanjših živalskih vrst (Ropert-Couder, Wilson, 2005, str. 441).	29
Slika 16: Kombiniranje več sistemov omogoča pridobivanje širše palete podatkov hkrati (Ropert-Coudert, Wilson, 2005, str. 440).	34
Slika 17: Prenos zabeleženih podatkov z GPS enote na živali preko lokalne komunikacijske povezave (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 105).	36
Slika 18: Prenos podatkov z GPS enote na živali preko GSM (Hünerbein, Rüter, 2001, str. 100).	37
Slika 19: Spremljanje vodnih živali z bojami, na katere so nameščeni GPS sprejemniki (Riding et al., 2009, str. 255).	43

Slika 20: Različne tehnološke in oblikovne rešitve za spremljanje najrazličnejših vrst živali (Priede, Swift, 1992, str. 136-144, 188).	47
Slika 21: Morski lev z Argos-GPS označbo, prilagojeno za meritve temperature želodca (Argos Forum, 10/2009).	54
Slika 22: Opremljanje želve s PTT oddajnikom s pomočjo neoprena z namenom ugotavljanja migracijskih poti in rasti želve (Seney et al., 2010, str. 63).	54
Slika 23: Argos satelitski oddajnik (model SPLASH in SPOT3) na belugi (Shpak et al., 2010, str.58).	54
Slika 24: Uporaba satelitske telemetrije za spremljanje modroplavutega tuna (Argos Forum, 06/2008).	55
Slika 25: Ocenjena trajektorija vodne živali (CLS, 2009, str. 3).	56
Slika 26: Oddajnik s senzorji na morski levinji in pridobljeni surovi podatki (profili) (Argos Forum, 10/2004, str. 8 in 11).	57
Slika 27: Spremljanje aktivnosti race (Priede, Swift, 1992, str. 603).	63
Slika 28: Hiperbolični telemetrični sistem s tremi sprejemnimi postajami (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 115).	65
Slika 29: Vodni hiperbolični telemetrični sistem s štirimi sprejemnimi postajami (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 116).	65
Slika 30: Slikovna ravnina in slikovni koordinatni sistem.	81
Slika 31: Orientacija stereopara posnetkov in določitev prostorskih koordinat opazovanega objekta s centralno projekcijo (osnova skice je privzeta iz: Bräger, Chong, 1999, str.503).	83
Slika 32: Uporaba treh kamer pri proučevanju oblike in gibanja kuščarjevega repa, 3D žični model repa in izsek iz 3D animacije premikanja repa (New, Peters, 2010, str. 329, 331 in 335).	84
Slika 33: Fotografije morskega leva, oblepljenega z označevalnimi trakovi ter fotografije morskega leva v sedečem položaju in žična 3D modela, ustvarjena iz teh fotografij (Waite, 2000, str. 11 in 20).	85
Slika 34: Primer testnega polja za kalibracijo fotoaparata (Waite, 2000, str. 16).	86
Slika 35: Prikaz položajev fotoaparata med fotografiranjem morskega leva (Waite, 2000, str. 10)	87

- Slika 36: Veliki kormoran z digitalno kamero na hrbtu (Ropert-Couder, Wilson, 2005, str. 441). 89
- Slika 37: Splošni model možne podatkovne baze na področju proučevanja (divjih) živali (Urbano et al., 2010, str. 2182). 94
- Slika 38: Modri odtenki na radarski sliki (desno) predstavljajo jate netopirjev, ki zapuščajo svoje votline (Pennisi, 2011, str. 998). 98
- Slika 39: Prikaz radarskega zaslona/slike, vključno s položaji ptic, ki so bile opremljene s PTT-GPS (puščice in zeleni kvadratici) (Beason et al., 2010, str. 157). 100
- Slika 40: Osnovni princip delovanja sistema Lidar (Univerza v Novi Gorici, <http://www.ung.si/si/raziskave/raziskave-atmosfere/otlica/lidar-otlica/>). 102
- Slika 41: Mobilni sistem Lidar (Lund University, [http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied\\_molecular\\_spectroscopy\\_and\\_remote\\_sensing/research\\_overview/fluorescence\\_lidar/](http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied_molecular_spectroscopy_and_remote_sensing/research_overview/fluorescence_lidar/)). 102
- Slika 42: Klasifikacija ptic z Lund fluorescenčnim mobilnim sistemom Lidar (Brydegaard, 2010, str. 4536). 103
- Slika 43: 3D podoba višin drevesnih krošenj v Patuxent National Wildlife Refuge (vir: Biology-Blog.com). 104
- Slika 44: IR podoba morskega leva na skali – rdeči odtenki predstavljajo tople, modri pa hladne predele. 105
- Slika 45: Levo – terestrično sledenje, desno – sledenje iz zraka (Long et al., 2008, str. 49). 106
- Slika 46: Levo – detajlne sledi v blatu z okroglim objektom znanih dimenzij (za potrebe definicije merila), v sredini – sledi in iztrebek na snegu, desno – dokumentiran (fotografiran) iztrebek kojota s podanim merilom (Long et al., 2008, str. 49). 106
- Slika 47: Različne kombinacije postavitve fotoaparata (in v nekaterih primerih vabe) ter senzorja z namenom dokumentiranja (t.j. fotografiranja) proučevane živali (Long et al., 2008, str. 115, 116, 119, 122, 124, 125). 107
- Slika 48: Shema zgoraj predstavljenega sistema za sledenje živalim v letu. Levo a) shematični prikaz sistema z več fotoaparati in b) 3D trajektorija poti, desno presek žarkov z dveh fotoaparatom v prostoru in izračunani položaji (Straw, 2010, str. 396 in 397). 110
- Slika 49: Raziskovalno plovilo, opremljeno za fotogrametrične meritve delfinov (Bräger, Chong, 1999, str. 507). 112

- 
- Slika 50: Testiranje sistema na kopnem (levo) in na vodni gladini (desno) (Bräger, Chong, 1999, str. 510). 112
- Slika 51: Stereopar dveh posnetkov delfina in kontrolnega okvirja (Bräger, Chong, 1999, str. 513). 113
- Slika 52: Fotoaparatus na trupu helikopterja in z njo posneta fotografija (<http://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=PRD&ParentMenuId=211&id=1230>). 114
- Slika 53: Shematični prikaz določitve višine teodolita nad vodno gladino. a) Tlorisni pogled in b) stranski pogled (privzeto iz Würsig et al., 1991, str. 84 in prirejeno po Bailey, Lusseau, 2004, str. 881). 117
- Slika 54: Spremljanje delfinov z video kamero (Hastie et al., 2003, str. 471). 123
- Slika 55: Karta položajev delfinov na vodni gladini (Hastie et al., 2003, str. 475). 123

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

<b>ARGOS</b>	Globalni satelitski sistem, v osnovi razvit predvsem za spremljanje podatkov o okolju in za določevanje geografskih lokacij po vsem svetu.
<b>AT</b>	Aerotriangulacija
<b>C/A</b>	Code/Acquisition koda (za namerno motenje signalov)
<b>CLS</b>	Collecte Localisation Satellites
<b>CNES</b>	Centre National d'Etudes Spatiales, ang. French Space Agency, sl. francoska vesoljska agencija
<b>COMPASS</b>	Kitajski globalni satelitski navigacijski sistem, tudi Beidou-2
<b>DBMS</b>	Data Base Management System, sl. sistem za upravljanje podatkovnih zbirk
<b>DGPS</b>	Diferencialni GPS
<b>DMR</b>	Digitalni model reliefa
<b>EMV</b>	Elektromagnetno valovanje
<b>EUMESAT</b>	European Organization of the Exploitation of Meteorological Satellites
<b>FC</b>	Fiducial center, sl. izhodiščna točka
<b>GALILEO</b>	Evropski globalni satelitski navigacijski sistem
<b>GDOP</b>	Geometric Dillution of Precision
<b>GEOS</b>	Program za obdelavo podatkov
<b>GEOSS</b>	Global Earth Observation System of Systems
<b>GIS</b>	Geographic Information System, sl. geografski informacijski sistem
<b>GLOBALSTAR</b>	Sistem satelitov z nizkimi orbitami (LEO), namenjen satelitski komunikaciji in telefoniji
<b>GLONASS</b>	Ruski globalni satelitski navigacijski sistem
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System, sl. globalni navigacijski satelitski sistem
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service, spada k GSM standardu
<b>GPS</b>	Global Positioning System, sl. globalni sistem za pozicioniranje
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communication, sl. globalni mobilni komunikacijski sistem
<b>GT</b>	Glavna točka



---

<b>ID</b>	Identifikacijska številka
<b>INMARSAT</b>	Britansko satelitsko telekomunikacijsko podjetje
<b>INS</b>	Inertial Navigation System, sl. inercialni navigacijski sistem
<b>IR</b>	Infra rdeče
<b>IRIDIUM</b>	Satelitski sistem namenjen komunikaciji prek satelitov in telefoniji
<b>ISRO</b>	Indian Space Research Organization, sl. indijska organizacija za raziskovanje vesolja
<b>LandsatETM</b>	Landsat Enhanced Thematic Mapper
<b>LEO</b>	Low Earth Orbit
<b>LIDAR</b>	Light Detection And Ranging (sl. zaznavanje svetlobe in merjenje razdalj) oz. Laser Imaging Detection And Ranging (sl. lasersko zaznavanje in merjenje razdalj)
<b>L1, L2, L3, L4, L5</b>	frekvence prenosa
<b>MODIS</b>	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OT</b>	Oslonilna točka
<b>P koda</b>	Precise code, sl. precizna koda
<b>PC</b>	Projekcijski center
<b>PMT</b>	Platform Message Transceiver
<b>POAS</b>	Polar Orbiting Environmental Satellites, sl. okoljski sateliti s polarno orbito
<b>PPP</b>	Precise Point Positioning, sl. precizno določanje položaja
<b>PTT</b>	Platform Transmitter Terminal
<b>QuickBird</b>	Visokoločljivostni komercialni satelit za opazovanje Zemlje
<b>RADAR</b>	Radio Detection And Ranging
<b>RMS</b>	Root Mean Square
<b>SARAL</b>	Satellite with ARGOS and ALTIKA (produkt sodelovanja med CNES in ISRO)
<b>SLiDAP</b>	Satellite-Linked Data Acquisition and Positioning
<b>SMS</b>	Short Message Service, sl. sistem kratkih sporočil; kratka sporočila na mobilnih telefonih in računalnikih

<b>SPOT</b>	Visokoločljivostni optični satelit za opazovanje Zemlje
<b>SQL</b>	Structured Query Language, sl. strukturirani jezik za povpraševanje
<b>STAT</b>	Satellite Tracking and Analysis Tool, eden od programov oziroma orodij za analiziranje podatkov in njihovo povezovanje z okoljskimi podatki
<b>SURVIV</b>	White-ov računalniški program za konstruiranje modelov preživetja ipd.
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency, sl. ultra visoka frekvenca
<b>USGS TOPO30</b>	US Geological Survey National Mapping Division, Digital Elevation Model
<b>UTC</b>	Coordinated Universal Time, sl. univerzalni koordinatni čas
<b>UV</b>	Ultra vijolično
<b>VHF</b>	Very High Frequency, sl. zelo visoka frekvenca
<b>VRS</b>	Virtual Reference Stations, sl. navidezna referenčna postaja
<b>WGS84</b>	World Geodetic System dated from 1984, sl. svetovni geodetski sistem oziroma geocentrični geodetski datum (navezuje se na referenčni elipsoid WGS84) iz leta 1984, je osnova GPS opazovanj
<b>ZDA</b>	Združene države Amerike
<b>2D</b>	Dvodimenzionalno, dvorazsežno
<b>3D</b>	Tridimenzionalno, trirazsežno



## 1 UVOD

*"Wilderness without animals  
is dead. Animals without  
wilderness are a closed  
book."*

(Lois Crisler, citirano iz: Grambo, 2005, str. 159)

Človeštvo je že od pradavnine povezano z živalmi. Sprva je bil človek sicer le nabiralec, kmalu pa je postal tudi lovec. Lovstvo je bilo nekdanj za človekovo preživetje nujno. Mnoga starodavna ljudstva so lovila najrazličnejše vrste živali in si na tak način zagotovila hrano, obleko, razne pripomočke za vsakdanje življenje itd. Sčasoma je človek spoznal, da bi mu lahko žival poleg hrane in obleke nudila tudi pomoč pri vsakdanjih opravilih in mu delala družbo. Tako so ljudje že davno pred našim štetjem (približno 10 tisoč let pred našim štetjem) začeli udomačevati različne živali, nekatere prej, druge šele kasneje.

Ljudje smo dolgo sobivali v sožitju z naravo in živalmi. Moderna družba pa je to sožitje začela postavljati na glavo. Začeli so se dogajati množični poboji živali, ne iz potrebe, ampak iz užitka, zaradi zaslužka in zagotavljanja udobja. Nekatere vrste živali so za človeka postale grožnja, saj npr. uničujejo pridelek, pobijajo drobnico. Pogosto pa se pozablja, da je vendarle človek tisti, ki brez zadržkov in neprestano vdira v življenjski prostor drugih živih bitij in tako uničuje naravno ravnovesje. Kakšno je stanje dandanes, vemo vsi. Zaradi takšnega in drugačnega onesnaževanja, krčenja gozdov, množičnih pobojev (tudi ogroženih in zaščitenež živalskih vrst) ter ostalih negativnih posegov človeka v naravo je mnogo živalskih vrst že izumrlo. Mnogo pa jih je žal na dobri poti, da še bodo. Po nekaterih ocenah dandanes živalske vrste izumirajo tisočkrat hitreje kot kadarkoli v preteklosti. Napovedi o usodi cele množice različnih vrst živali in o usodi sveta nasploh niso nič kaj obetavne.

Od nas je odvisno, kakšen svet bomo zapustili prihodnjim rodovom. Skrajni čas je, da začnemo stvari obračati na bolje. Ogrožene živalske vrste (seveda tudi rastlinske, a to ni tema

te naloge) moramo ustrezno in učinkovito zaščititi, za ostale, ki še niso ogrožene, pa poskrbeti, da do tega niti ne bo prišlo. Da pa lahko **živali ustrezno zaščitimo** in živimo v sožitju z njimi, jih moramo **dodobra spoznati**. Po možnosti na tak način, da jih ob tem kar se da malo motimo.

Nekatere metode spremljanja in proučevanja divjih živali se prepletajo tudi z **geodezijo** in v kombinaciji z drugimi obstoječimi metodami jih lahko uspešno vključimo v različne **raziskave o divjih živalih**. Ker geodetska stroka obsega mnogo področij, je to lahko lepa priložnost, da se nekoliko oddaljimo od klasičnih in najpogostejših geodetskih nalog in geodezijo na neposreden ali posreden način vključimo na področje spoznavanja ter varstva narave in divjih živali.

### **1.1 Namen in cilji**

Glavni cilj diplomske naloge je ugotoviti in prikazati, katere metode s področja geodezije lahko uspešno vključimo v raziskovanje divjih živali in kako. Tekom naloge bom ugotovila in proučila še lastnosti, koristnost, uporabnost, natančnost, točnost, prednosti ter slabosti teh metod za namene spremljanja in proučevanja divjih živali.

Vse metode s področja geodezije, s katerimi si lahko pomagamo pri spremljanju in proučevanju divjih živali, bom razdelila v dve večji skupini. V prvem delu diplomske naloge bom predstavila invazivne, v nadaljevanju pa še neinvazivne metode.

## 1.2 Uvodna terminološka pojasnila

Preden preidem na konkretno obravnavo vsebine diplomske naloge, želim pojasniti nekaj osnovnih pojmov, ki bodo večkrat uporabljeni v sklopu naloge.

Termina **invazivno** (*ang. invasive*) in **neinvazivno** (*ang. noninvasive*) se pogosto uporabljata predvsem v medicini. V slovarju medicinskih izrazov je invaziven postopek opredeljen kot postopek, pri katerem uporablja zdravnik za ugotovitev narave bolezni igle, skalpel ali kateter. Oba termina pa sta se uveljavila in sta že običajna tudi na področju raziskav o prostoživečih živalih. Govorimo o invazivnih in neinvazivnih raziskovalnih metodah (Slovar medicinskih izrazov; Long et al., 2008).

**Invazivne metode** so v nasprotju z neinvazivnimi tiste metode, ki od raziskovalca zahtevajo, da pride v fizični kontakt z raziskovano živaljo. Kljub temu pa imajo tudi invazivne metode v mnogih primerih pomembno vlogo pri raziskavah o živalih. Če izključimo odlov živali in nameščanje oddajnikov nanjo, lahko radijsko in GPS (*ang. Global Positioning System*) telemetrijo, ki sta najznačilnejša primera invazivnih metod, obravnavamo kot neinvazivni metodi. Raziskave živali, pri katerih se uporablja telemetrija, so sicer drage, hkrati pa ima telemetrija kljub prednostim in napredku na področju neinvazivnih metod velik pomen. Omogoča pridobitev položaja živali, spremljanje živali tudi na velikih razdaljah (habitati nekaterih živali so zelo veliki) in številčno oceno populacije. Pomembna je tudi pri ugotavljanju smrtnosti in vzrokov zanjo ter za ugotovitve o izrabi habitata (Long et al., 2008). Invazivne metode so običajno za živali bolj stresne kot neinvazivne.

**Neinvazivne metode** so metode, pri katerih raziskovalec ne pride v neposredni fizični stik z živaljo. Namesto termina neinvazivna metoda se lahko uporabita tudi termina nevsiljiva (*ang. nonintrusive*) oz. daljinska (*ang. remote*) raziskovalna metoda, pri čemer pa daljinskih raziskovalnih metod ne smemo mešati z daljinskim zaznavanjem (*ang. Remote sensing*) in ostalimi podobnimi tehnologijami. Čeprav se namesto termina neinvazivno uporablja tudi termin nevsiljivo, pa neinvazivne metode niso vedno hkrati tudi nevsiljive. Čeprav med raziskovalcem in živaljo ne pride do fizičnega kontakta, so živali lahko kljub temu vznemirjene in prestrašene. Vznemirja jih lahko že sama navzočnost raziskovalcev in

raziskovalne opreme (npr. bliskavica na fotoaparatu), ki pa mora biti vedno pravilno nameščena, da ob nepredvidenem obnašanju in reakcijah živali ne pride do poškodb. Z neinvazivnimi metodami lahko pridobimo visoko kakovostne podatke, prek katerih se nato lahko oceni npr. spol, številčnost populacije in poseljenost določenega območja. Med neinvazivne metode spadajo npr. zbiranje in proučevanje dlak ter iztrebkov živali, proučevanje ostalih sledi (npr. odtisov tac in kopit ter različni sledovi na skorji debel dreves), ki jih živali pustijo za seboj in brlogov, iskanje sledi s psi sledniki, opazovanje živali s pravilno nameščenimi daljinskimi kamerami, genetske in endokrine preiskave (Long et al., 2008). Uporaba omenjenih neinvazivnih metod je v primerjavi z ostalimi metodami spremljanja in proučevanja živali relativno poceni. Še posebej so neinvazivne metode uporabne na področju proučevanja živali, ki jih človek zaradi njihove plašnosti ali pa ogromnega življenjskega območja običajno s svojimi očmi ne more videti. V primerjavi z večino invazivnih metod, ki sicer omogočajo pridobitev visoko ločljivih podatkov, a običajno le za nekaj osebkov, je prednost večine neinvazivnih metod spremljanje in proučevanje celotnih živalskih populacij tudi na velikih območjih.

**Telemetrija** (*ang. telemetry*) je pojem grškega izvora. Sestoji iz dveh besed grškega jezika – *tele* in *metron*. *Tele* pomeni oddaljeno, *metron* pa meriti. V splošnem torej telemetrija pomeni daljinske meritve. V sklopu diplomske naloge pa bom ta pojem obravnavala tako, kot je definiran v knjigi *Radio Tracking and Animal Populations* (Millspaugh, Marzluff, 2001). "Termin telemetrija ali biotelemetrija se v širšem biološkem pomenu nanaša na določanje statusa živali na daljavo, kar lahko vključuje spremljanje trenutne stopnje aktivnosti posamezne živali, nekatere fiziološke meritve (npr. telesna temperatura, srčni utrip itd.) in lokacijo. (Bio)telemetrija se tako uporablja za spremljanje stanja posamezne živali v okviru kmetijskih, fizioloških in medicinskih raziskav. V sklopu teh raziskav so meritve običajno izvedene iz manjših oddaljenosti, katere običajno ne presegajo nekaj sto metrov. Na drugi strani pa ekologi, biologi na terenu in raziskovalci divjine v splošnem telemetrijo uporabljajo za oceno množice geografskih lokacij posameznih živali, pri čemer se meritve izvajajo iz oddaljenosti nekaj sto metrov in več" (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 79). Iz zgornje definicije izhajata tudi izraza satelitska telemetrija ter radiotelemetrija oz. radijska telemetrija. **Satelitska telemetrija** je telemetrija, ki deluje v povezavi s satelitskimi sistemi (npr. GPS, GLONASS, ARGOS). Na žival se v sklopu satelitske telemetrije namesti sprejemnik/oddajnik

satelitskih signalov. V napravi, ki je nameščena na žival (npr. GPS ovratnica), so lahko tudi senzorji za zaznavanje zunanje temperature, aktivnosti živali ipd. Za pridobitev še več informacij o živalih in njihovem okolju si lahko pomagamo še z drugimi daljinskimi metodami - z radarsko altimetrijo, z meritvami vetra preko mikrovalovnega radarskega senzorja na satelitu, z anemometri (merilci vetra) na bojah ipd. **Radijska telemetrija** (*ang. radio telemetry*) je telemetrija, katere osnova so radijski signali (naprava, nameščena na živali, oddaja radijske signale). Z radijsko telemetrijo lahko preko radijskih signalov lociramo žival, posebni senzorji v na živali pritrjeni napravi pa omogočajo tudi pridobivanje informacij o fiziologiji ali vedênju posamezne živali. V primerih, ko omenjeni senzorji niso uporabljeni in je glavni namen lociranje živali, mnogi raziskovalci raje uporabljajo izraz **radijsko sledenje** (*ang. radio-track*) (Millsaugh, Marzluff, 2001, str. 79). Tekom diplomske naloge bom tudi za primere, kjer je glavni cilj lociranje živali, uporabljala izraz telemetrija oz. radijska telemetrija.

Pred pojavom telemetrije, torej pred 50 in več leti, so raziskovalci živali opazovali neposredno na terenu. Na lastne oči so videli, kako se proučevane živali obnašajo in na kakšen način so povezane s svojim habitatom. Ugotovitve so sproti pridno beležili. S pojavom telemetrije, ki je omogočila spremljanje živali na daljavo, je neposredno opazovanje živali močno upadlo. Telemetrija sicer ponuja številne možnosti pri spremljanju in proučevanju živali, vendar pa se je včasih bolj smiselno odpraviti na teren in žival opazovati neposredno (Hebblewhite, Haydon, 2010; Cagnacci et al., 2010). Neposredno opazovanje živali na terenu omogoča natančno določitev lokacij živali (za kar pa je potrebno na terenu in kasneje v pisarni opraviti ogromno dela) in spremljanje obnašanja živali. Vpliv direktnega opazovanja živali oz. direktnega sledenja živali(m) na vedênje živali (in s tem na rezultate raziskave) je sicer lahko precejšen (bližina človeka in njegove raziskovalne opreme moti žival ipd.), vendar pa je kljub temu terensko delo tudi dandanes, v času visoke tehnološke razvitosti, lahko izrednega pomena. Kot pravita Hebblewhite in Haydon (2010) ter avtorja knjige *Radio Tracking and Animal Populations* (Millsaugh, Marzluff, 2001), nas današnje relativno enostavno pridobivanje podatkov o živalih na daljavo – torej s telemetrijo – ne sme preveč prevzeti. Da lahko zares razumemo, zakaj živali počnejo to, kar pač počnejo in tako v končni fazi pridemo do pravih rezultatov, se je treba kdaj pa kdaj odpraviti tudi na teren in ne le slepo zaupati (sicer visoko razviti) tehnologiji.



**Sledenje živalim** (*ang. animal tracking*) pomeni spremljanje, prikazovanje in evidentiranje zaporednih položajev živali v prostoru (Cagnacci et al., 2010).

**Daljinsko zaznavanje** se uporablja na različnih področjih, zaradi česar obstaja več definicij daljinskega zaznavanja. Najpogosteje se daljinsko zaznavanje uporablja v sklopu opazovanja Zemlje. Informacije o površju Zemlje pridobimo brez neposrednega stika z njo – iz aero posnetkov ali satelitskih posnetkov. Zaznavamo in zapisujemo odbito/sevano elektromagnetno valovanje. Odbito oz. sevano elektromagnetno valovanje obdelamo in analiziramo ter ga uporabimo v najrazličnejših aplikacijah. Med drugim lahko daljinsko zaznavanje uporabimo tudi v sklopu proučevanja živali. Kako ga lahko vključimo na to področje, bom opredelila v drugem delu te diplomske naloge, v sklopu neinvazivnih metod.

Izraz **fotogrametrija** izhaja iz treh grških besed: *photos* (svetloba), *gramma* (zabeležiti, zapisati) in *metron* (meriti). Meritve se v fotogrametriji izvajajo na posnetkih (digitalnih in analognih). Merske podatke kot so npr. koordinate in oblike torej pridobimo iz posnetkov. Običajen postopek je pri uporabi fotogrametričnih metod sledeč: beleženju podatkov s fotografiranjem ali snemanjem sledi orientacija posnetkov, temu sledi merjenje (iz medija), analiziranje meritev in predstavitev rezultatov. V splošnem sta daljinsko zaznavanje in fotogrametrija vedi, pri katerih se za pridobivanje zanesljivih informacij uporabljajo brezkontaktna metode. Iz tega lahko sklepamo, da je fotogrametrija v splošnem neinvazivna metoda, v povezavi s proučevanjem divjih živali pa temu ni vedno tako. V sklopu nekaterih fotogrametričnih metod, ki jih lahko uporabimo na področju proučevanja živali pač ni mogoče zagotoviti, da raziskovalec za potrebe raziskave ne pride v fizični stik z živaljo.

**UHF** (*ang. Ultra High Frequency*) je ultra visoka radijska frekvenca z valovno dolžino med enim metrom in desetimi centimetri (Priede, Swift, 1992).

**VHF** (*ang. Very High Frequency*) je radijska frekvenca z valovno dolžino med enim metrom in desetimi metri (Priede, Swift, 1992).

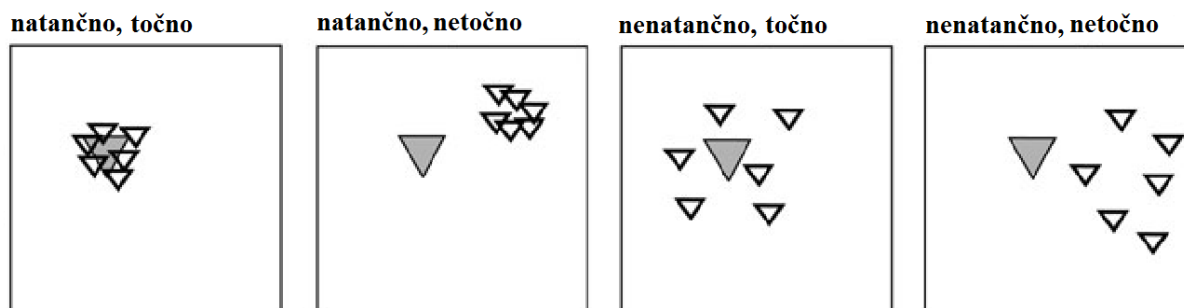
**Geolociranje na osnovi svetlobnih signalov** (*ang. light-based geolocation*) se običajno uporablja za lociranje vodnih živali, uporabno pa je tudi za spremljanje kopenskih živali in

ptic, ki jih z drugimi metodami ni možno spremljati ali pa je njihovo spremljanje z drugimi (natančnejšimi – na primer prek GPS) obstoječimi metodami predrago. Oddajnik s senzorji (pritrjen na živali ali nameščen v telesu živali) zaznava temperaturo vode, globino in svetlobo. Registrirata se še čas in datum posameznih meritev. Te podatke se uporabi za izračun podvodne lokacije. Iz zaznane jakosti svetlobe na neki globini se oceni jakost sončne svetlobe na gladini, na osnovi tega pa se določi čas sončnega vzhoda in zahoda. Izračunata se lokalno poldne in dolžina dneva, iz tega pa položaj živali. Geografsko lokacijo se oceni s primerjavo s srednjim greenviškim časom. Geografska dolžina je funkcija sončnega poldneva, zato se izračuna na osnovi lokalnega poldneva (izračunanega iz povprečja zabeleženih časov sončnega vzhoda in zahoda). Geografska širina pa je odvisna od dnevne količine (trajanja) sončne svetlobe in se jo torej izračuna iz ocenjene dolžine dneva. Natančnosti določitve geografske širine ob enakonočju (s to metodo) ni možno oceniti, ob solsticiju pa je natančnost določitve geografske širine največja. Natančnost določitve geografske dolžine je enaka skozi vse leto. Svetlobne podatke se z namenom zmanjševanja položajnih napak kombinira z modelom gibanja, temperaturnimi meritvami na vodni gladini in batimetrijo (globine potopa). Identificirajo in odstranijo se sistematični pogreški svetlobnih meritev (s tem se precej poveča položajna natančnost ob enakonočjih), izvede pa se tudi filtriranje zaznane svetlobe. S filtriranjem (npr. Kalmanov filter in filter Monte-Carlo) ocenjene trajektorije poti se uporabnikom posredujejo kot niz od časa odvisnih položajev. Za vsak položaj v določenem časovnem trenutku se oceni napaka geografske dolžine in širine. Dobljene lokacije so pogosto netočne, ugotovljen položaj lahko od dejanskega odstopa tudi za nekaj geografskih stopinj oziroma se lahko pojavi nekaj 100-kilometrsko odstopanje. Kljub temu je ta način lociranja živali dobrodošel pri spremljanju živali na velikih, prostranih območjih. Največja odstopanja se pojavljajo ob enakonočjih in v motnih vodah, sicer pa imajo lahko na ocenjene vrednosti geografskih lokacij precejšen vpliv še sence, oblaki, gibanje in vedênje živali. Zaradi izboljšav algoritmov za oceno položaja v zadnjih letih je možno pridobiti trajektorije poti (po kateri se pomika žival) z minimalnim odstopanjem od prave poti. Tovrstno podvodno geolociranje je še posebej uporabno za znanstvenike, za katere je pomembna predvsem ekološka interpretacija pridobljenih podatkov, npr. za morske biologe, katerih cilj je zaščititi morske ekosisteme in zagotoviti odgovorno ribištvo (Track&Loc, A new service for archival tag data processing & underwater geolocation; Argos newsletter, 2000; Argos Flash, 02/2010; Argos Forum, 10/2009; Bächler et al., 2010; Millspaugh, Marzluff, 2001).

**Natančnost** (*ang. precision*) je mera konsistentnosti sistema, uporabljenega za sledenje živalim. Običajno je podana kot standardni odklon ( $\sigma$ ), kot poligon ali pa kot elipsa zaupanja okrog ocenjenega položaja (Millspaugh, Marzluff, 2001). Natančnost je inverzna negotovosti, torej visoka natančnost pomeni nizko negotovost in obratno. Večja natančnost pomeni večjo stopnjo zaupanja v vrednosti ocenjenih parametrov. Običajno večji reprezentativni vzorec pomeni večjo natančnost in s tem večje zaupanje v opazovanja oz. rezultate. Z natančnostjo in hkrati z velikostjo vzorca je povezana moč statističnega testa, ki je definirana kot verjetnost zavrnitve ničelne hipoteze, ko je ta res napačna (Long et al., 2008, str. 38). Natančnost je, kadar gre za pridobivanje lokacij živali, delež lokacij znotraj vnaprej določenega kvantila (Hulbert, French, 2001, str. 870). Ko govorimo o natančnosti, govorimo o razpršenosti merjenih vrednosti okrog srednje vrednosti.

**Točnost** (*ang. accuracy*) definira, kako blizu je ocenjena vrednost lokacije pravi vrednosti (Hulbert, French, 2001, str. 870; Pfuhl, 2010; Hulbert, 2001). Mera točnosti je srednji kvadratni pogrešek RMS (*ang. Root Mean Square*). Običajno je predstavljena z RMS smeri proti ocenjenim in pravim lokacijam, z RMS med ocenjenimi in pravimi lokacijami ali pa z odstotkom pojavov, pri katerih elipsa zaupanja okoli ocenjene vrednosti lokacije vsebuje pravo lokacijo (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 61; Hulbert, 2001).

Ocenjena vrednost lokacije z manjšo elipso zaupanja je bolj natančna od lokacije, ki ji pripada večja elipsa zaupanja, ni pa nujno tudi bolj točna. Odnosi med natančnostjo in točnostjo so prikazani na sliki 1.



Slika 1: Odnosi med natančnostjo in točnostjo (Pfuhl et al., 2010, str. 3).

## **2 INVAZIVNE METODE S PODROČJA GEODEZIJE ZA SPREMLJANJE IN PROUČEVANJE ŽIVALI**

### **2.1 Satelitska telemetrija**

Z razvojem satelitskih sistemov so se tudi na področju raziskav živali pojavile nove možnosti pridobivanja podatkov o proučevani živali. Satelitska telemetrija je postala dokaj pogosta in razširjena metoda v raziskavah o prosto živečih živalih tudi zato, ker je omogočeno spremljanje živali v realnem času. V marsikateri državi je sicer uporaba satelitske telemetrije za namene spremljanja in proučevanja divjih živali še v povojih, vendar pa njeno vključevanje zaradi uporabnosti tovrstnih metod na tem področju hitro narašča. Z marsikaterega vidika je uporabniku oz. raziskovalcu delo pri spremljanju prosto živečih živali olajšano, hkrati pa se pojavlja vprašanje, koliko dejansko z uporabo metod satelitske telemetrije vplivamo na žival oz. kako invazivna je satelitska telemetrija za prosto živeče živali v resnici.

Satelitska telemetrija omogoča pridobitev velike količine podatkov tudi o živalih tistih živalskih vrst, ki jih je z drugimi metodami težko ali celo nemogoče spremljati. Razne sodobne tehnološke rešitve in razvoj analitičnih metod so močno razširili spekter podatkov, ki jih lahko pridobimo o posamezni živali (poleg lokacije še temperaturo in tlak okolice, srčni utrip in (ne)aktivnost živali ter številne druge informacije).

Med vsemi podatki, ki jih lahko o živali pridobimo, izstopa informacija o lokaciji živali (lahko tudi v realnem času), torej informacija o tem, kje se žival v nekem trenutku nahaja. Lociranje živali namreč zagotavlja enolično določitev migracijskih poti in poda informacijo o tem, kje in kako posamezne živali interagirajo z ekosistemi. Le podatek o položaju v prostoru omogoča intuitivno in takojšnjo povezavo med živaljo in njenim življenjskim okoljem. Podatki o lokacijah živali v realnem času zagotavljajo védenje o povezavah med ekologijo in evolucijo. Poznavanje lokacij, kjer se živali nahajajo, je izrednega pomena tudi zaradi raznih človeških aktivnosti, ki vplivajo na klimo ter habitate, zaradi česar je ogrožen obstoj mnogih

živalskih vrst. Poznavanje lokacij živali je torej pomemben člen v raziskavah o ekologiji živali (Cagnacci et al., 2010).

### 2.1.1 Zgodovina

Sledenje živalim je sprva temeljilo na tehnologiji VHF (visoko frekvenčni tehnologiji), torej na radijski telemetriji. V sklopu telemetrije VHF so živali opremljene z radijskimi oddajniki, delujočimi na radijskih frekvencah, ki jih lahko sprejmejo radijski sprejemniki. Za take radio-telemetrijske sisteme se je izkazalo, da gosto poraščen in hribovit teren pri sledenju živalim predstavlja precejšnje omejitve in da mora biti za uspešno določitev položaja živali v prostoru (s triangulacijo) sprejemnik radijskih signalov dovolj blizu živali oz. oddajniku. Tako tradicionalno spremljanje živali je bilo zato vezano na raziskovalce na terenu, ki so se morali živali dovolj približati. Pri tem kaže omeniti, da bližina človeka lahko vpliva na vedenje živali, kar je pri vrednotenju rezultatov seveda potrebno upoštevati (Cagnacci et al., 2010; Javed et al., 2003; Priede, Swift, 1992).

Prve poskuse spremljanja živali s satelitsko telemetrijo je zaznamovala uporaba velikih in težkih instrumentov, ki so bili v osnovi sicer namenjeni za potrebe oceanografskih in meteoroloških raziskav. Ker je že od samega začetka razvoja satelitske telemetrije obstajala potreba po vse manjših oddajnikih, ki bodo hkrati oddajali dovolj močan signal, ki bo uspel pripotovati do satelita, uporaba satelitov visoko na geostacionarnih orbitah v kombinaciji z minimiziranimi napravami ni prišla v poštev. Satelitski telemetrični sistemi so se zato za namene spremljanja in proučevanja (divjih) živali omejili na satelite na polarnih orbitah (Priede, Swift, 1992).

Pojav satelitske telemetrije na področju spremljanja in proučevanja živali je v primerjavi z VHF radijsko telemetrijo omogočil spremljanje premikov in položajev živali na daljavo. V današnjem času je s pomočjo satelitske telemetrije mogoče pridobiti skoraj kontinuirane, sistematično razvrščene podatkovne nize položajev živali, čeprav je pri tem še vedno prisotnih nekaj resnih tehnoloških omejitev (Cagnacci et al., 2010).

## **2.1.2 Značilnosti in princip delovanja**

### **2.1.2.1 Argos**

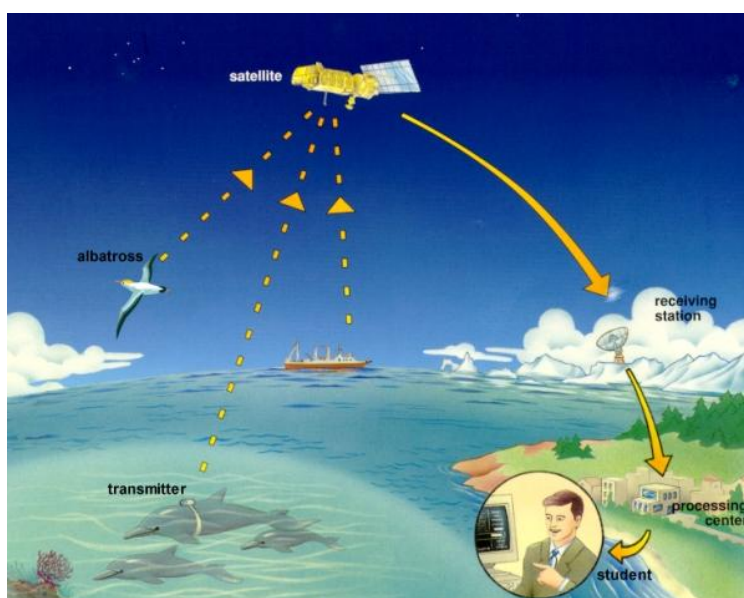
#### **2.1.2.1.1 Sestava in delovanje sistema Argos**

Začetki sistema Argos segajo v leto 1978. Nastal je kot produkt sodelovanja med francosko vesoljsko agencijo CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*), NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) in kasneje CLS (*Collecte Localisation Satellites*, hčerinska družba CNES-a), tem pa se je v letu 2006 pridružil še Eumesat (*European Organization of the Exploitation of Meteorological Satellites*). V sistem Argos je dandanes vključen tudi ISRO (*Indian Space Research Organization*) ter nekatere druge mednarodne vesoljske agencije (Argos User's Manual, 2007-2008).

Tako kot ostali satelitski telemetrijski sistemi je bil tudi satelitski sistem Argos v osnovi razvit predvsem za potrebe meteorologov in oceanografov, torej za spremljanje podatkov o okolju (npr. temperatura in tlak) in za določevanje geografskih lokacij po vsem svetu (še posebej pa je pri sistemu Argos poudarek na območjih z geografsko širino 60° in več). Glavni namen globalnega satelitskega sistema Argos je pridobivanje najrazličnejših podatkov in védenj o okolju ter njegova zaščita, pri čemer ima Argos pomembno vlogo tudi v raziskavah o divjih živalih, kjer je majhna platforma z oddajnikom nameščena na žival. Na tisoče živali različnih vrst (ribe in ostale vodne živali, ptice ter najrazličnejše kopenske živali) je opremljenih z majhnimi oddajniki Argos (ti so nameščeni na žival ali pa se nahajajo v njej), preko katerih se jih spremlja po vsem svetu. Sicer pa lahko s satelitskim sistemom Argos pridobimo lokacije fiksnih in tudi premikajočih se platform (Millspaugh, Marzluff, 2001; Argos User's Manual, 2007-2011; Fancy et al., 1988; Priede, Swift, 1992).

Princip delovanja (oz. sestava) satelitskega sistema Argos (slika 2) za potrebe spremljanja divjih živali je sledeč (Argos User's Manual, 2007-2011):

- na žival nameščen satelitski oddajnik oddaja signale oz. sporočila proti satelitom;
- sateliti z instrumenti Argos na krovu sprejmejo in shranijo oddane signale oz. sporočila ter jih posredujejo sprejemnim postajam nazaj na Zemljo;
- antene sprejemnih postaj na Zemlji sprejemajo sporočila s satelitov in jih posredujejo centrom za obdelavo podatkov;
- vsa prejeta sporočila se obdelajo v centrih za obdelavo podatkov, od koder so obdelani podatki posredovani uporabnikom.

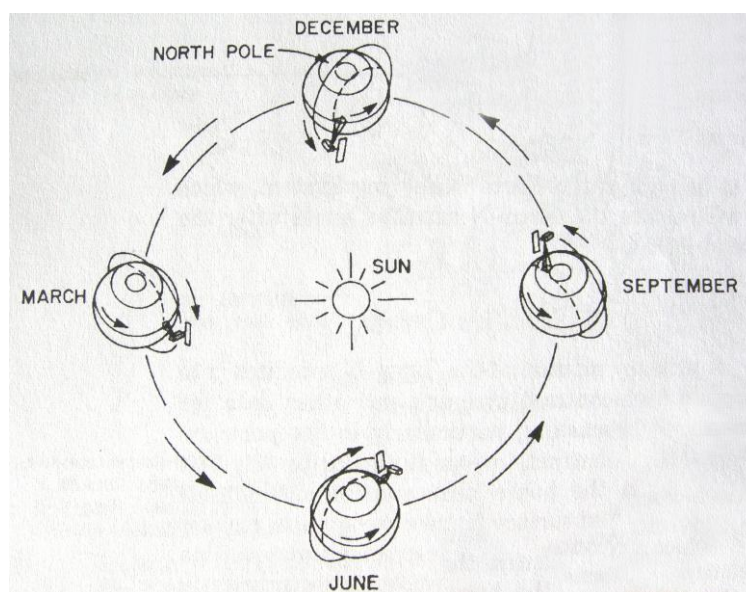


Slika 2: Princip delovanja sistema Argos (Wake Forest University, Albatross Project, 1997).

Takšen princip delovanja omogoča spremljanje živali v realnem času.

Naprava Argos, nameščena na živali, izvede in zabeleži meritve – vsako meritev tudi časovno opredeli, jih kodira ter zapiše v obliki binarnega sporočila. Oddajnik satelitskih signalov (PTT - Platform Transmitter Terminal ali PMT – Platform Message Transceiver), ki je prav tako nameščen na žival, pošilja signale proti satelitom. Vsak oddajnik ima svojo identifikacijsko številko in v periodičnih intervalih (na vsakih 90 do 200 sekund) satelitom posreduje ustvarjena binarna elektronska sporočila. Sporočila se prenašajo na frekvenci (upoštevata se Dopplerjev efekt)  $401,650 \text{ MHz} \pm 30 \text{ kHz}$ , pri čemer prenos vsakega posredovanega sporočila

traja manj kot eno sekundo (od 360 do 920 milisekund). Poiščejo in odstranijo se morebitne interference oz. šumi na oddajni frekvenci 401,650 MHz, ki sicer slabijo in popačijo signale. Oddane signale sprejmejo, shranijo in posredujejo nazaj na Zemljo sateliti s skoraj polarnimi tirnicami 850 km nad Zemljinim površjem. Shranjena sporočila se prenesejo s satelita na Zemljo, ko satelit leti nad eno od treh glavnih sprejemnih postaj (Wallops Island v Virginiji, Fairbanks na Aljaski, Svalbard na Norveškem) ali pa so v realnem času posredovana regionalnim sprejemnim postajam, ki se trenutno nahajajo v vidnem polju satelita. Instrumenti Argos so zaenkrat nameščeni na nekaterih satelitih POAS (*Polar Orbiting Environmental Satellites*), ki spadajo pod NOAA ter satelitih MetOp (so pod okriljem Eumesat), letos pa naj bi se tem satelitom pridružili še sateliti SARAL (*Satellite with ARGos and ALtika*). Ker imajo sateliti z napravami Argos skoraj polarne sončno sinhrono tirnice (slika 3), iste dele površja pokrijejo vedno ob skoraj istem lokalnem času – ob skoraj istih krajevnih časih pride satelit vsak dan v vidno polje oddajnika (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 2-3; Fancy et al., 1988).



Slika 3: Shematski prikaz satelita s skoraj polarno sončno sinhrono tirnico (Fancy et al., 1988, str. 10).

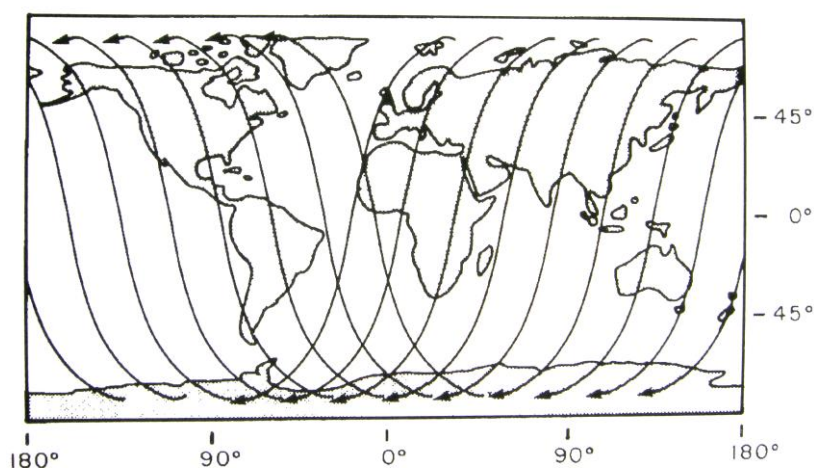
En poln obhod okrog Zemlje satelit Argos opravi v približno 100 minutah. Vidno polje vsakega od satelitov Argos (slika 4) obsega krog s premerom 5000 km (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 3).





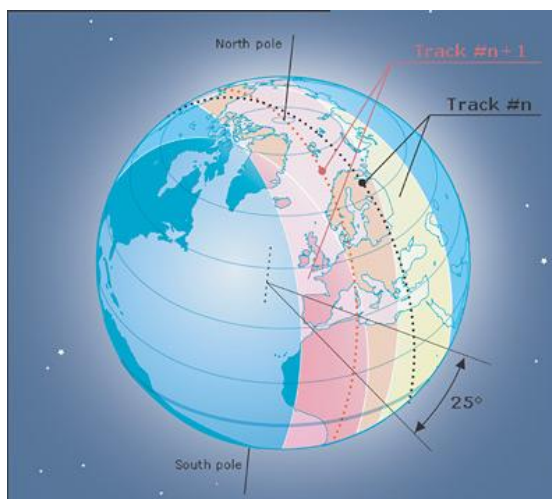
Slika 4: Vidno polje satelita Argos (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 4).

Ob vsakem obhodu se vidno polje satelita premakne za  $25^\circ$  proti zahodu (premik okrog polarne osi). Zaradi kroženja satelita v smeri sever-jug in hkratnega vrtenja Zemlje v smeri zahod-vzhod je mogoča popolna pokritost Zemlje s satelitskim signalom. Prekrivanje sosednjih območij (slika 6) je na večjih geografskih širinah večje, zaradi česar je tudi število dnevnih prehodov satelitov nad oddajnikom na večjih geografskih širinah večje. Verjetnost uspešne določitve lokacije z oddajnikom opremljene živali je torej odvisna od geografske širine, na kateri se žival običajno nahaja in je na večjih geografskih širinah načeloma večja (slika 5) (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 4; Oštir, 2006, str. 42; Priede, Swift, 1992).



Slika 5: Prikaz tirnice satelita Tiros-N v Mercatorjevi projekciji (Fancy et al., 1988, str. 11).

Vsakokrat, ko je posamezen oddajnik v vidnem polju enega od satelitov in je vidljivost zadovoljiva (ni goste vegetacije ipd.), lahko satelit sprejme oddano sporočilo z oddajnika. V povprečju je vsak oddajnik v vidnem polju satelita približno 10 minut. Ker je za registriranje z oddajnika posredovanega sporočila na satelitu potrebnih nekaj minut, se pri raziskavah nekaterih vrst morskih živali lahko pojavijo težave. Za živali, ki se večinoma zadržujejo pod morsko gladino in pridejo na površje le po zrak, je sprejem sporočil le občasen (Argos newsletter, september 2001, str.7). Vendar pa zahvaljujoč današnji tehnologiji tudi to ne predstavlja več večjih problemov (npr. oddajniki, ki se po vnaprej definiranem času 'odlepijo' od živali, splavajo na površje in posredujejo zabeležene ter shranjene podatke proti satelitom) (Argos newsletter, februar 2000).



Slika 6: Prekrivanje sosednjih pasov (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 4).

Mrežo anten (sprejemnih postaj) Argos sestavlja skoraj 60 po svetu enakomerno razporejenih anten, ki sprejemajo podatke s satelitov v realnem času (slika 7). Večina sprejemnih postaj je regionalnih. Tri so glavne, globalne (dve v Združenih državah Amerike, ena na Norveškem). Sateliti posredujejo podatke v realnem času vsem antenam oz. sprejemnim postajam (regionalnim in trem glavnim globalnim), ki se nahajajo v satelitovem vidnem polju. Antene delujejo na L frekvencah. Glavne sprejemne postaje poleg podatkov, ki jim jih v realnem času posredujejo sateliti, zbirajo tudi vse ostale podatke, ki jih sateliti pridobijo med potovanjem po orbiti. Na tak način so podatki Argos dostopni za cel svet (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 5-6).



Slika 7: Argos sprejemne postaje (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 5).

Vsi na sprejemnih postajah pridobljeni podatki se zberejo v dveh centrih Argos za obdelavo podatkov (Toulouse-Francija in Washington-ZDA), kjer se vsi podatki ustrezno obdelajo. Za potrebe izračuna lokacije oddajnika se določi/preveri kakovost in sprejem posameznega sporočila, identifikacijska številka oddajnika, dolžina sporočila, frekvenca sprejema signala, zabeleži se UTC čas (univerzalni koordinatni čas). Vsa sprejeta sporočila se razvrstijo po časovnem vrstnem redu. Vsi rezultati (obdelani podatki/opazovanja) se shranijo in so na voljo uporabnikom. Uporabniki po vsem svetu lahko izbirajo med več možnostmi dostopanja do podatkov (ArgosWeb, ArgosServer, ArgosDirect, ArgosShare, ArgosMonitor), ki jih potrebujejo. Za biologe in ostale raziskovalce, ki delujejo na področju proučevanja živali, je še zlasti uporabna storitev ArgosMonitor. Raziskovalci so prek te storitve v realnem času obveščeni o dogajanju, pomembnem za njihovo raziskavo (npr. prejmejo sporočilo, da je merilec srčnega utripa le-tega prenehal zaznavati, da že dalj časa ni bilo zaznano gibanje živali – žival spi, da je platforma odpovedala, da se je ptica ravnokar vrnila v gnezdo ipd.) (Argos User's Manual, 2007-2008; Argos Forum, 02/2010). Kljub številnim možnostim za dostop do podatkov Argos pa so le-ti v obliki, ki mnogim raziskovalcem lahko povzročajo preglavice. Lažji dostop do podatkov Argos, pretvorbo teh podatkov v obliko, ki bo kompatibilna z drugimi programi (s statističnimi programi, z geografskim informacijskim sistemom GIS), relativno enostavno kombiniranje z ostalimi okoljskimi podatki (višina, tlak, temperatura,...) in uporabo standardiziranih orodij in tehnik omogoča orodje STAT (*ang. Satellite Tracking and Analysis Tool*). Program STAT je prosto dostopen na spletu ([seaturtle.org](http://seaturtle.org)) (Coyne, Godley, 2005).

#### **2.1.2.1.2 Zgradba oddajnika PTT (ang. *Platform Transmitter Terminal*)**

Vsaka naprava, pritrjena na žival z namenom njenega spremljanja in proučevanja, sestoji iz (vodotesnega) ohišja, elektronskega vezja in mikroprocesorske enote, majhne in izjemno tanke ure, baterije in/ali sončnih celic, antene in povezovalnih elementov. Dodani so ji lahko najrazličnejši senzori. Uporabi se lahko VHF/PTT, GPS/PTT, Argos/PTT in podobne oddajnike/sprejemnike ali pa kombinacijo tega. V kakšno obliko (ovratnica ipd.) so združeni navedeni sestavni deli, je odvisno od vrste proučevane živali. Napravo se pritrdi na žival ali pa se jo kirurško vstavi vanjo (Introduction to tracking technology – GPS and GIS; Priede, Swift, 1992).

#### **2.1.2.1.3 Sledenje živalim – lociranje živali**

Pri izračunu lokacije oddajnika se upoštevajo vsa sporočila, ki jih satelit sprejme med enim prehodom nad oddajnikom. Izračunata se geografska dolžina in širina, ki se nanašata na referenčni oz. koordinatni sistem WGS84 (ang. *World Geodetic System 1984*). Uporabniki sistema Argos lahko pridobijo (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 8):

- a) Argos lokacijo oddajnika
- b) GPS lokacijo.

##### **a) Princip izračuna Argos lokacije**

Sistem Argos izračuna položaj oddajnika ob upoštevanju Dopplerjevega pojava na frekvenci prenosa (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 8). Glavna značilnost lokacij, izračunanih na osnovi Dopplerjevega pojava, sta dva možna položaja platforme oz. oddajnika (za oba je na satelitu zabeležena sprejemna frekvenca enaka), ki sta simetrična glede na projekcijo tirnice satelita na Zemljo (slika 9): pravi in navidezni/zrcalni položaj (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 9).

Dopplerjev pojav (slika 8) nastane, kadar se oddajnik in sprejemnik valovanja gibata relativno eden glede na drugega. Zaradi tega se pojavi sprememba v frekvenci zvočnega ali

elektromagnetnega valovanja. Sprejemnik registrira višjo frekvenco ( $f$ ) kot jo oddajnik oddaja ( $f_0$ ), če se približuje izvoru valovanja ali če se izvor približuje njemu, kadar pa se izvor in sprejemnik oddaljujeta drug od drugega, sprejemnik registrira nižjo frekvenco. Razlika v frekvenci valovanja je tem večja, čim hitreje se izvor in sprejemnik gibljeta drug glede na drugega (Kladnik, 1996, str. 167). Če se izvor in sprejemnik medsebojno približujeta, sprejemnik zazna frekvenco:

$$f = f_0 (v + v_s)/(v - v_I), \quad (1)$$

kjer je  $v$  hitrost širjenja valovanja  $v$  mediju,  $v_s$  hitrost gibanja sprejemnika,  $v_I$  pa hitrost gibanja izvora.

Če pa se izvor in sprejemnik medsebojno oddaljujeta, sprejemnik zazna frekvenco:

$$f = f_0 (v - v_s)/(v + v_I). \quad (2)$$

Iz zgornje definicije Dopplerjevega pojava sledi, da je izmerjena frekvenca (izmeri jo sprejemnik na krovu satelita) oddanega signala višja od dejanske, ko se satelit približuje oddajniku in nižja, ko se od njega oddaljuje.

Povezavo med frekvenco sprejema ( $f_s$ ) in poznano frekvenco prenosa ( $f_p$ ) podaja sledeč izraz (Priede, Swift, 1992, str.158):

$$f_s = f_p (1 + v \cdot \cos A/c) \quad (3)$$

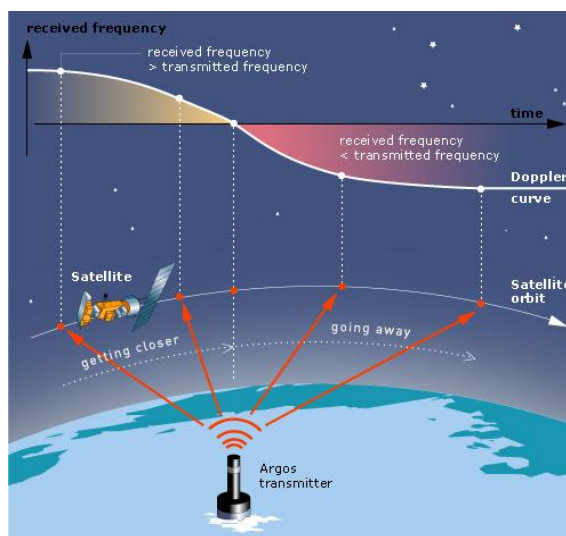
Tu je:

$v$  ... hitrost satelita (relativno glede na platformo)

$A$  ... kot med vektorjem satelitove hitrosti in povezovalno linijo med satelitom ter oddajnikom

$c$  ... hitrost svetlobe

V sklopu pridobitve položaja oddajnika nastopajo tri neznanke: prava frekvenca prenosa (upoštevanje Dopplerjevega pojava), geografska dolžina in geografska širina kraja, kjer se oddajnik nahaja. Znana parametra v izračunu položaja oddajnika sta: nadmorska višina, na kateri se nahaja oddajnik (uporabi se digitalni model reliefa DMR, ki temelji na modelu USGS GTOPO30) ter višina orbite satelita. Preostale količine (frekvenca in čas sprejema signala) so meritve (Argos User's Manual, 2007-2008).

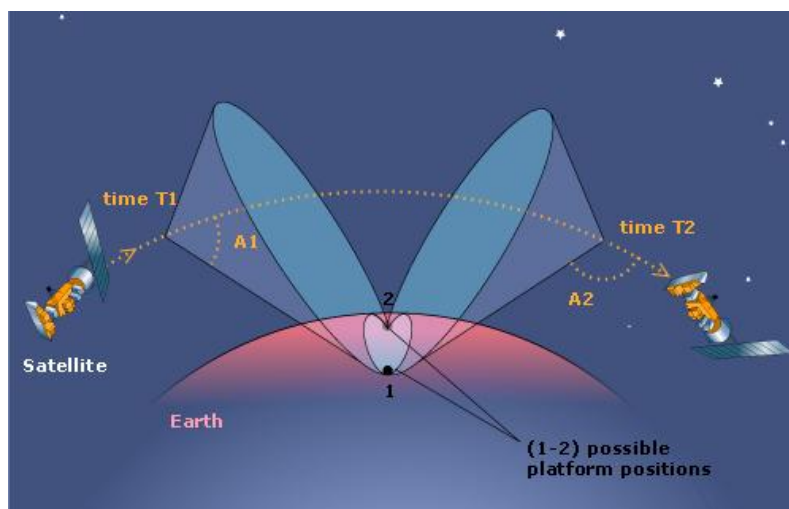


Slika 8: Dopplerjev pojav (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 9).

Lokacije Argos so se do leta 2011 izračunavale po metodi najmanjših kvadratov, v letu 2011 pa so z namenom zagotovitve več položajev in boljše točnosti le-teh v izračun uvedli še Kalmanov filter – preglednica 1 (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 8).

**Postopek lociranja oddajnikov Argos po metodi najmanjših kvadratov** je sledeč. Frekvenca signala se izmeri vsakokrat, ko naprave na krovu satelita sprejmejo iz oddajnika posredovano sporočilo. Prav tako se ob vsakem sprejemu sporočila izmeri in zabeleži tudi čas sprejema sporočila. Te meritve so potrebne za izračun lokacije oddajnika v centrih Argos za obdelavo podatkov. V procesnih centrih se najprej določi točko, v kateri je bil satelit ob sprejemu signala (slika 9). Ta točka (T1 ali T2) predstavlja vrh stožca (tam se nahaja satelit v določenem trenutku). Določi se še kot ob vrhu stožca (A1 ali A2). Ta kot je funkcija razlike med izmerjeno frekvenco na satelitu in dejansko frekvenco oddajnika oz. oddanega signala (upoštevanje Dopplerjevega pojava, enačbe (1)-(3)). V primeru, ko satelit tekom enega prehoda nad oddajnikom sprejme štiri sporočila ali več, se v procesu izračuna lokacije oddajnika določita dva stožca. En stožec se določi iz podatkov prvega sporočila, drugi pa iz podatkov zadnjega prejetega sporočila med enim prehodom satelita. Upošteva se zadnja izračunana frekvenca oddajnika. Rezultat preseka dveh stožcev sta dva možna položaja oddajnika (slika 9). Ta položaja sta približna. Za vsakega od dveh možnih približnih položajev oddajnika se z metodo najmanjših kvadratov (ob upoštevanju vseh sprejetih sporočil med enim prehodom satelita nad oddajnikom) iterativno določi točnejši položaj. Če

tega ni možno uspešno izvesti, se postopek izračuna lokacije oddajnika ne more nadaljevati. V izračun je vključena še rotacija Zemlje.

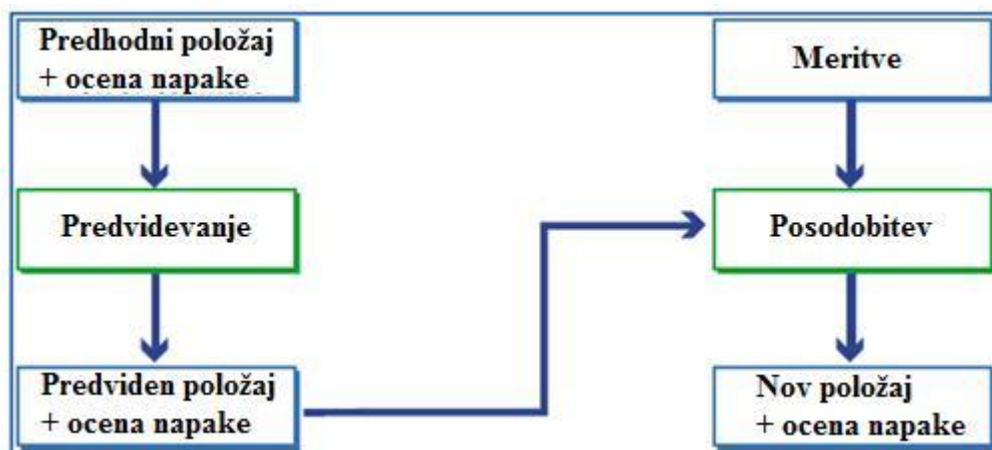


Slika 9: Geometrijski princip določitve lokacije oddajnika (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 10).

V kolikor pa postopek izračuna položaja oddajnika z metodo najmanjših kvadratov uspe, se izbere položaj (izmed dveh možnih), ki ustreza kriteriju metode najmanjših kvadratov. Da se ugotovi, ali je ta položaj res najverjetnejši, se izvedejo štiri teste: minimalni popravki položaja oddajnika, kontinuiteta oddajne frekvence, minimalni premik – najkrajša zabeležena razdalja od zadnje lokacije in test pravilnosti hitrosti med zabeleženimi lokacijami. Da lahko trdimo, da gre za najverjetnejši položaj oddajnika, morata biti vsaj dva od testov uspešna. Če sta dva testa ali več za enega od dveh možnih položajev oddajnika neuspešna, testiramo še drugo možno lokacijo oddajnika. Če sta tudi za drugo možno lokacijo oddajnika neuspešna dva testa ali več, položaj oddajnika ni posredovan uporabnikom. To pa ne velja za dodatno Argos storitev, ki uporabnikom zagotavlja tudi dostop do nestandardnih lokacij oddajnika (tistih, ki so izračunane iz manj kot štirih sporočil in tistih, ki niso uspešno prestale testov). Tovrstni podatki so kljub manjši zanesljivosti v nekaterih primerih zelo uporabni - tudi pri sledenju živalim. Pri oceni točnosti lokacije oddajnika se upošteva popravke (*ang. residual error*) položaja oddajnika in karakteristike prehoda satelita nad oddajnikom (Argos User's Manual, 2007-2008; Argos User's Manual, 2007-2011). Položaj oddajnika je na ta način

možno izračunati tudi iz le dveh ali treh sporočil, vendar pa se lahko v tem primeru pridobi le delno informacijo o napaki – glej točko 2.1.2.1.4 (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 10).

V nasprotju z metodo najmanjših kvadratov omogoča uporaba **Kalmanovega filtra** pridobitev položaja oddajnika le na osnovi enega prejetega sporočila med enim prehodom satelita nad oddajnikom. Postopek izračuna lokacije oddajnika s to metodo je kompleksen in že v osnovi vključuje oceno točnosti lokacije. V izračunu se upošteva tudi dinamika platforme. V nasprotju z metodo najmanjših kvadratov se s to metodo izračuna samo prava lokacija (in ne tudi zrcalna). Postopek izračuna sestavljata dva koraka (slika 10). V prvem koraku filter na osnovi modela gibanja iz prejšnjega položaja in njegove ocenjene napake predvidi naslednji položaj, vključno z njegovo oceno napake. V drugem koraku filter izračuna nov položaj in oceni njegovo napako. Nov položaj (vključno z napako) oceni tako, da predviden položaj (iz prvega koraka) posodobi na osnovi meritev frekvenc med prehodom satelita nad oddajnikom. Izračunana lokacija mora uspešno prestati tri teste: koherenca meritev z uporabljenim modelom, kontinuiteta prenosne frekvence in pravilnost hitrosti med lokacijami.



Slika 10: Izračun položaja s Kalmanovim filtrom (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 11).



Preglednica 1: Primerjava metode najmanjših kvadratov s Kalmanovim filtrom (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 15).

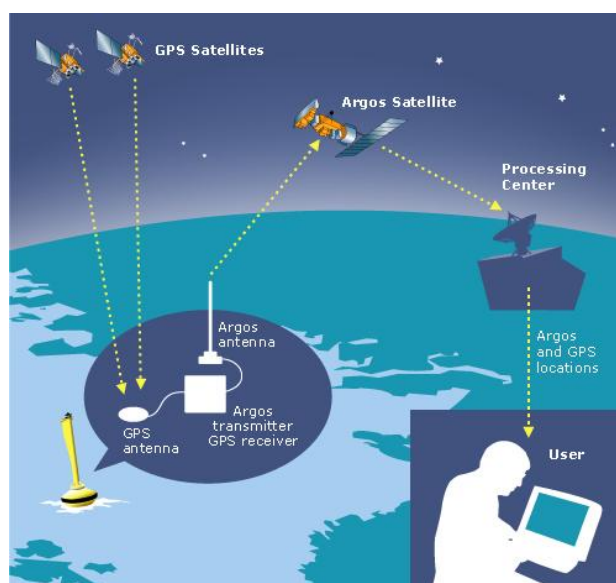
	Metoda najmanjših kvadratov	Kalmanov filter
Surovi podatki	Meritve frekvenc	
Inicializacija (izračun prvega položaja)	Priporočena so (vsaj) štiri sporočila tekom enega prehoda satelita	
Število potrebnih sporočil med enim preходом satelita za izračun položaja	Dve sporočili	Eno sporočilo
Ocena točnosti	Elipsa pogreškov je dostopna le za lokacije, pridobljene iz vsaj 4 sporočil. Za ostale lokacije (izračunane iz 2 ali 3 sporočil) so zagotovljeni le delni podatki o napaki (orientacija elipse, GDOP).	Elipsa pogreškov je dostopna za vse lokacije, pridobljene iz vsaj 1 sporočila.
Število rešitev	Dve (nominalna in zrcalna)	Ena (nominalna)
DMR	USGS GTOPO30	

V CLS uporabnikom priporočajo postopek izračuna položajev s Kalmanovim filtrom (razen za uporabnike, ki potrebujejo homogene podatke za dolgo, nekajletno časovno obdobje), saj le-ta omogoča izračun več položajev višje točnosti. Poleg tega se ta postopek bolje obnese tudi v primerih, ko je število prejetih sporočil med enim preходом satelita majhno in kadar pogoji za prenos signalov niso najboljši (spremembe v prenosni frekvenci zaradi sprememb v temperaturi, nestabilnega oscilatorja ali ponovne inicializacije ipd.) (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 14).

**Spremembe v nadmorski višini** močno vplivajo na izračun položaja oddajnika oz. živali (predvsem kopenskih) in lahko zelo zmanjšajo točnost ocene položaja, še posebej ob slabi vidnosti satelitov. Že metrska napaka v višini lahko močno zmanjša točnost izračunanega položaja, še posebej v primeru, ko se oddajnik nahaja na ali tik ob projekciji satelitove tirnice na Zemljo. Z namenom pridobitve čim bolj točnega položaja je v izračunih lokacij oddajnikov (tako tistih na površju kot tistih na pticah) vedno vključen DMR, ki temelji na modelu USGS GTOPO30. S tem DMR se oceni višino, na kateri se nahaja oddajnik. Stranica kvadratne celice tega DMR meri 30" (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 10; Priede, Swift, 1992).

## ***b) GPS pozicioniranje***

Če je v oddajnik Argos vgrajen sprejemnik GPS, lahko preko sistema Argos pridobimo tudi GPS-položaje oddajnikov (slika 11). Lokacija GPS se zabeleži v oddajniku Argos z vgrajenim sprejemnikom GPS. Oddajnik satelitom pošlje sporočilo s podatki o položajih GPS. Uporaba položajev GPS ima več prednosti. Položaji, pridobljeni na tak način, so točnejši (10 metrska točnost) in niso odvisni od kakovosti oddajnika Argos. Uporaba GPS hkrati s sistemom Argos je smiselna in uporabna tudi v primerih, ko se žival nahaja npr. v ozki soseki (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 11).



Slika 11: GPS pozicioniranje preko sistema Argos (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 11).

Poleg lokacij lahko z oddajnikov pridobimo tudi druge informacije, saj so lahko oddajniki povezani s senzorji, ki zbirajo podatke o slanosti vode, zračnem tlaku, smeri in moči vetra, relativni vlažnosti, temperaturi vode/zraka, poziciji GPS, srčnem utripu živali in podobno. Vsi ti podatki s senzorjev se obdelajo v centrih Argos za obdelavo podatkov. Preden se rezultati opazovanj posredujejo uporabnikom, v procesnih centrih Argos preverijo njihovo kakovost.

#### 2.1.2.1.4 Ocena točnosti in natančnosti

Točnost ocenjenih lokacij Argos je odvisna od (Millsbaugh, Marzluff, 2001, str. 99):

- števila sprejetih signalov med enim prehodom satelita,
- stabilnosti frekvence oddajnikovega oscilatorja v času prehoda satelita nad oddajnikom (nanjo ima močan vpliv temperatura),
- nadmorske višine oddajnika (v izračunih položaja se predpostavlja, da je oddajnik na višini morske gladine),
- ionosfere,
- napak v podatkih o satelitovi tirnici,
- natančnosti zabeleženega časa oddaje/sprejema signala.

Pridobljene lokacije so razvrščene v razrede glede na tip opazovanj (GPS ali Argos), ocenjeno vrednost napake (radij kroga pogreškov) in število prejetih sporočil ob enem prehodu satelita:

Preglednica 2: Klasifikacija lokacij v razrede (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 14).

Razred	Tip	Ocenjena napaka (radij kroga pogreškov)		Št. prejetih sporočil med enim obhodom satelita	
		MNK	Kalmanov filter	MNK	Kalmanov filter
<b>G</b>	GPS	< 100 m		1 sporočilo ali več	
<b>3</b>	Argos	< 250 m		4 sporočila ali več	
<b>2</b>	Argos	med 250 m in 500 m		4 sporočila ali več	
<b>1</b>	Argos	med 500 m in 1000 m		4 sporočila ali več	
<b>0</b>	Argos	> 1500 m		4 sporočila ali več	
<b>A</b>	Argos	brez ocene točnosti	možna ocena točnosti	3 sporočila	
<b>B</b>	Argos	brez ocene točnosti	možna ocena točnosti	2 sporočili	1 ali 2 sporočili
<b>Z</b>	Argos	neveljavna lokacija		-	

Znano je, da natančnost položaja prikazujemo z elipso pogreškov. Vendar pa večini uporabnikov sistema Argos zadostuje en sam podatek o natančnosti, na osnovi katerega se tudi uvrsti opazovanja (lokacije) v razrede (preglednica 2) – polmer krožnice, ki ustreza enemu standardnemu odklonu ( $\sigma$ ) ocenjene lokacijske napake. Kakovostnejšo možnost, torej elipse pogreškov, potrebujejo na področju spremljanja in proučevanja živali npr. raziskovalci,

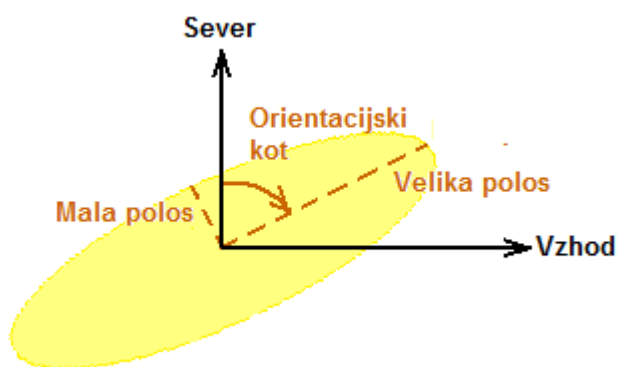
ki pridobljene položaje živali potrebujejo za modeliranje njihovih premikov (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 11).

Za lokacije v razredih 0, 1, 2 in 3 (izračunane po metodi najmanjših kvadratov iz vsaj štirih sporočil) in za lokacije, izračunane z uporabo Kalmanovega filtra, se za elipse pogreškov izračunajo sledeči parametri (Argos User's Manual, 2007-2008, str. 13; Argos User's Manual, 2007-2011, str. 11):

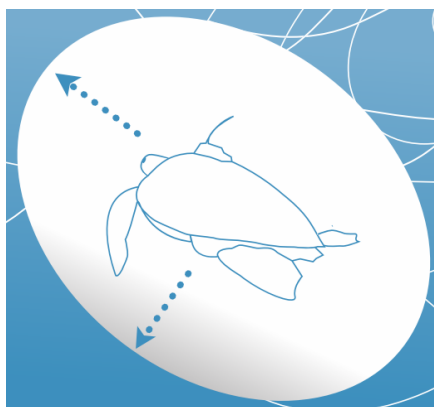
- polmer krožnice (v metrih),
- dolžina male polosi elipse (v metrih),
- dolžina velike polosi elipse (v metrih),
- orientacijski kot elipse (v stopinjah v smeri od severa proti vzhodu),
- vpliv geometrije satelitov na določitev položaja, t.j. GDOP (*Geometric Dillution of Precision*) – manjši GDOP pomeni natančnejšo določitev položaja.

Za lokacije v razredih A in B, izračunane po metodi najmanjših kvadratov iz treh sporočil ali manj, za katere nekdanj niso bili dostopni nikakršni podatki o točnosti, pa sta dostopna samo (Argos User's Manual, 2007-2011, str. 12) podatka o:

- orientaciji elipse in
- GDOP.



Slika 12: Parametri elipse pogreškov.



Slika 13: Elipsa pogreškov (Argos Flash, oktober 2008, str. 1).

Manjša kot je elipsa (sliki 12 in 13), natančnejši je pridobljen položaj in čim bolj je elipsa podobna krogu, tem bolj podobni sta si natančnosti položaja v obeh smereh. V geodeziji večinoma težimo k tema dvema lastnostma, na področju spremljanja in proučevanja živali pa pogosto potrebe po zelo visoki natančnosti in/ali točnosti ni. Kakšna natančnost oz. točnost je zadostna, je seveda odvisno od vrste raziskave in njenega namena. V splošnem je točnost položaja Argos odvisna predvsem od GDOP in od kakovosti oddajnika (stabilnost frekvence), pa tudi od pravilnega prenosa (brez napak, ki sicer lahko nastanejo med prenosom) sporočil do satelita in sprejemnih postaj. Kadar se uporabi kombinirane oddajnike/sprejemnike Argos/GPS, je možno v procesu obdelave podatkov natančnost povečati tudi tako, da se odstranijo pogreški, vključeni v civilni signal GPS (Argos User's Manual, 2007-2008; Priede, Swift, 1992).

Pred izvedbo raziskave o živalih je zelo priporočljivo testiranje sistema in opreme, ki jo nameravamo uporabiti. Testiranje oddajnikov pred njihovo uporabo v raziskavi je priporočljivo zaradi ocene vpliva lokacije proučevanega območja na uspešnost oddajnikov (t.j. število uspešnih prenosov glede na število prehodov satelita) in tudi zato, ker ocen(e) o položajni točnosti ter uspešnosti sistema Argos (ali pa GPS) ni mogoče posplošiti (posplošitev ni mogoča zaradi velikih razlik med posameznimi raziskavami o divjih živalih in med opremo, ki se pri tem uporablja - regija, živalska vrsta, model oddajnika, moč prenosa, teren). Kljub dejstvu, da je ogromno živali za potrebe najrazličnejših raziskav opremljenih z oddajniki Argos, pa je bilo žal opravljenih le peščica študij, ki so ocenile kakovost (t.j. položajno točnost) in uspešnost satelitskih ovratic/oddajnikov Argos pri spremljanju divjih

živali. Večina teh študij je bila izvedenih v severni Ameriki. Študija uspešnosti oz. zmogljivosti satelitskih oddajnikov Argos za telemetrijo kopitarjev v južni Rusiji je pokazala, da se število prejetih sporočil z oddajnika v primeru oddajnikov z večjo močjo v primerjavi z oddajniki z manjšo močjo bistveno ne poveča, občutno pa se poveča število ocenjenih lokacij na osnovi prejetih sporočil (vsako prejeto sporočilo še ne pomeni uspešne ocene lokacije oddajnika). S povečanjem moči oddajnika se bistveno poveča tudi točnost ocenjenih lokacij, hkrati pa se zmanjša število nestandardnih lokacij (razreda A in B). Izkazalo se je, da je moč 0.5 W (tipično za srednje velike plenilce in manjše kopitarje) ali manjša lahko že vprašljiva (Dubinin et al., 2010; Hulbert, French, 2001).

Ocena natančnosti je za Argos telemetrijo predvsem v južni Evropi in centralni Aziji omejena zaradi dokazano zmanjšane satelitske zmogljivosti/operativnosti. Uspešno delovanje sistema Argos je torej odvisno od področja uporabe (katero območje na Zemlji) (Dubinin et al., 2010).

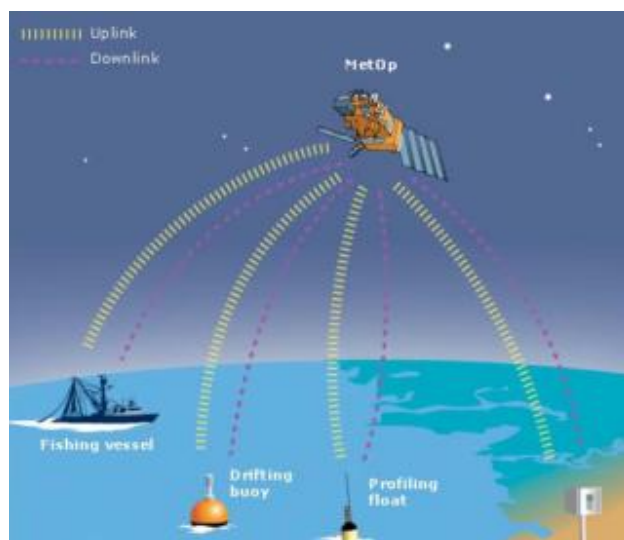
Pri vseh kakovostnih razredih Argos (0, 1, 2, 3, A, B) je vpliv napake geografske dolžine na natančnost ocenjenega položaja 2-3x večji od vpliva napake geografske širine. Temperaturne spremembe na učinkovitost oddajnika nimajo bistvenega vpliva kljub temu, da je temperatura pomemben faktor pri zagotavljanju stabilnosti frekvence oddajnika in potencialno vpliva na njegovo učinkovitost delovanja. Spremembam v nadmorski višini pa je treba posvetiti pozornost predvsem pri pticah in ostalih živalih, ki se tekom leta lahko nahajajo na zelo različnih nadmorskih višinah (Dubinin et al., 2010).

Odgovor na vprašanje, ali sta bili v raziskavi glede na dane pogoje doseženi ustrezna natančnost in točnost, lahko poda primerjava rezultatov, pridobljenih z oddajnikov na živalih z rezultati, pridobljenimi iz fiksiranih oddajnikov (npr. na strehah objektov) (Millspaugh, Marzluff, 2001).

#### **2.1.2.1.5 Razvoj sistema Argos**

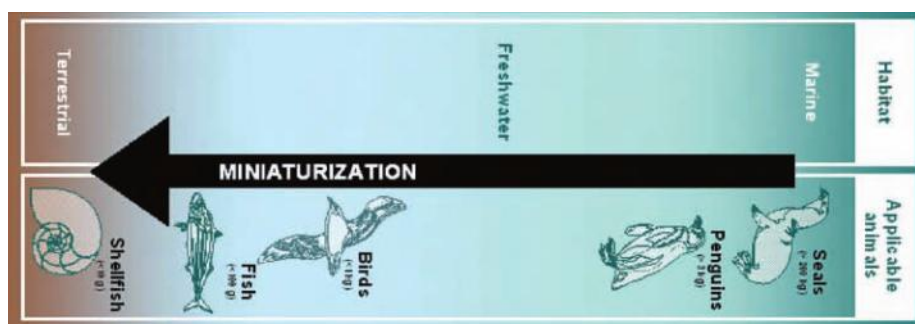
Sistem Argos se nenehno razvija in dopolnjuje z novejšimi in bolj izpopolnjenimi instrumenti (oddajniki, senzorji,...) z namenom, da se uporabnikom zagotovi kakovostne podatke, zanesljive satelitske povezave in neprestano pokritost s satelitskim signalom. Najnovejša

oprema Argos-3 (za obdobje 2014-2022 je predvidena njegova nadgraditev, t.j. Argos-4) je kompatibilna z obstoječimi oddajniki in ima v primerjavi s preteklimi instrumenti kar nekaj izboljšav. Je kompaktnjša in lažja od predhodnih instrumentov. V kombinaciji s PMT omogoča dvosmerno komunikacijo med sateliti in oddajniki (slika 14), učinkovitejše zbiranje podatkov, daljinsko upravljanje platforme/oddajnika (npr. vklop ali izklop oddajnika, nastavitve senzorja itd.) ter pridobitev večje količine podatkov tekom enega prehoda satelita zaradi višje hitrosti (4.8 kbit/s) prenosa podatkov (desetkrat več kot Argos-2). V primerjavi s sistemoma Argos-1 in Argos-2 je zbiranje podatkov s sistemom Argos-3 učinkovitejše. Za Argos-1 in Argos-2 velja: čim več sporočil je z oddajnika posredovanih satelitu, tem manjša je verjetnost pojavljanja napak v pridobljenih podatkih (nadštevilne meritve). Sistem Argos-3 pa deluje tako, da satelit v trenutku, ko sprejme sporočilo prosto napak, to informacijo posreduje oddajniku (dvosmerna komunikacija). Ko oddajnik sprejme ta signal s satelita, mu preneha pošiljati sporočila. Poleg tega je vsem oddajnikom dodana ustrezna programska oprema za izračun točnega časa naslednjega prehoda satelita in njegovega trajanja. Izračun se izvede s podatki, ki jih oddajniki pridobijo s satelitov od operaterjev sistema (to omogoča dvosmerna komunikacija). Vse to omogoča, da oddajniki posredujejo sporočila satelitom le, kadar so v njihovem vidnem polju in samo dokler satelit z oddajnika ne sprejme sporočila, ki ne vsebuje napak. Posledično se zmanjša poraba energije in poveča življenjska doba oddajnika (Childress, Demmou, 2006, str. 1-4).



Slika 14: Dvosmerna komunikacija med sateliti in oddajniki (Childress, M., Demmou, M.C., 2006, str. 4).

Začetki uporabe satelitskega sistema Argos za potrebe spremljanja živali segajo v leto 1989, ko je bilo z oddajniki Argos, sicer namenjenih delfinom, na otočju Crozet opremljenih šest velikih albatrosov. Prvi satelitski oddajniki so bili sicer z namenom spremljanja divjih živali in divjine nasploh uporabljeni že v začetku sedemdesetih let prejšnjega stoletja, vendar pa so bili takratni oddajniki še izjemno veliki in težki (tudi po več kg) ter tako prav nič prijazni za uporabo. Z razvojem oddajnikov Argos sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja pa se je marsikaj obrnilo na bolje in v prid uporabe satelitskih oddajnikov v povezavi z divjimi živalmi. Od teh let dalje se je zaradi ugotovljene uporabnosti satelitskega sistema za spremljanje živali uporaba sistema Argos močno povečevala. Sčasoma je sistem Argos postajal vse bolj zanimiv za uporabnike tudi zaradi minimiziranja oddajnikov (slika 15), ki so omogočili spremljanje tudi zelo majhnih živalskih vrst (npr. majhne ptice). Dandanes so platforme oz. oddajniki opremljeni s sončnimi celicami (baterije na sončno svetlobo), najlažji pa tehtajo le še 9 g (v začetku so najlažji tehtali 180 g). Nekateri so oblikovani tako, da so aerodinamični, zaradi česar so za živali v gibanju manj moteči od pravokotnih. S prehodom s sistema Argos-1 na Argos-2 so oddajnikom dodali še raznovrstne posebne senzorje (npr. za merjenje temperature, slanosti, svetlobe, GPS lokacije v realnem času). Take platforme, pritrjene npr. na morske slone in morske pse, omogočajo hkratno pridobivanje podatkov o živalih in morju (med globokimi in ponavljajočimi potopi morskih živali se izvajajo meritve morskih profilov). S tem je poleg spremljanja in proučevanja živali omogočeno tudi ugotavljanje vpliva klimatskih sprememb na različne ekosisteme in živalske vrste (Argos Forum, 07/2003, str. 13; Argos Forum, 10/2009, str. 3; Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 97-102; Argos newsletter, september 2001; Priede, Swift, 1992).



Slika 15: Minimiziranje oddajnikov/sprejemnikov je omogočilo spremljanje tudi najmanjših živalskih vrst (Ropert-Couder, Wilson, 2005, str. 441).



Zaradi vse večjih potreb je bilo potrebno iz tradicionalne prenosne frekvence (401.650 MHz – Argos 1) preiti na širši spekter frekvenc. Preteklim obstoječim frekvenčnim kanalom se je pridružilo še nekaj novih. (Argos newsletter, september 2001, str. 15; Argos newsletter, februar 2000, str. 3).

Dandanes sistem Argos omogoča tudi lociranje izgubljenih ali poškodovanih oddajnikov, ki mirujejo ali se gibajo počasi in od katerih sateliti med enim preходом pridobijo le po eno sporočilo. Lociranje takih oddajnikov je omogočeno s kombiniranjem pridobljenih podatkov oz. sporočil z več satelitov ter podatkov iz več zaporednih prehodov satelitov. V ta namen se izkoristi in uporabi prekrivanje posameznih pasov satelitov oz. se uporabijo pasovi satelitov, ki so blizu skupaj. Tako se za oddajnik, ki proti satelitu med enim obходом pošlje le po eno sporočilo, pridobi večja količina podatkov (združevanje podatkov z več satelitov, pri čemer se signali z oddajnika zbirajo sedem dni) in lahko se dokaj kvalitetno določi njegov položaj (Argos Forum, 09/2006; Argos Forum, 06/2008; Argos Flash, 02/2010).

Poleg minimiziranja velikosti in teže PTT ter njihove aerodinamične oblike se je z razvojem tehnologije povečala tudi njihova življenjska doba. Ker dandanes za uspešen prenos podatkov zadoščajo tudi šibkejši PTT (vendar moč signala za uspešen prenos vseeno ne sme biti prenizka, še posebej na območjih z gosto vegetacijo), se je življenjska doba baterij (in s tem PTT) povečala. K daljšemu delovanju PTT veliko pripomore tudi opremljenost platforme s sončnimi celicami. Mnoge platforme delujejo le po 8 ur dnevno, pač ko je na voljo dovolj sončne svetlobe za napajanje baterije (tudi ob delno oblačnem oz. oblačnem vremenu) oz. je njihovo delovanje omejeno na vnaprej določen časovni cikel (npr. 8 ur deluje, nato 48 ur ne). Platformi je lahko dodana mikroprocesorska enota, ki lahko vključi PTT tudi ponoči. Omogočeno je vklapljanje oz. izklapljanje PTT na daljavo, s čimer se življenjska doba PTT še dodatno poveča. Bistvenega pomena za čim manjšo porabo energije za delovanje PTT in s tem za podaljšanje delovanja baterije so tudi mikroprocesorji, programirani tako, da predvidijo časovne trenutke, ko bodo sateliti v vidnem polju in le takrat aktivirajo PTT (*on-off duty cycles*), da se podatki posredujejo proti satelitu. V primeru spremljanja vodnih živali se prenos v trenutku, ko se PTT potopi pod gladino, avtomatično preneha in se nadaljuje, ko spet pride na površje, kar prav tako ugodno vpliva na porabo energije za delovanje PTT (Argos newsletter, september 2001, str.13; Argos newsletter, februar 2000, str. 15; Millsbaugh,

Marzluff, 2001, str. 99; Priede, Swift, 1992). Življenjska doba baterije je vezana tudi na ekstremne vremenske razmere oz. na dolgotrajno izpostavljenost ekstremnemu mrazu ali vročini (Millsaugh, Marzluff, 2001).

V prihodnosti bo Argos predstavljal pomemben člen sistema GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*), katerega namen je optimizacija obstoječih sistemov za opazovanje Zemlje – optimizacija obdelave opazovanj in distribucije obdelanih podatkov (Childress, Demmou, 2006).

## **2.1.2.2 GPS**

### **2.1.2.2.1 Osnovne informacije**

GPS-telemetrija omogoča spremljanje gibanja živali in prikazovanje teh podatkov na kartah. Kombinacija informacij o značilnostih habitata in informacij iz vzorčenja gibanja oz. premikov bo verjetno v bližnji prihodnosti že dovoljevala izdelavo kognitivnih kart življenjskega okolja živali ter definiranje povezave med obnašanjem živali in njenimi psihofizičnimi sposobnostmi. Uporaba podatkov GPS-telemetrije bo lahko v daljšem časovnem obdobju in na velikih območjih zagotovila zanesljive zaključke o kompleksnih pojavih, kot je npr. vpliv podnebnih sprememb na vedenje in porazdelitev živali (Cagnacci et al., 2010).

GPS-telemetrija za potrebe spremljanja živali temelji na že zelo razširjeni tehnologiji GPS. S tem je omogočena uporaba komponent, ki so bile sicer v osnovi razvite za druga področja. Tak pristop naj bi zagotovil neprestane tehnološke izboljšave in znižal cene (Cagnacci et al., 2010).

Sistem GPS od leta 1993 (začetki sicer segajo v leto 1973) uporabnikom omogoča neprestano določevanje položajev, t.j. 24 ur/dan, v sekundnih intervalih. Sestavlja ga (Bindi, 2007; Tomkiewicz et al., 2010; Millsaugh, Marzluff, 2001):

- 24 satelitov (in še nekaj rezervnih), ki nepretrgoma oddajajo širok spekter radijskih signalov; za prenos podatkov s satelitov proti sprejemniku se uporabljajo frekvence L1 (vsebuje kodi CA – *Code/Acquisition* in P – *Precise*), L2 (vsebuje le P kodo) in L3;
- mreža petih opazovalnih in nadzornih postaj, enakomerno porazdeljenih na zemeljskem površju, ki skrbijo za vzdrževanje časovnega standarda sistema in za izračunavanje efemerid; glavna kontrolna postaja se nahaja v Colorado Springsu v ZDA;
- sprejemniki GPS signala, ki izmerijo in zabeležijo trenutek sprejema signala s satelita ter demodulirajo in ustrezno nadalje uporabijo navigacijska sporočila.

Poleg sistema GPS obstajajo še trije njemu podobni globalni navigacijski satelitski sistemi (GNSS) – ruski GLONASS, evropski GALILEO in kitajski COMPASS satelitski sistem, vendar pa ti sistemi na področju spremljanja in proučevanja živali še niso razširjeni (imajo pa potencial tudi za uporabo na tem področju). Naj omenim še omrežje Inmarsat (*ang. Inmarsat Satellite Communication Network*), ki je sestavljeno iz 10 geostacionarnih satelitov in ga je možno uporabiti za spremljanje (divjih) živali (Bindi, 2007; Tomkiewicz et al., 2010).

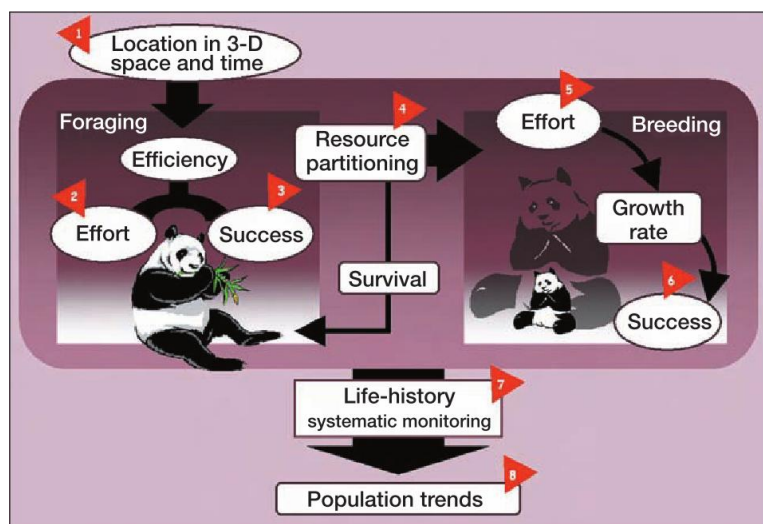
Položaj GPS-sprejemnika se določi na osnovi efemerid in časa, ki preteče od trenutka oddaje signala s satelita pa do trenutka prejema signala. Čas potovanja signala je bistven za izračun (psevdo)razdalj med sprejemnikom in vsemi vidnimi sateliti, te pa so osnova pri izračunu dvorazsežnega (2D) ali trirazsežnega (3D) položaja sprejemnika. Za uspešno določitev položaja GPS-sprejemnika mora le-ta sprejeti signal z vsaj treh satelitov. Iz treh signalov s treh različnih satelitov se ocenita geografska dolžina in geografska širina, iz signalov s štirih satelitov pa se lahko določi še nadmorsko višino, na kateri se nahaja GPS-sprejemnik. Enega od največjih vplivov na točnost ocenjenega položaja GPS-sprejemnika ima usklajenost satelitovih in sprejemnikovih ur. Dandanes GPS-sprejemnik po njegovem aktiviranju za prvo oceno položaja (ob dobri anteni in vidljivosti neba) potrebuje 30 sekund ali manj, ob samih začetkih razvoja tehnologije GPS pa je preteklo precej več časa (10-30 minut), preden je sprejemnik uspel prvič po njegovem aktiviranju oceniti položaj. Zmanjšanje časa, potrebnega za določitev prvega položaja po vklopu GPS-sprejemnika (*ang. time to first fix*) je bilo na področju spremljanja živali bistvenega pomena, saj se sprejemnik zaradi podaljševanja življenjske dobe napajalnega sistema običajno vklaplja in izklaplja v vnaprej določenih časovnih intervalih. Poleg tega je predvsem pri spremljanju vodnih živali bistveno, da se

lokacijo oceni v čim krajšem času, saj se te živali običajno na površju (le takrat je možno normalno delovanje sistema) zadržujejo kratek čas. Za vodne živali je bil zato razvit sistem za hitro določevanje psevdorazdalj (*ang. Quick fix pseudorange*), ki omogoča zelo hitro (v 5 sekundah) pridobitev psevdorazdalj in ostalih informacij, potrebnih za kasnejšo (*ang. post-processing*) določitev položaja (Tomkiewicz et al., 2010; Witt et al., 2010; Introduction to tracking technology – GPS and GIS ; Bindi, 2007; Rodgers, 2001; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Od maja meseca leta 2000, ko se je prenehalo z namernim motenjem GPS-signalov za civilno uporabo (namerno popačenje efemerid in časa satelitovih ur), za doseganje točnosti boljše od 20 m (glede na pravo lokacijo, s 95% verjetnostjo) ni več potrebno postavljati referenčnega GPS-sprejemnika, torej za doseganje take točnosti diferencialni GPS ni več nujen - izjema so nekateri deli zemeljskega površja, kjer zaradi nacionalne varnosti za civilne namene ni mogoče priti do GPS-signala brez motenj. Je pa določevanje položaja premičnega GPS-sprejemnika glede na referenčni sprejemnik z znanim položajem (t.j. diferencialni GPS - ugotovljeno napako na sprejemniku z znanim položajem se uporabi kot korekcijski faktor za ostale premične sprejemnike, s čimer se lahko skoraj v popolnosti izogne vplivu namernih motenj signala in se tako pridobi pravo lokacijo sprejemnikov) še vedno dobrodošlo (pa čeprav terja več časa in več stroškov), saj se s takim pristopom lahko skoraj v popolnosti odpravi vpliv namerno motenih signalov, zmanjša se vpliv ionosfere in troposfere, vpliv napak satelitove orbite in vpliv časovnih napak, s čimer se poveča točnost izmerjenih (psevd)razdalj, s tem pa se bistveno poveča točnost ocenjenega položaja GPS-sprejemnika (točnost položaja boljša od 10 m in povprečna napaka manjša od 5 m – ob 95% verjetnosti). Odkar so frekvenci L1 dodali še frekvenci L2 (zaradi zmanjševanja in odpravljanja vpliva ionosfere) in L3, je možno zagotoviti nekaj metrsko točnost (1-3 m ali celo boljšo). Uspešnost določitve položajev živali z GPS-telemetrijo je na odprtih, neporaščenih območjih in v primerih, ko opazovana žival stoji, večja kakor na poraščenih območjih in v primerih, ko se opazovana žival giba. Visoko drevje predstavlja večjo težavo kot nižje rastoče rastline, prav tako je negativni vpliv drevja na uspešnost določitve položajev večji v obdobju olistanosti in takrat, ko se na vejah visokih iglavcev nabirata sneg in led. Drevesne krošnje in neugodna topografija lahko precej omejitva uspešnost določitve položajev z GPS-sprejemniki, saj je oddajna frekvenca (s satelita proti sprejemniku) zelo visoka (valovna dolžina pa je zato zelo

kratka). Pri določevanju lokacij proučevanih živali lahko z uporabo GPS-telemetrije dosežemo tudi 90% in večjo uspešnost, vendar pa ta variira v odvisnosti od vrste habitata in vednja proučevanih živali (Hulbert, French, 2001; Janeau et al., 2001; Janeau et al., 2001; Rodgers, 2001; Rumble et al., 2001; Tomkiewicz et al., 2010; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Pri GPS-sistemu gre za določevanje položaja GPS-sprejemnika na osnovi *sprejema* signalov (vsako sekundo ali redkeje, odvisno od želene natančnosti oz. ločljivosti poti premikanja živali) s satelitov in ne za oddajanje signalov, ki jih nato sprejmejo sateliti, kot je to značilno npr. za sistem Argos in za radijsko telemetrijo. GPS-sprejemnik (npr. v ovratnici) ob vnaprej določenih/programiranih časovnih intervalih oz. trenutkih (s tem se poveča življenjska doba baterije) sprejme satelitski signal, na osnovi katerega se izračuna položaj živali. Za izračun položaja živali sta bistvena podatka o prostorski razporeditvi satelitov in o časovnem intervalu med trenutkom oddaje in trenutkom sprejema satelitskega signala. Poleg izračunanega položaja živali (v koordinatnem sistemu WGS84) GPS-sprejemnik zabeleži in shrani še datum in čas, na katerega se navezuje posamezna lokacija, status baterije (polna/prazna) ter informacije s senzorjev (če so senzorji dodani enoti GPS).



Slika 16: Kombiniranje več sistemov omogoča pridobivanje širše palete podatkov hkrati (Ropert-Coudert, Wilson, 2005, str. 440).

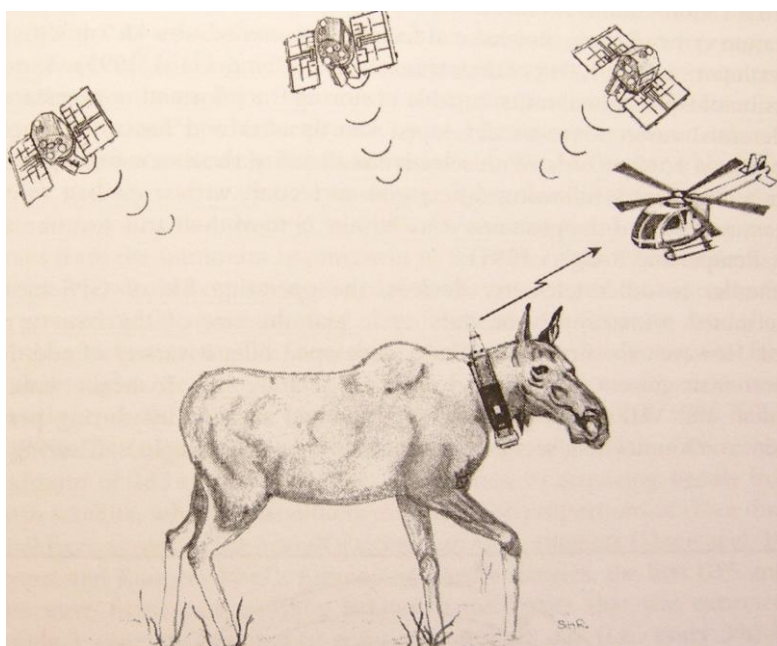
Zabeleženi podatki se običajno shranijo znotraj GPS-enote (npr. GPS-ovratnice), dokler (Bindi, 2007; Introduction to tracking technology – GPS and GIS; Millspaugh, Marzluff, 2001; Rodgers, 2001; Tomkiewicz et al., 2010; Urbano et al., 2010):

- GPS-naprava ne odpade\* z živali (po tem ko je operater napravi na živali posredoval radijski signal s sporočilom, naj se ovratnica 'odpne' oz. je odpadla zato, ker je bila naprava vnaprej sprogramirana tako, da naj odpade še preden se baterija popolnoma izprazni) oz. dokler ni žival ponovno odlovljena in GPS-naprava odstranjena. Boljša je prva možnost, saj je za žival manj stresna.
- Se shranjeni podatki avtomatsko ne prenesejo preko satelitskega sistema Argos (kar omogoča kombinirana GPS-Argos enota, ki je pritrjena na žival).
- Se podatki ne prenesejo preko (satelitskih) komunikacijskih omrežij (GSM/SMS, GSM/GPRS, Iridium, Geofencing in Globalstar satelitski sistem ipd.).
- Se podatki ne prenesejo preko brezžičnih mobilnih omrežij (lahko preko radijskih modemov), vzpostavljenih prav za potrebe določene raziskave, pri čemer omrežje sestavljajo npr. kar naprave, pritrjene na živalih.
- Se v GPS-napravi zabeleženi in shranjeni podatki ne prenesejo preko lokalne komunikacijske povezave, vzpostavljene in nadzirane s strani uporabnika (slika 17):

---

\*Iskanje odpadle naprave je za raziskovalce lažje, če ima le-ta prav za ta namen vgrajen VHF-oddajnik. Naprava še vsaj nekaj dni po tem, ko je odpadla z živali, oddaja VHF-signal, ki raziskovalcem omogoča, da jo hitreje in lažje najdejo (s pomočjo ročne navigacijske enote GPS). Dodan oddajnik VHF oz. UHF v GPS-enoti (kombinirana enota GPS-VHF oz. GPS-UHF) poleg tega omogoča prenos podatkov proti satelitom Argos in LEO oz. proti prenosni sprejemni enoti GPS.

Uporabnik med GPS-enoto na živali in GPS-enoto na prevoznem sredstvu (letalu, vozilu) vzpostavi dvosmerno komunikacijsko povezavo. Preko te povezave se shranjeni podatki preko UHF ali VHF radio modema prenesejo (neprekinjeno ali pa v določenih časovnih intervalih) iz GPS-sprejemnika na živali na enoto na prevoznem sredstvu (ta enota vključuje tudi prenosni računalnik). GPS-enota na živali in GPS-enota na prevoznem sredstvu sta enaki in usklajeni, s čimer je zagotovljena pridobitev absolutnega referenčnega časa (iz GPS-satelitov) in s tem visoka natančnost izmerjenih trenutkov sprejema/oddaje signala, kar pa neposredno vpliva na natančnost določitve lokacije. Za uspešen prenos podatkov mora biti oddaljenost enote na živali od enote na letalu manjša od približno 20 km, od enote na vozilu pa manjša od 5 km. Po uspešnem prenosu podatkov se običajno pomnilnik GPS-enote na živali sprazni, s čimer se naredi prostor za nadaljnje meritve in shranjevanje le-teh do naslednje vzpostavitve lokalne komunikacijske povezave (lokalna komunikacijska povezava se po uspešnem prenosu podatkov prekine).



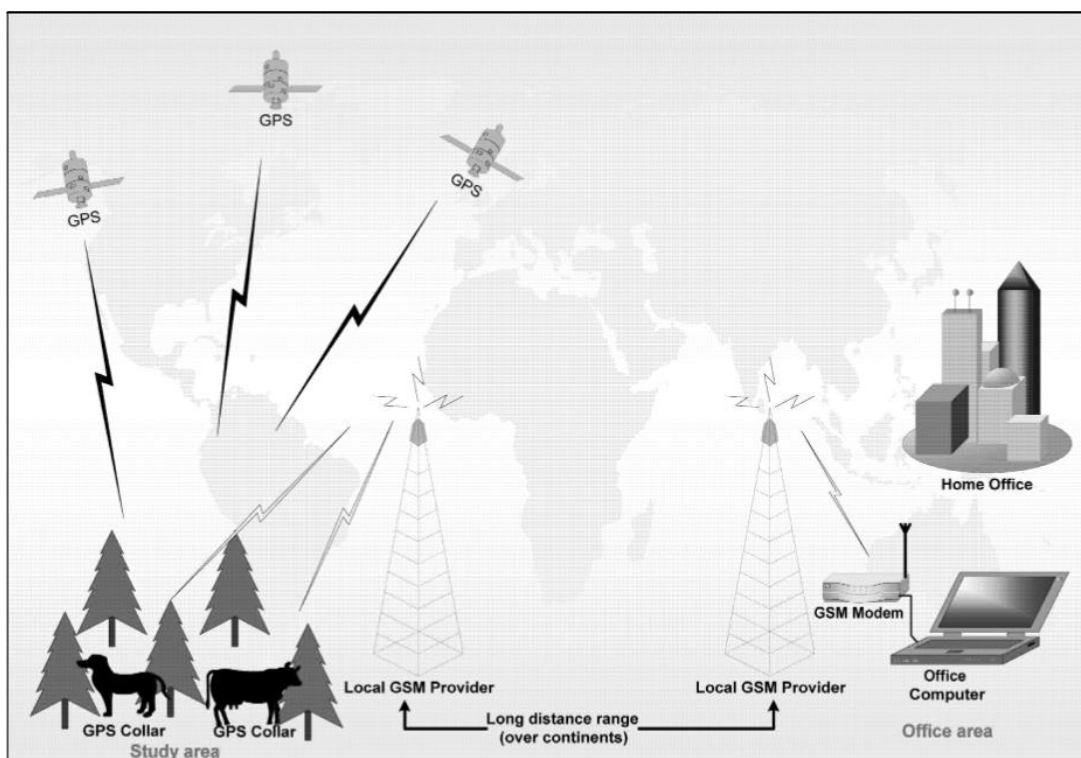
Slika 17: Prenos zabeleženih podatkov z GPS enote na živali preko lokalne komunikacijske povezave (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 105).

V zadnjem času se za prenos podatkov precej uporabljajo kombinirane enote GPS-GSM (slika 18), večinoma v obliki ovratnic. GPS-enota sprejme signale satelita in izračuna lokacijo, na

kateri se je žival nahajala v določenem trenutku. GPS-naprava pridobljene podatke (izračunana lokacija, zabeležen čas in datum,...) v obliki sporočil(a) SMS preko mobilnega radijskega omrežja GSM (*ang. Global System for Mobile Communication*) pošlje raziskovalcu (neposredno v pisarno ali kam drugam). Podatke lahko GPS-enota prek sporočila SMS pošlje uporabniku (raziskovalcu):

- takoj po tem, ko se podatki pridobijo in zabeležijo (takojšen prenos podatkov oz. pošiljanje sporočila SMS je možno le, če je v trenutku ocene položaja živali možna vzpostavitev povezave z omrežjem GSM),
- ali pa se podatki začasno shranijo v GPS-enoti in jih le-ta pošlje (prek sporočila SMS) uporabniku kasneje, ko je povezava z omrežjem GSM (ponovno) vzpostavljena (npr. v primeru, ko se žival v trenutku pridobitve podatka o lokaciji nahaja npr. na gosto poraščenem območju ali na območju, ki ni pokrito s signalom GSM).

Osnovni pogoj za uspešno uporabo kombinirane enote GPS-GSM je (vsaj delna) pokritost s signalom GPS in GSM. GPS se lahko kombinira tudi s svetovnim telefonskim satelitskim omrežjem Globalstar ali Iridium (Huber, 2003; Millspaugh, Marzluff, 2001).



Slika 18: Prenos podatkov z GPS enote na živali preko GSM (Hünerbein, Rüter, 2001, str.



Tehnologija GPS omogoča lociranje živali na vsako sekundo, vendar pa je zaradi omejitev v napajalnih sistemih (življenjska doba baterij ipd.) običajno časovni interval med dvema zaporednima določitvama lokacij večji (enkrat na nekaj minut ali sekund, nekajkrat dnevno, enkrat dnevno, enkrat na več dni,...). Če se v napravo na živali vgradi še sistem za inercialno navigacijo (ta vključuje pedometer, elektronski kompas in akcelometer), se lahko položaji določijo tudi za vmesno časovno obdobje med dvema zaporednima (neposrednima) ocenama položaja. Natančnost na tak način ocenjenih lokacij je pogojena z velikostjo intervala med zaporednimi ocenjenimi lokacijami - manjši interval pomeni večjo natančnost in obratno (Tomkiewicz et al., 2010, str. 2165).

#### **2.1.2.2.2 Omejitve in problemi**

Ena od bistvenih omejitev v sklopu GPS-telemetrije je (in tudi sicer pri spremljanju živali na daljavo) cena naprave, ki se pritrdi na ali vsadi v žival. Cena za GPS-ovratnice za srednje velike in večje kopenske živali se giblje približno med tisoč in šest tisoč evri (VHF-ovratnice so lahko tudi 10-krat cenejše). Zaradi omejenih finančnih sredstev se običajno z dragimi in izpopolnjenimi oddajniki opremlja le nekaj posameznih osebkov. Ker je torej vzorec majhen (z oddajniki se opremlja le nekaj živali), je lahko kakovost narejenih zaključkov ob koncu raziskave vprašljiva (npr. sklepanja o številčnosti populacije). Hubblewhite in Haydon (2010) navajata podatek, da je za zanesljive zaključke treba z GPS-napravami opremiti in spremljati vsaj 20 živali, če gre za enostavnejše študije (npr. enostavna primerjava dveh populacij) oz. vsaj 75 živali, če je študija kompleksno zastavljena. Če glede na cilje raziskave ni mogoče zagotoviti opremljanja in spremljanja ustreznega števila živali z GPS-napravami (ovratnicami), se je bolje posluževati npr. VHF-telemetrije (ker je cenejša, se lahko z danimi finančnimi sredstvi zagotovi spremljanje več osebkov kot z GPS-telemetrijo). V kolikor se lahko do enakih (enake količine enako kvalitetnih) potrebnih podatkov pride s kakšno od drugih (npr. VHF) cenejših metod, je priporočljivo izbrati slednjo. V nekaterih primerih se kot zelo ustrezna možnost lahko izkaže tudi kombinacija npr. enot GPS in VHF (hkrati pa se pri takem kombiniranju tehnologij pojavlja vprašanje o časovni in prostorski usklajenosti podatkov/meritev). Pričakovati pa je, da se bo cena GPS-naprav za potrebe raziskav o živalih zmanjšala s povečanjem povpraševanja po teh napravah (Hebblewhite, Haydon, 2010; Cagnacci et al., 2010).

Poleg cene predstavlja veliko omejitev GPS-telemetrije omejenost na velike živali oz. na živali, ki so sposobne prenašati solarne polnilnike za napajanje baterij GPS-naprave. V preteklosti so GPS-telemetrijo uporabljali predvsem na velikih vretenčarjih (npr. sloni, losi, medvedi), danes pa se z zmanjševanjem velikosti GPS-naprav število živalskih vrst, v povezavi s katerimi je možno uporabiti GPS telemetrijo, povečuje (lisice, golobi, želve itd.). GPS-telemetrijo je dandanes možno uporabiti tudi za proučevanje morskih živali, torej v morskem okolju (Riding et al., 2009; Cagnacci et al., 2010; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Uporaba izključno GPS-telemetrije včasih ne zadostuje, ampak jo je potrebno kombinirati z drugimi tehnologijami. Da bi iz lokacij GPS poleg povezave med živalmi in lastnostmi njihovega habitata pridobili tudi podatke o aktivnostih živali in o naravnih virih, ki jih izkoriščajo, je treba v raziskavo vključiti še podatke z drugih (bio)senzorjev (npr. merilci pospeška) in precizne podatke o podnebnih in okoljskih spremenljivkah, pridobljenih z daljinskim zaznavanjem. Pri tem je pomembno, da je podrobnost in zanesljivost vseh podatkov različnih vrst čim bolj podobna, saj je tako primerjava različnih podatkov veliko lažja (Cagnacci et al., 2010). GPS-podatke se lahko kombinira še s terenskim delom (npr. lociranje sledi (z GPS napravo), ki jih živali pustijo za sabo in beleženje teh sledi), daljinskim zaznavanjem ipd. Le s kombiniranjem z drugimi tehnologijami bo izkoristek uporabe GPS-telemetrije popoln (kolikor je lahko) (Hebblewhite, Haydon, 2010; Urbano et al., 2010).

GPS-tehnologija je napredna tehnologija, ki lahko zagotovi visoko ločljive prostorske in časovne podatke o gibanju živali. Količina pridobljenih podatkov je zelo velika, zato pri upravljanju s temi podatki velik izziv predstavljajo ohranjanje celovitosti in konsistentnosti (doslednosti, usklajenosti) podatkov, izogibanje redundanci oz. izogibanje odvečnim podatkom, avtomatizacija prenosa podatkov, filtriranje in shranjevanje podatkov, upravljanje s specifičnimi podatkovnimi tipi ter standardizacija podatkov in formatov (Cagnacci et al., 2010; Urbano et al. 2010; Coyne, Godley, 2005).

Na nekaterih področjih je uspešnost določitve lokacije večja kot drugod. Ponekod se meritev sploh ne more izvesti. Razlog je običajno v topografiji in gosti poraščenosti. Vpliv terena, vegetacije, vremenskih razmer ipd. na rezultate je lahko precejšen, zato je treba temu v fazi analiziranja posvetiti precejšnjo pozornost. Enaka omejitev se pojavlja v sklopu Argos in

radijske telemetrije, vendar tam omenjeni vplivi predstavljajo še nekoliko večjo težavo. Naštetih in drugih vplivov, ki pogojujejo (ne)uspešno lociranje živali, v povezavi z GPS-telemetričnimi sistemi nikoli ne bo možno popolnoma eliminirati, je pa z razvojem tehnologije in algoritmov omenjene vplive možno bolje definirati in tako priti do boljših rezultatov (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Precejšen problem lahko predstavljajo tudi ovratnice, ki nenadzorovano in nepredvideno odpadejo z živali. Opazovan vzorec se zmanjša, kar lahko negativno vpliva na rezultate raziskave, pa tudi stroški se v takih primerih povečajo (Hebblewhite, Haydon, 2010).

Ker GPS-telemetrija omogoča podrobno spremljanje živali kar iz pisarne (lahko kar preko spletnega programa Google Earth), se nekateri raziskovalci redko ali pa se sploh ne odpravijo na teren, kar pa ni prav. Da bi res razumeli, kako se živali obnašajo, kaj jih sili k selitvam ipd., se je treba včasih odpraviti na teren. Obisk terena namreč omogoča uspešno in kvalitetno povezovanje GPS podatkov/meritev z različnim vedanjem spremljanih živali (pri tem so sicer raziskovalcem lahko v pomoč razni senzorji, kamere itd.) (Hebblewhite, Haydon, 2010; Millspaugh, Marzluff, 2001).

### **2.1.2.2.3 Uporabnost in prednosti**

Bistvene prednosti GPS-telemetrije so visoka pokritost s signalom, možnost neprestanega (tudi ponoči), točnega in natančnega spremljanja živali neodvisno od vremenskih razmer in oddaljenosti, relativno enostavna uporaba, kombiniranje z raznovrstnimi senzorji, zmanjšan vpliv človeka na žival ter možnost dokaj natančnega kartiranja (tudi v realnem času) (Frair et al., 2010; Hebblewhite, Haydon, 2010; Riding et al., 2009; Rumble et al., 2001; Tomkiewicz et al., 2010; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Preden se odločimo za GPS-telemetrijo, je zelo dobrodošlo ovrednotiti vse faze raziskave – vse od obdelave podatkov pa do analiziranja le teh. Za uspešno izvedbo raziskave je še pred njeno izvedbo potrebno oceniti vpliv vseh možnih napak na rezultate raziskave. Oцени naj se vse možne izvire napak na proučevanem območju (na zabeležene GPS-lokacije vplivajo okoljske razmere in vedenje živali) in prouči možne rešitve za morebitne nastale težave. Pred

uporabo je priporočljivo tudi testiranje občutljivosti GPS-enot (Cagnacci et al., 2010; Hulbert, French, 2001).

Podatkovni nizi GPS-lokacij so časovni nizi prostorskih podatkov (ti so običajno pridobljeni v enakomernih časovnih intervalih preko visokih frekvenc prenosa podatkov). Taki nizi poleg pridobitve ostalih informacij s področja ekologije živali (kako in zakaj interagirajo z drugimi osebki svoje vrste, se razmnožujejo, uporabljajo različne naravne vire,...) omogočajo določitev poti gibanja živali, saj časovna razporeditev položajev v podatkovnem nizu predstavlja pot gibanja živali. Čim večja je frekvenca položajev, tem bolj zanesljiva je določitev poti (Cagnacci et al., 2010). Pri tem velja omeniti še (avto)koreliranost med prostorskimi in časovnimi podatki, ki narašča s frekvenco oz. pogostostjo zabeleženih položajev (Urbano et al., 2010; Boyce et al., 2010).

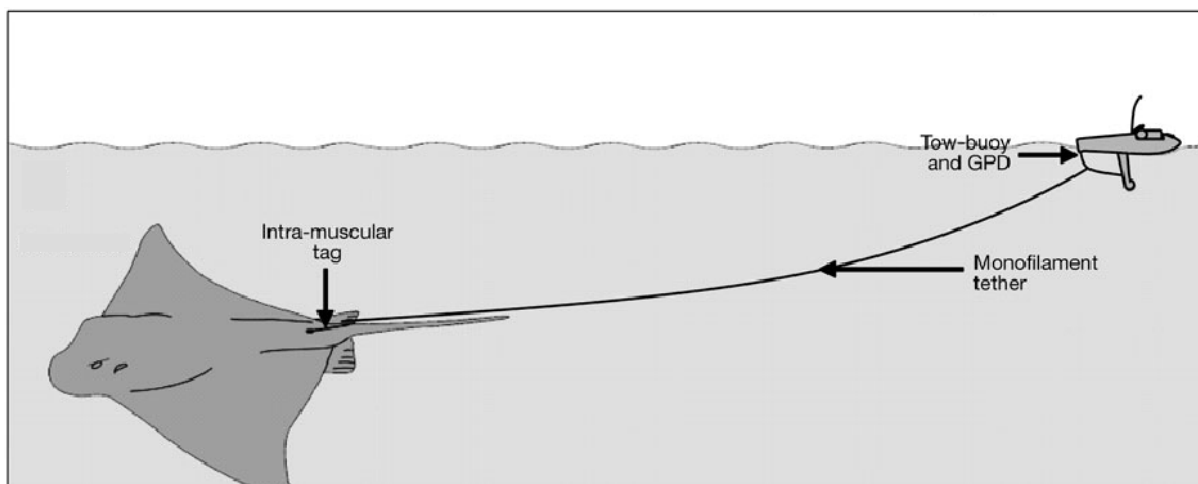
Sistem GPS je možno uspešno povezati s sistemom Argos (ali pa npr. z Globalstar). Kombiniranje obeh sistemov je v primerjavi z uporabo vsakega od teh dveh telemetričnih sistemov posebej lahko zelo koristno. Enota na živali vsebuje tako PTT kot tudi GPS-sprejemnik. Zabeleženi GPS-podatki, opremljeni s podatkom o datumu in času se shranijo in se preko sistema Argos iz PTT prenesejo na satelite NOAA, od tam pa do sprejemnih postaj Argos na zemeljskem površju. Poudariti pa je treba, da se vseh zabeleženih podatkov na tak način ne da prenesti, saj je dolžina sporočila, ki ga lahko sistem Argos obvladuje, omejena. V enem sporočilu se lahko prenese le nekaj geografskih lokacij. Ostali podatki se shranijo v napravi, pritrjeni na žival. Do njih lahko dostopamo šele, ko naprava odpade z živali oz. se žival ponovno odlovi in se ji sname napravo GPS/Argos. V primeru raziskav, pri katerih je treba pridobiti podatke v realnem času, se lahko s sprejemnikom Argos na letalu oz. vozilu prestreže prenos podatkov (signala) proti satelitu, vendar pa mora biti vozilo/letalo dovolj blizu PPT-ja (oddaljenost do 1 km) (Hebblewhite, Haydon, 2010; Millsbaugh, Marzluff, 2001).

GPS-enoti na živali se lahko doda posebna naprava, preko katere se vzpostavi navidezna mejo naokrog proučevane živali (ta ima lahko kakršnokoli obliko, lahko predstavlja odprto ali pa zaprto območje okrog živali). Ko se žival približa navidezni meji, naprava na živali povzroči npr. pisk. S tem (zvočni, kemični ali pa fizični dražljaj) žival odvrne od tega, da bi

prečkala navidezno mejo, ki jo je vzpostavil operater. Napravica na živali mora biti za ustrezno delovanje seveda vnaprej pravilno programirana. Osnova tega principa sta radijska in satelitska tehnologija (Anderson, 2001).

V relativno kratkem časovnem obdobju je možno pridobiti veliko količino točnih podatkov (Urbano et al., 2010), vendar pa ta ne pomeni nujno boljšega razumevanja proučevane živali (Hebblewhite, Haydon, 2010). Če je možno zastavljene cilje doseči npr. z VHF-telemetrijo, za katero je značilna (glede na GPS) bistveno manjša količina podatkov, se je bolj priporočljivo odločiti za slednjo kot za GPS-telemetrijo.

GPS-telemetrija je uporabna tako za proučevanje kopenskih kot tudi vodnih živali. Kadar gre za proučevanje vodnih živali, ki se večino časa zadržujejo globlje pod morsko gladino (npr. želve), kamor signali s satelita ne sežejo in kadar je svetlobe pod vodo premalo za uspešno geolociranje na osnovi svetlobnih signalov oz. je voda motna, zaradi česar je spremljanje živali oteženo, se lahko uporabi posebne boje, v/na katere se namesti GPS-sprejemnike. Boje z GPS-enotami (lahko se jim doda še VHF-oddajnike, razne senzorje ipd.) se poveže z živaljo in ker boja večino časa lebdi na vodni gladini (povezava med bojo in živaljo mora biti seveda dovolj dolga, najbolje je, če je daljša od povprečne globine vode, kjer se žival pretežno zadržuje), je pridobivanje lokacij živali bistveno olajšano in uspešnejše, saj se GPS-enota ne nahaja pod vodo in sta sprejem ter prenos podatkov/signalov boljša (slika 19). Ta metoda je enostavna, glede na ostale metode relativno poceni in lahko zagotovi zelo točne položajne podatke (tudi 10 centimetrska točnost). Alternativa tej metodi je/bo lahko uporaba razvijajočega se Fastloc sistema, ki se ga da kombinirati tako z GPS kot z Argos oddajniki/sprejemniki (Argos Forum, 10/2009; Riding et al., 2009; Witt et al., 2010).



Slika 19: Spremljanje vodnih živali z bojami, na katere so nameščeni GPS sprejemniki  
(Riding et al., 2009, str. 255).

Ker GPS-telemetrija omogoča pridobitev kakovostnih ter časovno in prostorsko zelo zgoščenih položajnih podatkov, je zelo uporabna na področju stohastičnega modeliranja gibanja živali, njihovega habitata, vedénja ipd. Dandanes je v ospredju predvsem izdelava: a) *modelov habitata*, b) *Lagrangejevih modelov* - predvsem za detajlne trajektorije posameznih živali, c) *Eulerjevih modelov* - opisujejo pričakovano obnašanje posamezne živali ali populacije in s tem izrabo prostora, d) *Lévyjevih modelov* - vzorčenje premikov in e) *nekaterih drugih modelov* - npr. modelov, katerih osnova so informacije o tem, ali imajo živali prostorski spomin in kako le-ta vpliva na njihovo gibanje, orientacijo ipd. Modeliranje je pomembno predvsem zato, ker hkrati s statističnimi tehnikami omogoča primerjavo predvidenega (na osnovi teorije) in dejanskega (glede na meritve na terenu) vzorca npr. gibanja živali. Ker se predvideni in dejanski vzorci nikoli v popolnosti ne ujemajo, je stohastično (verjetnostno) modeliranje izredno pomembno. Za vzpostavitev kvalitetnih modelov pa so potrebni kakovostni ter gosti (časovno in prostorsko gledano) lokacijski podatki, zato je GPS-telemetrija v kombinaciji z biosenzorji in statističnimi analizami na področju stohastičnega modeliranja zelo pomembna (Smouse et al., 2010).

GPS-telemetrija lahko zagotovi zelo točne in natančne podatke. S tem, ko se je frekvenci L1 dodala frekvenca L2, se je natančnost bistveno izboljšala. Vsakemu uporabniku se je s tem omogočilo doseganje natančnosti 1-3 m ali boljše. V prihodnosti naj bi se obstoječim

frekvencam dodali še frekvenci L4 in L5. Frekvenca L4 bo zmanjšala napake v opazovanjih, ki so posledica vpliva ionosfere. Frekvenca L5 bo v primerjavi z L2 odprta za prosto uporabo in naj bi jo v letih 2018-2020 oddajalo že vseh 24 GPS-satelitov. Ko se bo to zgodilo, bo lahko vsako tehnološko usposobljeno podjetje na svetu brez težav izdelalo dvofrekvenčni L1/L5 GPS-sprejemnik (Gallileo uporablja L1 in L5 frekvenci), ki bo zagotavljal enako ali boljšo natančnost od sedanjih L1/L2 GPS-sprejemnikov (Triglav, 2010; Tomkiewicz et al., 2010; Hulbert, 2001). To verjetno hkrati pomeni izboljšave tudi na področju proučevanja divjih živali z GPS-telemetrijo.

### 2.1.2.3 Primerjava sistemov GPS in Argos

Z začetkom pojava GPS-sprejemnikov se je uporaba platform Argos zmanjšala, se pa ovratnice Argos še naprej uporabljajo, saj so oddajniki Argos cenejši in lažji kot GPS-sprejemniki. So pa lokacije, pridobljene z Argosovimi ovratnicami nižje položajne natančnosti kot lokacije, pridobljene preko GPS-ovratnic. Vendar pa to dejstvo v nekaterih primerih uporabe ni pomembno. Prednost sistema Argos v primerjavi z GPS je sposobnost pošiljanja podatkov nazaj do satelitov in od tod uporabnikom, kar olajša obdelavo in uporabo zbranih oz. zabeleženih podatkov. Kombinirani sistemi GPS/Argos predstavljajo na področju položajne natančnosti velik napredek, so pa še vedno močno vezani na uspešnost prenosa podatkov do satelitov (Dubinin et al., 2010).

Tako v primeru uporabe sistema Argos kot tudi v primeru uporabe sistema GPS je pred raziskovanjem živali s satelitsko telemetrijo zelo dobrodošlo ugotoviti, kdaj je število prehodov satelitov nad obravnavanim območjem največje, saj tako lahko predvidimo časovne intervale, v katerih bo prenos najuspešnejši. Trenutke oz. časovne intervale, ko bo oddajnik v vidnem polju določenega satelita, se lahko predvidi (izračuna) iz podatkov o orbiti satelita. Prenos sporočil prilagodimo tem časovnim intervalom (oddajnik oddaja sporočila le v predvidenih časovnih intervalih) in tako po nepotrebnem ne praznimo baterije.

Nekatera območja na svetu zaradi prevelikega šuma niso primerna za spremljanje divjih živali s sistemom Argos. Da se zagotovijo ustrezni rezultati, mora biti npr. v južni Evropi zaradi

šuma moč oddajnika tudi na odprtih površinah precejšnja (Argos Forum, 09/2006; Argos Flash, 02/2010).

GPS-telemetrija ima v primerjavi s sistemom Argos nekaj tehnoloških prednosti, med drugim zmožnost kakovostne (visoka točnost in natančnost) določitve položaja na zemeljskem površju (ali v zraku) kar 24 ur dnevno in pogoste posodobitve položaja (Cagnacci et al., 2010).

Satelitski sistem Argos, ki v izračunu položaja upošteva Dopplerjev pojav, je manj točen od sistema GPS in zato za nekatere detajlnejše raziskave ne zadošča, je pa hkrati edini sistem v severni Ameriki, pri katerem je zagotovljeno avtomatično posredovanje podatkov uporabnikom. Sicer pa tako satelitski telemetrijski sistem GPS kot tudi sistem Argos v primerjavi z drugimi tehnologijami, ki jih prav tako lahko uporabimo na področju spremljanja in proučevanja živali, nudita pridobitev zelo natančnih podatkov o lokacijah živali (Cagnacci et al., 2010).

Oba sistema (Argos in GPS) sta omejena z življenjsko dobo baterije in s količino spomina za shranjevanje podatkov. V kombinaciji z Argos in GPS-telemetrijo poleg ostale opreme potrebujemo dovolj zmogljive računalnike z ustrezno programsko opremo ter nekatera specifična znanja (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Tako satelitski sistem Argos kot tudi sistem GPS sta primerna zlasti za beleženje premikov živali, ki na oddaljenih območjih premagujejo velike razdalje. Z ustrezno obdelavo pridobljenih podatkov, njihovim združevanjem z drugimi dostopnimi podatki in njihovo analizo lahko kakovostneje zaščitimo (ogrožene) živalske vrste. Pri študijah habitatov je pogosto potrebno natančno sledenje živalim, pri čemer sta obe omenjeni tehnologiji v veliko pomoč (Millspaugh, Marzluff, 2001; Priede, Swift, 1992).

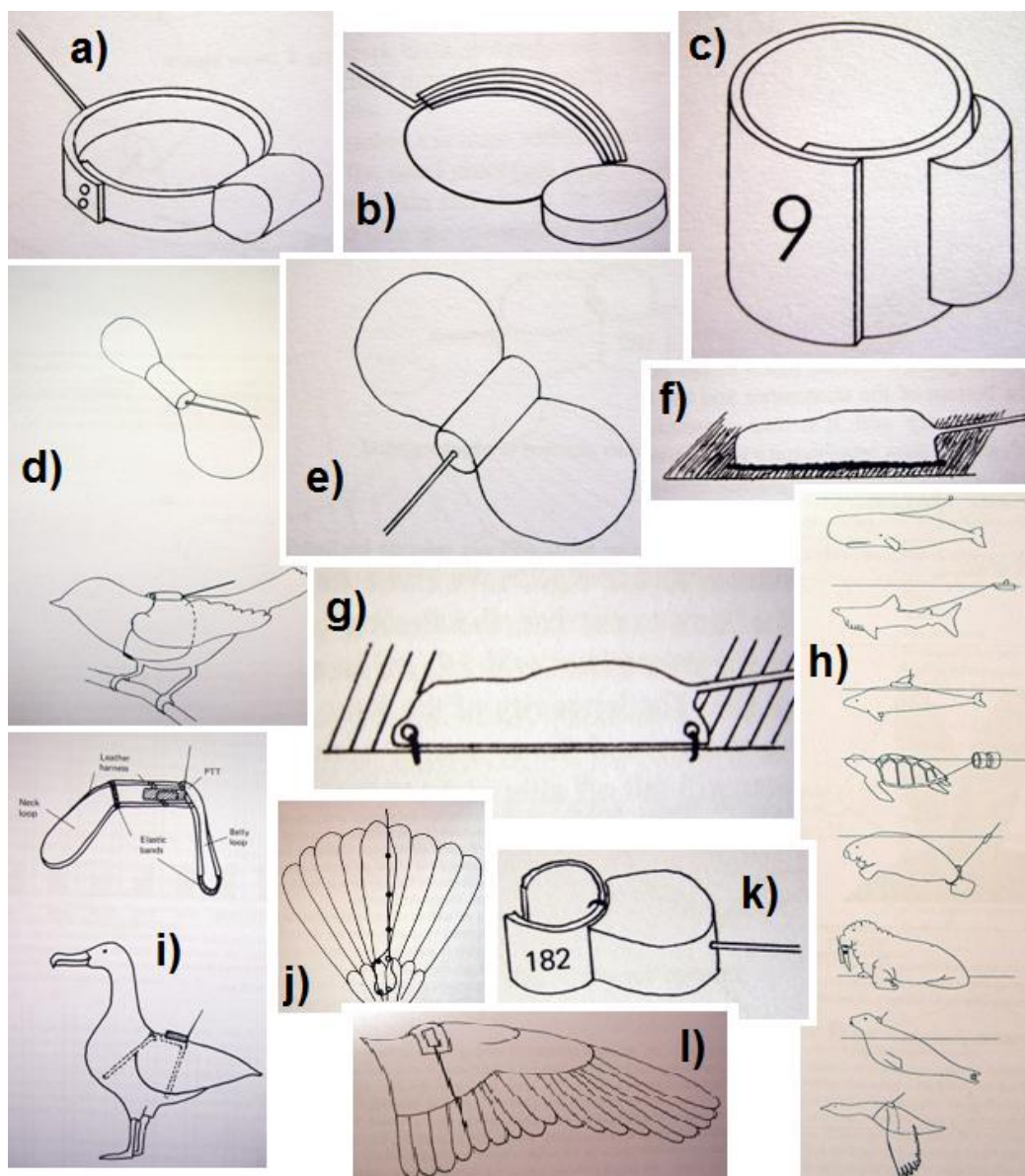
Oba sistema pri določevanju položajev omejujejo vegetacija, vreme, položaj in usmerjenost antene ter geografska širina. Dosegljiva natančnost je zato omejena. Poveča se jo lahko s hkratno uporabo sistema Argos in razvijajočega se sistema Fastloc-GPS (Witt et al. 2010).



### 2.1.3 Tehnološke in oblikovne rešitve za spremljanje različnih vrst živali

Za spremljanje različnih vrst živali so na trgu dostopne najrazličnejše tehnološke in oblikovne rešitve. Izbira ustrezne opreme za posamezno študijo je vezana na cilje in obseg raziskave ter na vrsto proučevane živali. Izbrati je potrebno tako opremo, ki na žival ne bo imela negativnega vpliva oziroma bo ta minimalen in ne bo bistveno vplival na običajno življenje živali. V splošnem naj telemetrična oprema, nameščena na žival, ne bi presežala 3-5% (Bindi, 2007) telesne teže živali (to priporočilo se nanaša predvsem na 2-3 kg težke sesalce, pri lažjih oziroma težjih živalih je potrebno te procente ustrezno prilagoditi). Ker je spekter živalskih vrst glede konstitucije telesa, obnašanja itd. zelo širok, obstajajo številne različne tehnološke in oblikovne rešitve za njihovo spremljanje (slika 20) (Priede, Swift, 1992; Millspaugh, Marzluff, 2001):

- a) ovratnice (primerne so predvsem za sesalce, katerih vratni del je ožji od lobanje);
- b) obeski ali ogrlice (uporabni predvsem pri pticah, običajno se namestijo na prsi);
- c) plastične vizualne označbe, podobne ozkim ovratnicam, za identifikacijo gosi in labodov;
- d), e), i) oddajniki, ki se namestijo pticam ali želvam s pomočjo pasov iz fleksibilnega materiala oz. s kovinskimi navoji;
- f) oddajniki, ki se prilepijo na žival (primerni so predvsem za krajše trajajoče študije, namestijo se na hrbtno stran vratu s pomočjo majhne količine lepila);
- g) oddajniki, ki se na žival pritrdijo s šivi (primerni so predvsem za mlade, hitro rastoče ptice, za sesalce zaradi problemov z infekcijami niso primerni);
- h) različni načini spremljanja morskih živali;
- j) oddajniki, ki se pritrdijo na rep ptice in sicer na eno ali dve repni peresi;
- k) oddajniki, ki se namestijo na noge ptic (običajno se jih uporabi, kadar je žival, običajno ptica, odklonilna do oddajnikov, ki so navedeni pod g) točko);
- l) oddajniki, ki se namestijo na krila (primerno za jastrebe, orle, kondorje,...);
- m) oddajniki, ki se vsadijo v žival (uporabno predvsem za živalske vrste, ki jih ni možno opremiti drugače);
- n) itd.



Slika 20: Različne tehnološke in oblikovne rešitve za spremljanje najrazličnejših vrst živali  
(Priede, Swift, 1992, str. 136-144, 188).

Preglednica 3: Tabela nekaterih proizvajalcev opreme za sledenje živalim in njihovo proučevanje.

Proizvajalec	Uradni spletni naslov	Država	Živalske vrste
Cobham Tracking & Locating Ltd.	<a href="http://www.seimac.com">www.seimac.com</a>	Kanada	morske živali
Kenwood Corporation	<a href="http://www.kenwood.co.jp">www.kenwood.co.jp</a>	Japonska	morske živali in ptice
Lotek	<a href="http://www.lotek.com">www.lotek.com</a>	Kanada	morske in kopenske živali ter ptice
Microwave Telemetry	<a href="http://www.microwavetelemetry.com">www.microwavetelemetry.com</a>	ZDA	morske in kopenske živali ter ptice
MTUCI	/	Rusija	morske živali
NKE Electronics	<a href="http://www.nke.fr">www.nke.fr</a>	Francija	morske in kopenske živali ter ptice
North Star Science & Technology LLC.	<a href="http://www.northstar.com">www.northstar.com</a>	ZDA	morske in kopenske živali ter ptice
Sirtrack Ltd.	<a href="http://www.sirtrack.com">www.sirtrack.com</a>	Nova Zelandija	morske in kopenske živali ter ptice
Telonics, Inc.	<a href="http://www.telonics.com">www.telonics.com</a>	ZDA	morske in kopenske živali ter ptice
Vectronic Aerospace GmbH	<a href="http://www.vectronic-aerospace.com">www.vectronic-aerospace.com</a>	Nemčija	morske in kopenske živali ter ptice
Wildlife Computers	<a href="http://www.wildlifecomputers.com">www.wildlifecomputers.com</a>	ZDA	morske in kopenske živali ter ptice
Sea Mammal Research Unit (SMRU)	<a href="http://www.smru.st-and.ac.uk">www.smru.st-and.ac.uk</a>	Škotska	morske živali
Epson Toyocom Corporation	<a href="http://www.epsontoyocom.co.jp/">http://www.epsontoyocom.co.jp/</a>	Japonska	morske in kopenske živali
Desert Star System	<a href="http://www.desertstar.com">www.desertstar.com</a>	ZDA	morske živali

Kakršnakoli uporabljena oprema na nek način vpliva na žival. Negativnim vplivom se ni možno v popolnosti izogniti, pomembno pa je, da se vsako študijo zastavi tako, da so negativni vplivi uporabljene opreme na proučevane živali, minimalni. Minimiziranje negativnih vplivov ni pomembno le z vidika počutja same živali, ampak tudi z vidika reprezentativnosti zabeleženih rezultatov (če je vpliv opreme na žival (pre)velik, se lahko le-ta začne obnašati drugače kot bi se sicer, zaradi česar so zaključki ob koncu raziskave lahko vprašljivi). Pomembno je, da se že pred raziskavo oceni, kako bo oprema vplivala na proučevane živali. Če se bo uporabila nova oprema, za katero ni na voljo še nobenih zanesljivih podatkov o njenem vplivu na različne vrste živali (še ni bila testirana v nobeni raziskavi), je potrebno o vplivih opraviti predhodno raziskavo (v tej se prouči npr. vpliv oblike, teže in orientacije nameščenih naprav ipd. na žival) (Casper, 2009; Millsbaugh, Marzluff, 2001).

Ker se v različnih raziskavah o živalih uporablja različne naprave, ki jih ponuja sodobno tržišče, je standardizacija opreme in podatkovnih tipov bistvenega pomena. Le tako bodo različne študije primerljive med sabo in bo izmenjava različnih podatkov za potrebe obsežnejših raziskav potekala nemoteno.

#### **2.1.4 Prednosti in slabosti satelitske telemetrije**

Satelitska telemetrija omogoča pridobitev podatkov o lokaciji živali (kje se nahaja in kdaj) po vsem svetu, tudi v realnem času. Podatki o lokaciji se lahko dopolnijo še z ostalimi podatki s senzorja (pri tem mora biti seveda oddajnik povezan s senzorjem) kot so srčni utrip živali, telesna temperatura in ostale fiziološke meritve, zračni tlak, temperatura okolice ipd. Skupek vseh teh zbranih informacij biologom in ostalim znanstvenikom omogoča boljše razumevanje o vedênju živali. Iz pridobljenih podatkov s satelitsko telemetrijo lahko raziskovalci sklepajo o prehranjevalnih navadah živali, o njihovem vključevanju v različna okolja, o razmnoževanju, velikosti in izrabi habitata, o aktivnosti živali, smrtnosti, navadah živali in njihovem vzorcu gibanja (spremljanje poti gibanja živali), o migracijskih poteh, hitrostih premikanja, načinih ter krajih prezimovanja, o globinah, na katerih se zadržujejo vodne živali in času, ki ga preživijo pod gladino, o navadah ob srečevanju z drugimi živalmi,... Iz teh ugotovitev o živalih lahko raziskovalci ugotovijo, katere živalske vrste so ogrožene in jih posledično z uvedbo raznih ukrepov zaščitijo in tako poskrbijo za njihovo ohranitev. Satelitska telemetrija nam torej omogoča, da divje živali dodobra spoznamo in to ne da bi jih pri tem bistveno motili. Ta metoda spremljanja in proučevanja živali je sicer do neke mere invazivna, vendar to še ne pomeni, da njena uporaba ni koristna. Če satelitsko telemetrijo uporabimo premišljeno, njene koristi odtehtajo pomanjkljivosti kot so vznemirjanje živali ipd. Če odmislimo odlov živali in njeno opremljanje z ustreznim oddajnikom in vzamemo v obzir, da naj bi bil na žival pritrjen oddajnik zanjo popolnoma nemoteč, spada satelitska telemetrija že med neinvazivne metode (Priede, Swift, 1992; Millspaugh, Marzluff, 2001; Long et al., 2008). Satelitska telemetrija je torej zelo dobrodošla metoda pri spremljanju in proučevanju živali, vendar le v primerih, kadar je cilj dobronameren, to je ko se uporabi s končnim namenom zaščite, ohranjanja in varstva živali ter boljše interakcije med človekom in živalmi. Nikoli pa uporaba te metode (in drugih invazivnih metod) ne bi smela biti upravičena, kadar gre le za okoriščenje ljudi in ko k dobrobiti živali ne doprinese ničesar.

Prednost te vrste telemetrije je v tem, da ni omejena le na manjši del zemeljskega površja (kar je značilno npr. za radijsko telemetrijo), temveč je njena uporaba možna praktično po vsem svetu. Zato je satelitska telemetrija kot alternativa dobrodošla v primerih, ko zaradi velikih oddaljenosti od cest in letališč (ni mogoča uporaba antene, nameščene na vozilo ali letalo) ni možno uporabiti radijske telemetrije, ki je v primerjavi s satelitsko telemetrijo cenejša varianta. Čeprav je uporaba satelitske telemetrije v primerjavi z radijsko telemetrijo na prvi pogled bistveno dražja, pa je v določenih pogojih tudi stroškovno gledano boljša izbira. Radijske telemetrije se je smiselno posluževati pri proučevanju lokalnih premikov živali in na območjih, kjer teren ni preveč razgiban (kjer ni prevelikih ovir, ki bi vplivale na sprejem signala). V drugačnih pogojih (sledenje živalim daleč, čez gore, oceane, čez meje,...) je kljub večjim začetnim stroškom za opremo najbolj smiselna odločitev o uporabi satelitske telemetrije.

Ena od slabosti uporabe satelitske telemetrije je, da so raziskovalci vezani na življenjsko dobo baterije oddajnika. Dokaj pogosto se tudi dogaja, da se oddajnik iz različnih razlogov loči od živali (ob živalskih dvobojih, lahko se zaplete v vejevje, žival ulovijo lovci ali pa žival oddajnik enostavno moti in se ga znebi itd.) ali pa se poškoduje do take mere, da preneha delovati. To vse pa predvsem zaradi že tako ali tako visokih cen za tovrstno proučevanje živali ni zanemarljivo, ko se odločamo za uporabo satelitske telemetrije za sledenje živalim (Priede, Swift, 1992; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Težavo lahko predstavljajo tudi situacije, ko so iz različnih vzrokov (različna oddajna frekvenca, različna življenjska doba baterij, različno vedenje posameznih živali) podatki pridobljeni z ene živali številčnejši od podatkov pridobljenih z drugega osebka. Problem predstavlja (še posebej kadar se predpostavlja, da so vrednosti neodvisne) tudi prostorska in časovna (avto)koreliranost lokacijskih (ali drugih) vrednosti. Rešitev se skriva v ustrezni statistični obdelavi dobljenih podatkov. (Avto)koreliranost ni prisotna le na področju satelitske ampak tudi radijske telemetrije. Prostorski podatki, pridobljeni s satelitsko ali radijsko telemetrijo so odvisni od topografije, geologije, vrste tal, hidrologije, vegetacije itd. in torej niso neodvisni. Tudi časovni podatki so korelirani (običajno gre za zaporedne meritve v času) (Edrén e tal., 2010; Boyce et al., 2010; Priede, Swift, 1992).

V klasičnih geodetskih nalogah lahko meritve do neke mere prilagodimo (npr. anteno zaradi odboja signala odmaknemo od sten ipd.), v raziskavah živali pa kaj takega ni mogoče. Nekatero živali se zadržujejo v gorah, blizu klifov, prečkajo gosto poraščena območja in soteske,... Topografija ima velik vpliv na prenos signala do satelita, na ocenjen položaj in njegovo natančnost. Če se ve, da se opazovana žival zadržuje npr. na dnu globoke soteske, zaradi česar je oddajnik na živali le kratek čas v vidnem polju satelita, je treba interval oddajanja sporočil z oddajnika proti satelitom povečati. Da bi pridobili kakovostne in realne rezultate, je potrebno pri interpretaciji rezultatov to upoštevati. Upoštevati je treba tudi časovni razmik med trenutkom, ko se podatki zabeležijo (oddajnik s senzorji) in trenutkom, ko se iz teh podatkov izračuna oz. pridobi lokacija živali. To pride do izraza predvsem v primerih, ko je omenjeni časovni interval velik, žival, ki jo spremljamo, pa hitro premaguje večje razdalje in se v trenutku, ko pridobimo njeno lokacijo, dejansko nahaja nekje drugje. Pri interpretaciji rezultatov je potrebno posebno pozornost nameniti tudi območjem, kjer so zabeleženi majhni, kratki premiki živali, saj so tam natančnosti lahko nižje (inherentna nenatančnost) (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Ker so stroški namestitve opreme na posamezne živali visoki in ker imajo lahko nameščene naprave moteč vpliv na živali (invazivna metoda), je smiselno s satelitsko telemetrijo pridobljene podatke uporabiti tudi na drugih področjih znanosti (analiza podnebnih sprememb ipd.) in ne le v sklopu konkretne raziskave o živali(h).

### **2.1.5 Natančnost in točnost satelitske telemetrije**

Pri uporabi satelitske telemetrije za namene spremljanja in proučevanja divjih živali običajno ne govorimo o zelo visokih natančnostih in točnostih, kot je to običajno v klasičnih geodetskih nalogah, ampak se tu srečujemo z nekoliko nižjimi, običajno nekaj metriskimi ali nekaj deset (pa tudi nekaj sto) metriskimi točnostmi določitve lokacije živali. V raziskavah živali takšna točnost običajno zadostuje. S kakšno natančnostjo in točnostjo bomo zadovoljni, pa je seveda odvisno od namena in ciljev raziskave. Za večje natančnosti in večjo točnost moramo uporabiti kvalitetne, sodobne, nadgrajene oddajnike s čim bolj stabilnim oscilatorjem (stabilna frekvenca) v povezavi z ustreznimi satelitskimi sistemi. Prav tako kot je v običajnih geodetskih nalogah pomembna ocena natančnosti ter točnosti, je tudi na področju raziskav

živali s satelitsko telemetrijo pomembno, da se ocenita natančnost in točnost pridobljenih položajev živali. Informacije o natančnosti in točnosti omogočajo lažjo interpretacijo rezultatov in nadzor nad pridobljenimi ter obdelanimi opazovanji – lokacijami oddajnikov oz. živali. Kadar se v sklopu določene raziskave pridobi kakovostne in časovno zgoščene lokacijske podatke, se lahko skupno točnost enostavno poveča tako, da se lokacije slabše kakovosti preprosto izloči iz nadaljnje obravnave. Ocena lokacijske točnosti je pomembna tudi z vidika vpliva na izračunano hitrost pomikanja živali – v splošnem velja, da je s povečevanjem razdalje med dvema točkama in z večjimi lokacijskimi točnostmi izračun hitrosti (izračunana iz podatkov, pridobljenih tekom izvedbe raziskave) kvalitetnejši (Hays et al., 2001, str.1036). V nekaterih primerih točnosti položaja sicer ni mogoče oceniti, so pa taki položaji lahko kljub temu uporabni v raziskavah o živalih (Argos User's Manual, 2007-2011), vendar moramo biti pri njihovi obravnavi previdnejši.

V splošnem za spremljanje živali z velikim habitatom zadostuje manjša točnost (tudi nekaj sto metrov), medtem ko so za spremljanje manjših, finih premikov potrebne višje točnosti (metrske ali boljše) (Hays et al., 2001).

Kadar se živali spremlja preko sistema GPS, so običajno določitev 3D lokacij natančnejše od 2D lokacij, pri čemer so 3D lokacije vezane na podatke s štirih ali več satelitov, 2D lokacije pa na podatke, pridobljene z le treh satelitov (Frair et al., 2010, str. 2189).

### **2.1.6 Uporabnost in primeri uporabe satelitske telemetrije**

Uporabnost satelitske telemetrije na področju spremljanja in proučevanja živali je velika. Slabe vremenske razmere, tema, nedostopen teren in oddaljenost od proučevane živali na področju satelitske telemetrije niso problematični. Z razvojem tehnologije in raznimi izboljšavami ter prilagoditvami oddajnikov oz. platform (lažji in manjši oddajniki, daljša življenjska doba baterije, točnejše določitev lokacij tudi v težavnih geografskih razmerah itd.) je omogočena uporaba satelitske telemetrije za spremljanje in proučevanje najrazličnejših živalskih vrst. Velikih, majhnih, kopenskih in vodnih živali ter ptic (Javed et al., 2003; Millspaugh, Marzluff, 2001).

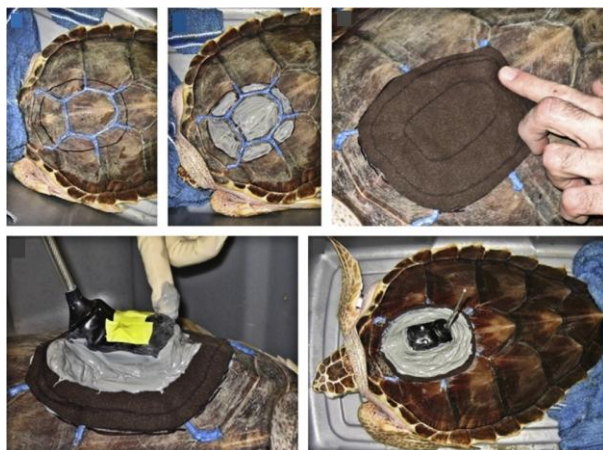
Različne vrste **ptic**, zlasti večje, v zadnjem času pa zaradi razvoja tehnologije tudi majhne, so opremljene s satelitskimi oddajniki. Prek njih se pridobivajo podatki o migracijskih poteh ptic ter o lokacijah, številu in trajanju postankov ob migracijah iz gnezditvenih na prezimovalna območja in nazaj. Na osnovi teh podatkov se lahko ugotovi, na katerih območjih so razmere za postanke in prezimovanje ptic neugodne in se zagotovijo ustrežnejši pogoji (npr. uvedejo se rezervati, kjer imajo ptice postanke, kjer gnezdiijo in prezimujejo). Spremljanje ptic s satelitsko telemetrijo zagotavlja tudi podatke o trkih ptic z letali. Detajlno poznavanje migracijskih poti ptic je pomembno tudi zato, ker so nekatere ptice lahko okužene z nalezljivimi boleznimi, ki jih posledično lahko širijo vzdolž svojih migracijskih poti ter ogrožajo ostala živa bitja. Ustrezna namestitev oddajnika z vidika zagotavljanja njegovega normalnega delovanja ni zanemarljiva. Namestitev oddajnika na ptico je sicer odvisna od telesnih značilnosti posameznih vrst ptic, običajno pa se majhen in lahek oddajnik z anteno s posebnimi pritrjevalnimi trakovi namesti na hrbet ptice tako, da je antena usmerjena nazaj (Argos Forum, 09/2006; Argos Forum, 10/2009).

Satelitska telemetrija se je kot pomembno orodje uveljavila tudi na področju spremljanja in proučevanja **morskih živali** (slike 21, 22 in 23). V preteklosti je bilo te živali težko in pogosto tudi nemogoče spremljati s satelitsko telemetrijo, saj ovratnic zaradi telesne konstitucije teh živali ni bilo mogoče uporabiti. Dandanes takšnih težav ni več, saj so na voljo majhni oddajniki, prilagojeni za proučevanje morskih živali. Na kožo živali so lahko pritrjeni s posebnim lepilom, s pomočjo posebnega pasu se lahko navežejo okrog korena repa živali (če konstitucija živali to omogoča), lahko pa se na žival (npr. na hrbtno plavut kita) pritrdijo s pomočjo samostrela ali posebnih zračnih pušk. Nekatere je možno tudi kirurško vstaviti v žival. Oddajniki imajo vgrajene tudi raznovrstne senzorje, tako da se poleg lokacije živali lahko pridobijo tudi ostali podatki, kot so podatki o okolju, o vedênju živali, potopih živali, o tem, na katerih mestih in koliko časa se žival prehranjuje (senzorji za merjenje temperature v želodcu), kje gnezdi ipd. Vsi ti zabeleženi podatki so raziskovalcem posredovani preko satelitskega sistema in so osnova za detajlno poznavanje živali in posledično za pripravo programov zaščite njihovih habitatov (Argos Forum, 10/2009; Millsbaugh, Marzluff, 2001; Priede, Swift, 1992).

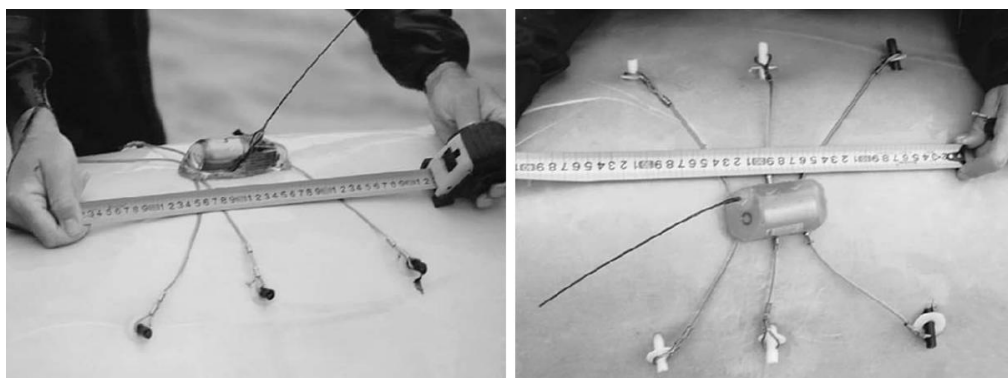




Slika 21: Morski lev z Argos-GPS označbo, prilagojeno za meritve temperature želodca (Argos Forum, 10/2009).



Slika 22: Opremljanje želve s PTT oddajnikom s pomočjo neoprena z namenom ugotavljanja migracijskih poti in rasti želve (Seney et al., 2010, str. 63).



Slika 23: Argos satelitski oddajnik (model SPLASH in SPOT3) na belugi (Shpak et al., 2010, str.58).

Zanimiv je primer uporabe satelitske telemetrije pri spremljanju **velikih rib**, npr. modroplavutih tun (slika 24), morskih psov in mečaric. Oddajnik s senzorji (globina, temperatura, svetloba, tlak, inklinometer) se namesti na površino živali ob hrbtno plavut ali pa se kirurško vsadi v žival in se tako spremlja tudi telesno temperaturo živali. Na površino živali je naprava fiksirana z ribiško vrvico (laksom) iz monofilamenta. V naprej se nastavi časovno obdobje, v katerem se bodo zbirali in beležili podatki z napravo, pritrjeno na žival. Po tem vnaprej definiranem časovnem obdobju (običajno nekaj mesecev do enega leta) se oddajnik loči (odpade – zaradi toka, ki steče po kovini) od živali in splava na vodno gladino, kjer zabeležene podatke končno posreduje proti satelitom. Migracijske poti se določijo na osnovi zabeleženih sprememb v okolici živali (geolociranje na osnovi svetlobnih signalov in globine-tlaka), saj uporaba radijskih frekvenc pod vodno gladino ne pride v poštev (Argos newsletter, februar 2000; Argos newsletter, september 2001; Argos Forum, 06/2008).

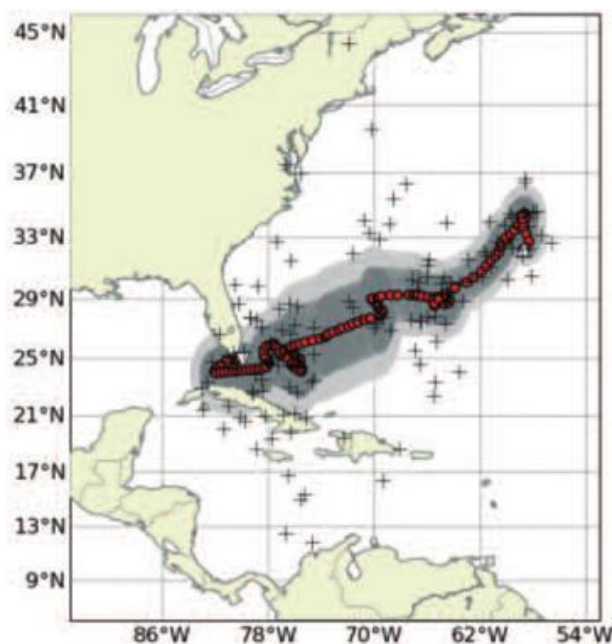


Slika 24: Uporaba satelitske telemetrije za spremljanje modroplavutega tuna (Argos Forum, 06/2008).

Satelitsko telemetrijo se uspešno uporablja tudi v mnogih raziskavah o velikih **kopenskih živalih**. Primer takih živali, ki živijo na velikih površinah odročnih prostranstev, so karibuji. Do razvoja satelitske telemetrije in njene uporabe v raziskavah živali so lahko raziskovalci podatke o teh mogočnih živalih pridobivali le iz letal. Brez težav si lahko predstavljamo, da so bili pridobljeni podatki skopi in da so raziskovalci v prostranih, različno poraščenih območjih črede karibujev pogosto izgubili izpred oči. Pojav satelitskih sistemov in satelitskih ovratnic je sledenje in proučevanje karibujev močno olajšalo, količina in kakovost pridobljenih podatkov pa se je bistveno povečala. Zaradi velikega habitata karibujev in njihovega velikega števila je potrebno skozi daljše časovno obdobje (tudi več let) spremljati veliko število živali. Izbrane živali se ulovi s pomočjo helikopterja, hitro se jim nadene satelitsko ovratnico z

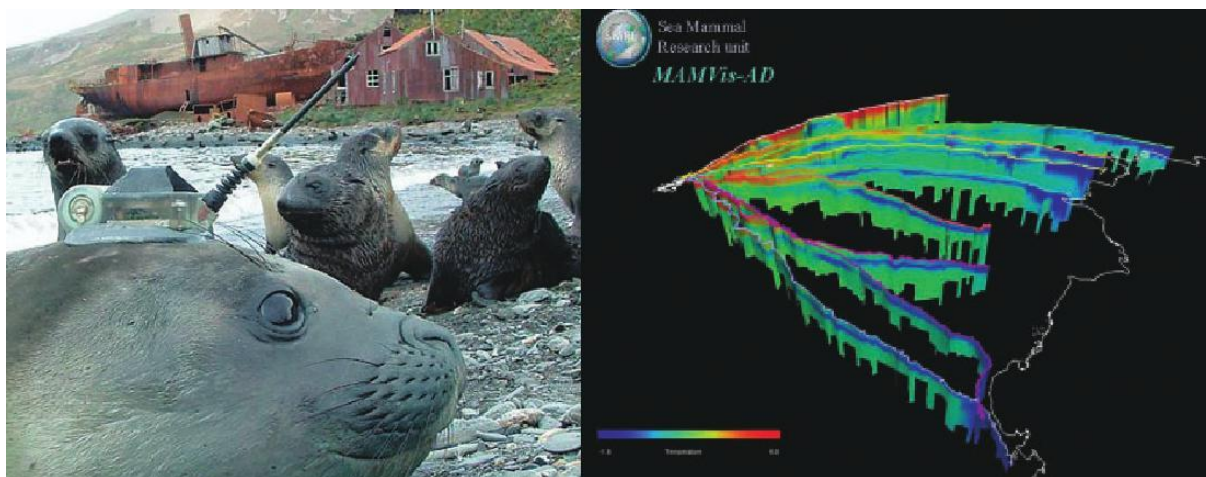
dvema oddajnikoma, takoj za tem se jih izpusti. Visokofrekvenčni oddajnik UHF posreduje informacije o ovratnici (ID-številka, položaj, podatki s senzorja), oddajnik VHF pa v enakomernih časovnih intervalih oddaja signale in tako omogoča lociranje živali na terenu (natančnost določitve položaja znaša znotraj 150 m). Če se v helikopter postavi sprejemnik teh signalov, je posamezno žival izmed tisočih na ogromnih prostranstvih relativno enostavno najti. Na osnovi raznovrstnih pridobljenih podatkov prek satelitskih sistemov (številčnost in porazdelitev posameznih čred in interakcije med njimi, izraba habitata) je možna ustrezna zaščita tudi teh živih bitij. V neki raziskavi medvedov so znanstveniki uporabili ovratnice, ki so jih pred tem nosili karibuji in prišli do zanimive ugotovitve. V raziskavi medvedov so prišli do manj podatkov kot v predhodni raziskavi karibujev z istimi oddajniki. Ugotovili so, da je do tega prišlo zaradi dejstva, da ima medved glavo bistveno nižje od karibuja in zato, ker so se medvedi v tej raziskavi zadrževali v globoki soteski s strmimi stenami (Argos Forum, 09/2006; Argos Forum, 10/2009).

**Vodne živali**, ki so opremljene z oddajniki, se po navadi geolocira na osnovi svetlobnih signalov. Dandanes je zaradi izboljšav algoritmov za oceno položaja tudi s to metodo možno pridobiti trajektorije poti pomikanja živali (slika 25), ki le minimalno odstopajo od prave poti (Argos Forum, 06/2008; CLS, 2009).



Slika 25: Ocenjena trajektorija vodne živali (CLS, 2009, str. 3).

Satelitsko telemetrijo se med drugim prek spremljanja morskih živali uspešno vključuje v **oceanografske raziskave**. Na morske slone (90% življenja preživijo pod vodo) se v času reprodukcije in menjave kožuha, ko pridejo na kopno, namesti naprava z oddajnikom Argos in/ali sprejemnikom GPS in s senzorji za tlak, temperaturo, slanost ter prevodnost. Oddajnik na živali dnevno, skoraj v realnem času, pošilja zabeležene meritve proti satelitom. Rezultat takega spremljanja živali, v konkretnem primeru morskih slonov, so temperaturni in drugi hidrološki profili vzdolž trajektorije oz. migracijskih poti označenih živali. Pridobljeni podatki se združijo s podatki satelitskih (višina in temperatura morske gladine) in preostalih izvedenih opazovanj z oceanografskimi plovili, visečimi bojami, batitermografi ter posebnimi privezi. Informacije, ki jih je moč pridobiti v sklopu spremljanja nekaterih morskih živali, so predvsem na območjih odročne, za ljudi negostoljubne in z ledom prekrte Antarktike nepogrešljive, saj so na tem delu našega planeta ostale metode bolj ali manj neuporabne (drage, nudijo premalo podrobnih podatkov, satelitska opazovanja morske gladine na tem ledenem delu sploh niso mogoča, ...). S pomočjo številnih profilov, ki segajo tudi do 1800 m pod morsko gladino, se uspešno proučuje same morske leve (in nekatere druge vrste morskih živali), poleg tega pa še v današnjem času zelo aktualne klimatske spremembe, vodne vrtince, mešanje hladnih in toplih morskih tokov, interakcijo zraka z vodno gladino, taljenje ledu itd. (slika 26) (Argos Forum, 10/2004; Argos Forum, 09/2006).



Slika 26: Oddajnik s senzorji na morski levinji in pridobljeni surovi podatki (profili) (Argos Forum, 10/2004, str. 8 in 11).

Dandanes človek vse bolj posega v življenjsko okolje divjih živali, zaradi česar nemalokrat prihaja do raznih nesreč. Mnogim živalim v njihovem habitatu pot presekajo ceste. Pri prečkanju so ogrožene tako živali kot tudi ljudje. Da bi trčenja vozil z živalmi preprečili oz. zmanjšali na minimum, se **ob večjih prometnicah** (npr. avtocestah) v ta namen zgradijo prehodi (podhodi, nadhodi), kjer lahko živali varno prečkajo prometno cesto. Poleg tega se direkten dostop živalim na cestišče prepreči z ustrezno dolgo in visoko ogrado. Ob tem se pojavlja vprašanje, katere cestne odseke je potrebno zavarovati z ograjo ter tako speljati živali do varnih prehodov, koliko prehodov je potrebnih in kam jih umestiti v prostor, da bodo kar najbolje služili svojemu namenu. Odgovor na zastavljena vprašanja nam nudi satelitska telemetrija. Pridobljene GPS-lokacije opazovanih živali se v orodjih GIS analizirajo, na osnovi česar je mogoče že pred izgradnjo ali rekonstrukcijo ceste oceniti, koliko ograj ter prehodov (in kje) bo potrebno postaviti, da bo cesta kar najbolj varna za živali in ljudi (Argos Forum, 07/2003).

Satelitska, pa tudi radijska telemetrija, omogočata tudi **registriranje ilegalnih odlovov** živali. Obe omenjeni vrsti telemetrije v današnjih časih, ko so oddajniki/sprejemniki majhni in lahki, omogočata spremljanje ne le večjih, ampak tudi majhnih živali. Ob tem je treba poudariti, da manjšo žival lahko opremimo le z dovolj majhnimi (glede na njeno težo in velikost) napravami, zavedati pa se moramo, da sta moč in domet majhnih naprav manjša. Temu primerno je treba osnovati raziskavo.

Navedenih je le nekaj primerov, dejansko pa se satelitska telemetrija uporablja še za spremljanje in proučevanje mnogih drugih vrst živali. Vse ali pa vsaj večina raziskav najrazličnejših živali ima skupen namen: pridobiti čim več kakovostnih podatkov o samih živalih, o njihovem okolju, o vplivu ekoloških ter naravnih katastrof in klimatskih sprememb (Cagnacci et al., 2010), o interakcijah z ljudmi (razni posegi v naravo) ipd. ter jih glede na pridobljena spoznanja ustrezno zaščititi.

## **2.2 Radijska telemetrija**

Podobno kot s satelitsko telemetrijo se lahko podatke o lokaciji, premikih, demografiji, obnašanju, fiziologiji, smrtnosti, razmnoževanju in druge podatke o divjih živalih pridobi tudi z radijsko telemetrijo oziroma prek radijskih oddajnikov. Kronološko gledano je radijska telemetrija predhodnica satelitske telemetrije. Slednja je pravzaprav del radijske telemetrije. Tako kot v primeru satelitske telemetrije gre tudi pri radijski telemetriji za spremljanje živali (oziroma za pridobivanje podatkov o živalih) na daljavo. Izjema je zbiranje fizioloških podatkov, ki je običajno omejeno na živali v kletkah ali v kako drugače omejenem prostoru, pri čemer se oddajnik običajno vsadi v žival (pri tem je pogosto potreben veterinarski nadzor).

### **2.2.1 Zgodovina radijske telemetrije**

Zgodovina radijske telemetrije je podrobno predstavljena v knjigi *Radio tracking and animal populations* (Millsbaugh, Marzluff, 2001), v sklopu te točke pa za lažje razumevanje mojega diplomskega dela podajam le nekaj pomembnejših povzetkov iz omenjene knjige.

Začetki spremljanja divjih živali z radijsko telemetrijo segajo v konec petdesetih oziroma v začetek šestdesetih let prejšnjega stoletja. V severni Ameriki so že takrat lahko nekaterim živalskim vrstam (predvsem majhnim vrstam, orlom, pa tudi nekaterim nekoliko večjim živalim) s to tehnologijo sledili več dni. Že v tistih časih, ob samem začetku uporabe radijske telemetrije za namene proučevanja divjih živali, so znanstveniki prišli do ugotovitve, da je prenos podatkov na osnovi kratkih radijskih signalov (pulzov) učinkovitejši od neprekinjenega prenosa (neprekinjeno oddajanje signala). Zaradi tehnoloških omejitev (predvsem težave z baterijami) so bile nekatere ocene (npr. ocene o preživetju) v prvih letih pristranske. Kljub vsemu pa je radijska telemetrija za raziskovalce divjine kmalu postala pomembno orodje, saj je za pridobitev ključnih podatkov o lokacijah, premikih in vedênju živali zadostovalo spremljanje živali v krajšem časovnem obdobju in z nižjo zanesljivostjo (kljub nekaterim tehnološkim omejitvam je radijska telemetrija ustrezala potrebam raziskovalcev divjine).

Sčasoma se je tehnologija vse bolj razvijala, s tem pa se je razvijala in izpopolnjevala tudi oprema. Postopoma so v radijsko telemetrijo z namenom sledenja živalim, opremljenimi z oddajniki UHF, začeli vpeljevati uporabo satelitov. Postopoma so izboljšali tudi elektronska vezja, ki so omogočila pridobitev zanesljivejših podatkov z oddajnikov VHF.

Začetnemu navdušenju in hitremu vzponu radijske telemetrije v prvih dvajsetih letih od pojava te metode je sledil začasni upad zanimanja za to vrsto telemetrije. Predvidevajo, da je do upada prišlo zaradi preveč kvalitativno usmerjenih prvotnih raziskav, pri katerih je bila uporabljena radijska telemetrija. Kljub temu pa je radijska telemetrija za okoljske biologe predstavljala pomembno orodje. S pomočjo radijskih oddajnikov so namreč lahko spremljali uspešnost ponovne naselitve nekaterih živalskih vrst v njihovo naravno okolje. Ker so se že takrat zavedali dejstva, da lahko oddajnik vpliva na preživetje živali (še posebno ptic, če je nanje pritrjen s pasovi), so le-tega na žival namestili tako, da je po tem, ko so ugotovili uspešno vključitev živali v divjino, z nje enostavno odpadel.

V osemdesetih letih prejšnjega stoletja so se pojavile mnoge nove tehnike analiziranja podatkov (npr. metoda najbližjega soseda itd.). Ker je v tistem času programska oprema postala dostopna tudi za uporabo na osebnih računalnikih, so lahko raziskovalci divjine brez večjih težav analizirali demografijo in vedênje z radijskimi oddajniki opremljenih živali, z novimi programi pa so lahko opravljali tudi že omenjene analize preživetja v sklopu obnovitvenih programov (ponovna naselitev živali v naravno okolje).

Obdobje po letu 1990 je zaznamovalo predvsem izboljšanje tehnologije za radijsko telemetrijo. Relativno težki, masivni oddajniki iz začetnega obdobja so postali lažji in manjši (s tem je bilo omogočeno spremljanje vse več vrst živali, tudi manjših), izboljšala se je tudi prostorska ločljivost (konec devetdesetih let je bilo že mogoče doseči ločljivost večjo od 100 m). Vojaško naravnani GPS-sistem je začel prehajati tudi v domeno civilne rabe. Ocena položaja GPS-sprejemnika na osnovi sistema 24 satelitov je za biologe tako postajala vse pomembnejša. Pojavili so se geografski informacijski sistemi, ki so z združevanjem podatkov o topografiji, sestavi in pokrovnosti tal, vegetaciji, aktivnostih človeka in klimi omogočili izdelovanje kompleksnih kart. Le-te so raziskovalcem precej olajšale delo pri ugotavljanju premikov in vedênja živali ter pri ugotavljanju njihovega interagiranja z (naravnim) okoljem

in z drugimi živimi bitji. Satelitske podobe so olajšale zabeležbo premikov živali na kartah habitatov, ki se lahko raztezajo tudi preko ogromnih, prostranih območij. V tem obdobju so na raziskave pozitivno vplivale tudi nove tehnike pritrjevanja oddajnikov na živali (predvsem ptice) s posebnimi pasovi. Ker so se pasovi, s katerimi so pritrdili oddajnik na ptice, le-tem tesno prilegali, se je zmanjšal negativen vpliv nošenja oddajnika na prehranjevanje in s tem na preživetje ptic v njihovem naravnem okolju.

Kljub velikemu tehnološkemu napredku so PTT-oddajniki in GPS-sprejemniki satelitskih signalov v primerjavi z relativno visoko zanesljivimi VHF-oddajniki še vedno precej dragi.

Z izboljšanjem in avtomatizacijo postopkov beleženja oz. pridobivanja podatkov se je količina podatkov, ki jih je možno preko oddajnika pridobiti od posamezne živali, močno povečala. Z uporabo mikroprocesorjev, baterij z daljšo življenjsko dobo in dodatnih senzorjev se je povečala tudi kakovost podatkov. V sklopu posameznih raziskav je spremljanih vse več živali, pri čemer se od vsake od živali poskuša pridobiti čim več (kakovostnih) podatkov. Za obdelavo in analiziranje velikih (vse večjih) količin pridobljenih podatkov je potrebna ustrezna programska oprema in zmogljiv(i) računalnik(i). Že razviti (in tisti v razvoju) avtomatizirani postopki lahko pri obdelavi in analizah podatkov raziskovalcem prihranijo precej časa. Še posebno uporabni so tisti avtomatizirani postopki, ki omogočajo določitev oz. izbiro *a priori* ocene (kakšna je njena vrednost, je odvisno od ciljev raziskave, števila pridobljenih lokacij, strukture habitata itd.).

S povezovanjem radio-telemetričnih podatkov s podatki GIS o življenjskem okolju označenih živali je omogočena izdelava kompleksnih populacijskih modelov, kar je na področju ekologije bistvenega pomena.

### **2.2.2 Značilnosti in princip delovanja radijske telemetrije**

Radijska telemetrija je pri pridobivanju podatkov o živalih, ki se veliko in daleč selijo in jih je sicer težko spremljati, bistvenega pomena.



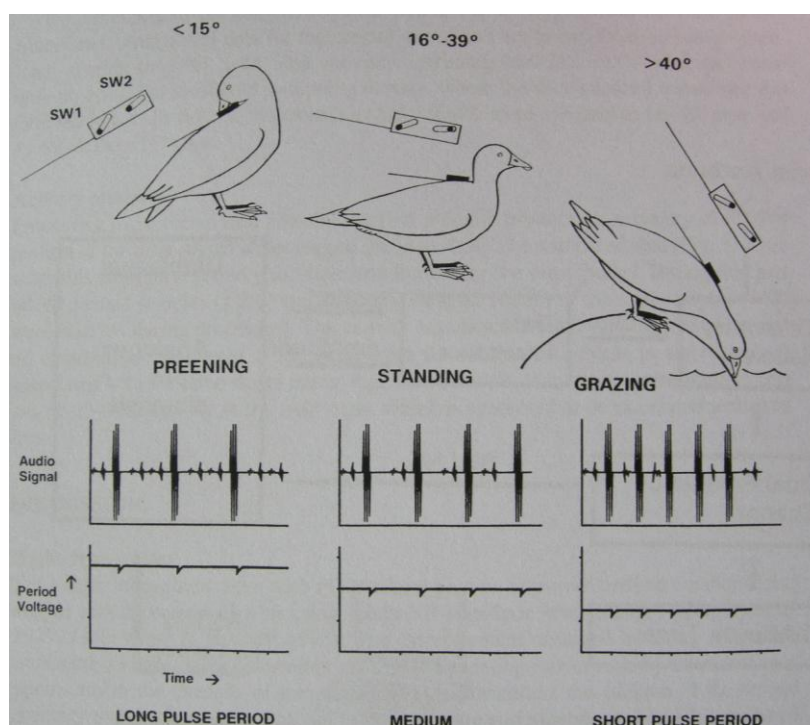
V sklopu radijske telemetrije obstajata *dva osnovna načina* opazovanja živali: opazovanje iz zraka in opazovanje s površja Zemlje. Opazovanje iz zraka je smiselno v primerih proučevanja živali, ki v relativno kratkem časovnem obdobju prepotujejo velike razdalje, saj se lahko iz zraka naenkrat (ali v kratkem časovnem intervalu) opazuje veliko površino. Seveda pa je natančnost položajnih koordinat v tem primeru omejena, prav tako je pogosto problematična vidljivost. Opazovanje s tal v nasprotju z opazovanji iz zraka nudi detaljne, sočasno zbrane podatke, za beleženje velikih premikov pa ni primerno. Tudi pri tej metodi so seveda prisotne napake pri ocenjevanju položajev živali. Poleg tega je lahko opazovanje s tal za opazovane živali moteče in bolj invazivno od spremljanja iz zraka (Millspaugh, Marzluff, 2001).

*Najbolj običajen princip* spremljanja z radijsko telemetrijo je sledeč. Žival je opremljena z radijskim oddajnikom VHF, sistemom napajanja in anteno (slika 27). Vsi ti elementi so lahko na žival pritrjeni v obliki ovratnice ali kako drugače. Vsak oddajnik ima svojo značilno (drugačno od drugih oddajnikov) frekvenco in oddaja signal v obliki zase značilnih impulzov. Edinstvenost frekvence in impulzov signala vsakega posameznega oddajnika omogoča nedvoumno ločevanje živalskih osebkov, označenih z radijskimi oddajniki (v primerih, ko ni možno uporabiti več različnih frekvenc, se za več živali uporabi isto frekvenco, posamezne osebkove pa se med sabo loči glede na kodiran impulz signala ali pa glede na podatke iz senzorja – na primer glede na srčni utrip). Radijski sprejemnik sprejme z oddajnika oddane radijske signale v obliki (običajno kodiranih) impulzov. Na osnovi zaznanega signala se oceni lokacija posamezne proučevane živali. Osnovni princip določitve lokacije je triangulacija – radijski signal z oddajnika na živali sprejmeta vsaj dva radijska sprejemnika (npr. ročni anteni ali pa fiksni sprejemni postaji), nato pa se po principu triangulacije določi položaj živali. Za vsako žival mora biti znano sledeče: datum, ko je bila žival odlovljena, opremljena z oddajnikom in nato spuščena nazaj na svobodo, datum, ko je bila zadnjič locirana in status (miruje, se giba ipd.) ob zadnjem lociranju (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Bistvene sestavine funkcionalnega radijsko telemetrijskega sistema so (Millspaugh, Marzluff, 2001):

- oddajnik radijskih signalov,
- napajalni sistem (baterije),

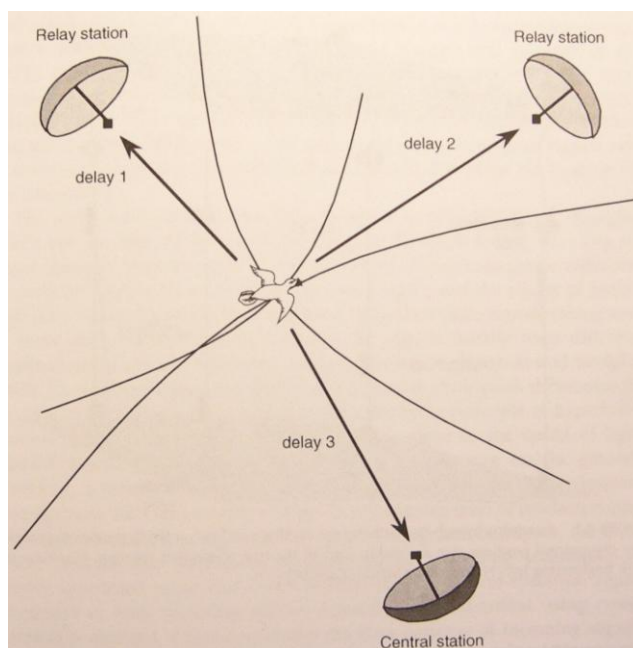
- mikrokontroler,
- antena,
- senzorji (za zaznavanje temperature telesa in okolice, zračnega/vodnega pritiska, premikov, pogina, časa potapljanja pri morskih živalih, aktivnosti in srčnega utripa – to dvoje zaznamo z v telo vgrajenim elektrokardiogramom ali elektromiogramom, slanosti vode ipd.),
- enota za beleženje in shranjevanje (do prenosa) zaznanih podatkov,
- sprejemnik radijskih signalov,
- telefonski in/ali radijski modem.



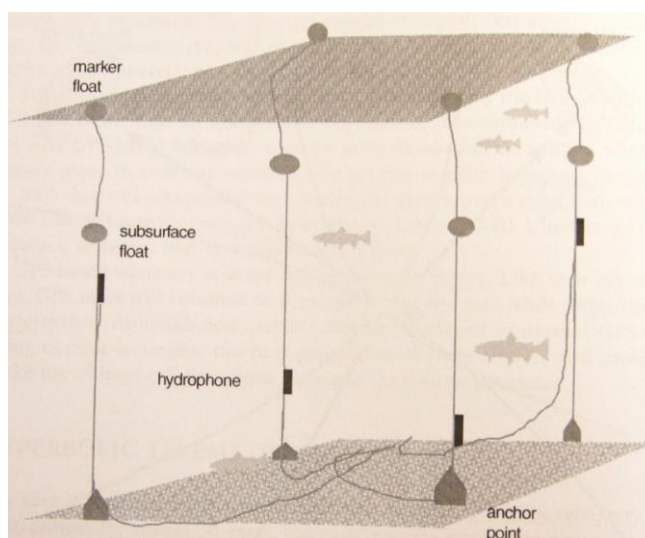
Slika 27: Spremljanje aktivnosti race (Priede, Swift, 1992, str. 603).

Za namene proučevanja morskih živali se v sklopu radijske telemetrije uporabljajo predvsem VHF radijski oddajniki s frekvenco 100-200 MHz ali pa akustični oddajniki s frekvenco približno 30-100 kHz (v slanih vodah). **Lokacije** morskih živali se običajno določijo na osnovi **meritev svetlobe** na določeni globini (Millsaugh, Marzluff, 2001).

Poleg že predstavljenega najpogostejšega oziroma najbolj običajnega principa spremljanja živali z radijsko telemetrijo je v sklopu radijske telemetrije precej uporaben še en način določevanja lokacij divjih živali. Gre za **hiperbolični telemetrični sistem** (slika 28). Začetki razvoja tega sistema segajo v sedemdeseta leta prejšnjega stoletja. Osnovni princip delovanja hiperboličnega telemetrijskega sistema je sledeč. Radijski signal oddan z oddajnika na živali sprejmejo vsaj tri sprejemne postaje. Običajno je sistem sprejemnih postaj sestavljen iz dveh repetitor postaj (ang. *repeater* oz. *relay station*) in ene centralne postaje. Repetitor postaje sprejete signale (oddane z oddajnika) posredujejo centralni postaji, kjer se vsi pridobljeni podatki obdelajo in shranijo. Rezultat obdelave v centralni postaji je ocenjena lokacija oddajnika, ki je pritrjen na žival in s tem torej ocenjena lokacija živali. Postopek lociranja oddajnika temelji na meritvah časa. Za vsak par postaj se izračuna časovna razlika med trenutoma sprejema signala (npr. trenutek sprejema signala na postaji *A* je  $t_1$ , postaja *B* pa je signal sprejela v trenutku  $t_2 \rightarrow$  časovna razlika med trenutoma sprejema signala na postaji *A* in *B* je  $|t_1 - t_2|$ ). Na osnovi teh časovnih razlik se za vsak par postaj določi krivuljo - hiperbolo. Oddajnik (oz. žival) se nahaja v presečišču hiperbol. Ta princip lociranja živali je primeren predvsem za spremljanje živalskih vrst, katerih migracijske poti so relativno kratke. Dosegljiva je točnost, primerljiva z GPS-točnostjo. Točnost določitve položaja oddajnika je seveda močno odvisna od točnih in usklajenih meritev časa na postajah. Za končno točnost 1 m mora biti sistem sposoben časovne intervale ( $|t_1 - t_2|$ ) zabeležiti s točnostjo 3 ns. Natančnost je v precejšnji meri odvisna še od moči signala (moč se zmanjšuje z interferenco, elektromagnetnimi vplivi,...) in večpotja (ang. *multipath*). Vpliv teh dveh dejavnikov je lahko zelo velik, zato sistem zabeleži le signale, ki omogočajo natančno in točno lociranje. Podoben hiperbolični sistem za spremljanje živali je razvit tudi za podvodne študije in omogoča določitev 3D položaja oddajnika s točnostjo 1 m<sup>3</sup> (slika 29) (Millspaugh, Marzluff, 2001).



Slika 28: Hiperbolični telemetrični sistem s tremi sprejemnimi postajami (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 115).



Slika 29: Vodni hiperbolični telemetrični sistem s štirimi sprejemnimi postajami (Millspaugh, Marzluff, 2001, str. 116).

**Za pridobitev podatkov o migracijskih poteh** je primerna npr. taka sestava radio-telemetričnega sistema: z radijskim oddajnikom opremljena žival in vsaj dve sprejemni postaji z znanim položajem. Iz sprejemnih postaj se proti živali periodično (časovni interval je odvisen od namena raziskave) izvajajo meritve azimutov. Iz teh meritev se nato s

triangulacijo določi (oceni) lokacijo živali z oddajnikom v določenem trenutku. S takim radio-telemetričnim sistemom ocenjene lokacijske vrednosti v splošnem niso zelo natančne. Alternativno omenjeni metodi predstavlja iterativni razširjeni Kalmanov filter (glajenje ocenjenih migracijskih poti) (Millspaugh, Marzluff, 2001).

### **2.2.3 Natančnost in točnost radijske telemetrije**

Potrebna natančnost in točnost sta odvisni od vrste in namena ter ciljev raziskave (to velja tako za radijsko kot satelitsko telemetrijo in druge metode).

Kadar nas pri spremljanju živali z radijsko telemetrijo zanima le groba določitev migracijskih poti, zadostuje določitev le nekaj lokacij nižje točnosti in natančnosti tekom obdobja migracij. Nasprotno pa za detajlno določitev npr. izrabe habitata potrebujemo večje število natančnih in točnih lokacij tekom celotne sezone (vsak dan, za vse dele dneva, za celotno sezono/leto).

Na sprejem signala in točnost položaja živali v sklopu radijske telemetrije vpliva sledeče (Millspaugh, Marzluff, 2001):

- Napaka pri kartiranju (zabeležene oz. kartirane lokacije je koristno preveriti na terenu npr. z ročno GPS-napravo).
  - Odboj signala na poti od oddajnika proti sprejemniku zaradi snega, kamnitih sten, goste vegetacije, topografije ipd.
- Vidnost (t.j. prosto pot signala od oddajnika do sprejemnika) se dandanes brez večjih težav lahko predvidi z uporabo digitalnih modelov višin in funkcij GIS. Na področjih z ugotovljeno oz. predvideno slabšo vidljivostjo je priporočljivo sprejemnike postaviti na slemena. Večje frekvence prenosa in šibkejši signali predstavljajo večji problem (manjša natančnost v primerjavi z nižjimi frekvencami prenosa in močnejšimi signali). Odboj se lahko pojavi tudi, kadar sicer na poti med oddajnikom in sprejemnikom ni ovir, t.j. kadar je antena in/ali oddajnik blizu tal. Zavedati se je treba, da je na nekaterih območjih nemogoče dovolj točno določiti lokacije živali. V takih primerih je koristno poseči po drugih tehnikah spremljanja živali – npr. spremljanje iz zraka.

- Vegetacija.

V splošnem je vpliv vegetacije na prenos in sprejem signala večji ob gosti poraščenosti (gosto drevesno vejevje in olistanost). Moč sprejetega signala se zmanjša, če se antena nahaja blizu drevesnih krošenj ali pod večjim drevjem. Temu pa ni vedno tako, zato je pomembno, da se za vsako obravnavano območje posebej (in za vse letne čase posebej) prouči vpliv vegetacije na radijske signale in s tem na natančnost ocenjenih položajev živali.

- Elektromagnetni vplivi.

Sprejemne postaje, ki se nahajajo blizu izvora močnih elektromagnetnih valovanj, niso uporabne za sledenje živalim z radijsko telemetrijo in to kljub brezhibni 'vidljivosti' in z vegetacijo neporaščenem terenu. Elektromagnetni vplivi na radijski signal so: alarmni sistemi, sistemi za avtomatsko odpiranje garažnih vrat, preleti letal, elektrovi in podobni drugi vplivi urbanega okolja. Vsem omenjenim vplivom se je dobro (če je le možno) čim bolj izogniti (npr. izvajanje meritev dovolj daleč od elektrovi) oz. je treba analizirati njihov vpliv na rezultate. Zvočno interferenco se da zmanjšati z rahlimi premiki ročne antene oz. s spreminjanjem ravnine antene.

- Premiki živali.

Spremljanje premikajoče se živali da boljše rezultate, če se premikajočo žival spremlja hkrati prek dveh ali več sprejemnih postaj. Za spremljanje živali je sicer dovolj že ena sama oseba (v vozilu, letalu ali peš), opremljena z ročno anteno.

- Vplivi operaterja.

V to kategorijo vplivov prištevamo nenatančno odčitavanje smeri vzdolž antene z ročnega kompasa, (ne)ohranjanje prave smeri med vožnjo vozila ali letala, vpliv bližine raziskovalca in/ali vozila na obnašanje živali ipd. Priporočljivo je, da se pred izvedbo raziskave izvede testiranje, kako se proučevane živali odzivajo na te vplive in se rezultate testiranja v sami raziskavi ustrezno uporabi.

- Oddaljenost med sprejemnikom in živaljo, opremljeno z radijskim oddajnikom.  
V splošnem (ni pa vedno tako) položajna napaka narašča z oddaljenostjo radijskega sprejemnika od oddajnika radijskih signalov na živali.
- Inštrumentarij in velikost vzorca.
- Vpliv odlova, opremljanja z oddajnikom ipd.

#### **2.2.4 Tehnološke rešitve za spremljanje različnih vrst živali**

Za različne namene raziskav in za spremljanje najrazličnejših živalskih vrst obstaja več različnih oblikovnih in tehnoloških rešitev. Radijske oddajnike se lahko kombinira s sonarnimi bojami, ultrazvočnimi in ostalimi akustičnimi oddajniki ipd., s čimer se možnosti spremljanja različnih vrst živali povečajo.

#### **2.2.5 Prednosti in omejitve radijske telemetrije**

V primerjavi z GPS-telemetrijo je radijska telemetrija primernejša za oceno velikosti in izrabe habitata, preživetja, ... številčnih populacij, medtem ko je GPS-telemetrija bolj ali manj primerna predvsem za oceno območja, po katerem se giba posamezna žival. Je pa v današnjem času GPS-telemetrija v mnogih primerih bolj učinkovita in ekonomična od radijske telemetrije (npr. pri pridobivanju velike količine podatkov skozi vse leto, v vseh vremenskih razmerah in v pogostih intervalih, ...) (Millsaugh, Marzluff, 2001).

Za izvedbo kompleksnih radiotelemetričnih raziskav je potrebnih precej finančnih sredstev, saj je vzorec za podrobnejše proučevanje živali velik, živali je potrebno opazovati v daljšem časovnem obdobju, prav tako ne gre brez avtomatiziranih sistemov za sledenje živalim in sistemov za kartiranje, množico zbranih podatkov pa je treba še analizirati, za kar pa moramo biti opremljeni z ustreznim znanjem. Vsekakor so kompleksne študije, pri katerih se raziskovalci poslužujejo radijske telemetrije, praviloma velik finančni zalogaj.

Bistvena omejitev v sklopu klasičnega pristopa (radijski oddajnik z anteno in sistemom napajanja na živali in sprejem signala z radijskim sprejemnikom) uporabe radijske telemetrije za namene spremljanja živali je omejen doseg signala. Domet signalov z VHF-oddajnikov je približno 3-20 km, kar je za spremljanje nekaterih živalskih vrst, ki potujejo po območjih, velikih tudi do nekaj tisoč kvadratnih kilometrov, bistveno premalo. V tem primeru delno rešitev predstavlja spremljanje živali z letalom. Domet signala se s tem poveča na 35-100 km, zavedati pa se je treba, da cena z velikostjo območja, ki ga je treba preiskati, narašča. Omenjene težave v zvezi s klasičnim pristopom spremljanja živali z VHF radijsko teletrijo rešujejo satelitski sistemi, med katerimi je za potrebe spremljanja živali najbolj poznan satelitski sistem Argos. Le-ta je zelo primeren za spremljanje živali na velikih razdaljah (Millsbaugh, Marzluff, 2001; Javed et al., 2003).

Predvsem v preteklosti je veliko omejitev predstavljal sistem napajanja oddajnikov z električno energijo. Za uspešno delovanje sistema (dovolj velika domet in moč signala ter življenjska doba baterije) so se morali znanstveniki posluževati velikih, masivnih baterij. Spremljanje živali je bilo zato v marsikaterem primeru oteženo, saj napajalni sistem predstavlja več kot polovico prostornine telemetričnih naprav, nameščenih na žival (telemetrične ovratnice so bile posledično velike in težke). S tehnološkim razvojem in elektronskimi izboljšavami se je velikost in učinkovitost napajalnih sistemov bistveno izboljšala, tako da so dandanes na voljo majhne in lahke baterijske enote, ki hkrati zagotavljajo zadostno moč signala in imajo glede na nekdanje baterije daljšo življenjsko dobo. Njihova majhnost in lahkost omogoča spremljanje najrazličnejših živalskih vrst, tudi majhnih sesalcev in ptic, rib, dvoživk, plazilcev itd. V današnjem času se v sklopu radijske (pa tudi satelitske) telemetrije večinoma uporabljajo litijeve baterije, baterije s srebrovim oksidom in baterije, katerih delovanje temelji na fotocelicah (Millsbaugh, Marzluff, 2001).

Velikost vzorca je običajno majhna, saj je sprejem signala kljub stalnemu oddajanju signala pogosto vprašljiv (ob slabem vremenu, ponoči, na zelo razgibanih področjih ipd.). Posledica so seveda manj kakovostni rezultati. Ta težava je bila omejujoča predvsem v preteklosti, saj je kontinuiran sprejem signala terjal bistveno več dela in finančnih sredstev. Z današnjo novo tehnologijo (predvsem s pojavom avtomatičnih sistemov kot je npr. Argos) in analitičnimi postopki se je stanje izboljšalo (Millsbaugh, Marzluff, 2001).



Na nekaterih terenih in velikih odprtih vodnih površinah prihaja do odboja ali razpršitve signala, posledica česar je večpotje. Predpostavlja se, da se radijski valovi širijo od oddajnika proti sprejemniku v ravni liniji, kar pa glede na prejšnjo trditev ne drži (ne vedno). Omenjen problem je možno omiliti in omejiti z uporabo enega od Dopplerjevih principov, s katerim se določi smer proti oddajniku (in s tem usmeritev sprejemnika proti izvoru valovanja), s čimer se poveča možnost uspešnega sprejema signala. Problem odboja in razpršitve signala se pojavlja pri vseh telemetričnih sistemih, ne le v sklopu radijske telemetrije (Priede, Swift, 1992; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Do različnih težav lahko pride v primeru šibkega signala. Da bo signal dovolj močan za uspešno in kakovostno določitev položaja živali, je treba zagotoviti oddajnik z večjo močjo (hkrati se ob tem povečajo potrebe po dovolj močnih baterijah) oz. je potrebno anteno postaviti čim višje od tal.

### 2.2.6 Uporabnost in primeri uporabe radijske telemetrije

Uporaba radijske telemetrije med drugim omogoča *določitev detajlnih premikov živali in vzpostavitev migracijskih modelov živali*. Z radijsko telemetrijo je možno oceniti tudi *vedenje* živali ter velikost, lastnosti (vegetacija, topografija) in *izrabo habitata*. Za uspešno določitev velikosti ter izrabe življenjskega območja je bistveno spremljanje ustreznega števila živali (velikost vzorca) in pridobitev ustreznega števila lokacij posamezne živali, pri čemer mora biti časovni interval med dvema zaporednima meritvama (t.j. interval vzorčenja) lokacij zaradi možnosti pojava avtokorelacije med zaporednimi lokacijami (če so preblizu skupaj) dovolj velik. Pri tem je treba omeniti, da je zagotovitev reprezentativnega vzorca v splošnem pomembnejša od zagotovitve statistično neodvisnih opazovanj (lokacij). Za določitev ustrezne velikosti vzorca obstaja več različnih metod. Velikost vzorca lahko izračunamo npr. na osnovi enačbe:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2}{B^2} + 2 \quad (4)$$

kjer so:

$n$  ... velikost vzorca,

$\alpha$  ... stopnja zaupanja (običajno 95%),

$Z$  ... tabelirana vrednost bivariantne cenilke, ki se porazdeljuje po normalni porazdelitvi,

$B$  ... dovoljeno odstopanje (za primera, če obravnavamo celotno populacijo ali pa le vzorec).

Potrebna velikost vzorca je običajno velika. Za  $\alpha = 95\%$  in  $B = 10\%$  je izračunana velikost vzorca 386 (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Radijska telemetrija je eno od orodij za ugotavljanje oz. določanje **številčnosti populacije živali in relativne gostote te populacije**. V sklopu radijske telemetrije obstaja več možnosti za oceno številčnosti in gostote populacije, pri čemer nekatere metode dajejo zanesljivejše rezultate kot druge. Ker v splošnem velja, da za kompleksne študije izpeljava analitičnih enačb z namenom ocenitve velikosti vzorca ni možna, se raziskovalci namesto ostalih ustaljenih postopkov običajno poslužujejo simulacij Monte Carlo. V sklopu teh simulacij se uporabijo programi (v določenih primerih so lahko avtomatizirani), s katerimi se populacijo oceni vnaprej (pred delom na terenu), pa tudi potem, ko se že pridobijo prvi osnovni podatki s terena. Posamezne živali (znotraj populacije) za odlov (in število teh živali) se izbere naključno na osnovi ustreznih statističnih porazdelitev (binomska, Poissonova, ali katera druga porazdelitev). Poleg simulacij Monte Carlo se za pridobitev podatka o številčnosti populacije v sklopu radijske telemetrije uspešno uporabljajo še:

- ocena številčnosti na osnovi celotnega števila živali (npr. opazovanja velikih sesalcev iz zraka),
- ocena številčnosti na osnovi števila živali na izbranem omejenem območju (prav tako opazovanje velikih sesalcev iz zraka, pri čemer se uporabi ekstrapolacija in verjetnostno vzorčenje),
- ali pa ocena iz ocenjenih razdalj/oddaljenosti (tu prevladujeta metodi linijskega transekta in spremenljive krožne ploskve, pri čemer se predpostavlja, da so živali v trenutku odkritja/zabeležbe direktno na liniji ali v centru izbranega območja, kar se lahko preveri preko živali opremljenih z radijskimi oddajniki).

Rezultati (t.j. številčnosti populacije) so pri prvih dveh metodah (prvi dve alineji) običajno podcenjeni zaradi sprememb v vidljivosti (nekatere živali zaradi slabše vidljivosti – lahko

zaradi vegetacije – ostanejo neopažene). Take pristranske rezultate se lahko odpravi prav z uporabo radijske telemetrije, saj je mogoče s pomočjo živali, opremljenih z radijskimi oddajniki, zmodelirati vpliv vidljivosti na rezultate (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Ocene in predvidevanja o *preživetju živali* so z uporabo radijske telemetrije lahko relativno visoke natančnosti in kakovosti. Millspaugh in Marzluff (2001) navajata, da za ocenjevanje preživetja obstaja več pristopov od različnih (Mayfield, Heisey in Fuller, Cox) avtorjev. Kot zelo uporaben se je npr. izkazal Whiteov računalniški program SURVIV. Temelji na numerični optimizaciji in zmore iz telemetričnih podatkov:

- na osnovi verjetnostnih funkcij konstruirati modele preživetja,
- testirati razmerja (na osnovi verjetnosti) med posameznimi modeli preživetja,

vključuje pa tudi postopke za načrtovanje študij (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Radijska telemetrija je pomembna še na področju ocenjevanja *reprodukcije osebkov populacije*. Že v devetdesetih letih prejšnjega stoletja so ugotovili, da ima čas najdbe gnezda močan vpliv na oceno reprodukcije. Če so raziskovalci npr. gnezdo našli prepozno (ko je bilo npr. že zapuščeno), je bila v končni fazi reprodukcija precenjena. S pomočjo radijske telemetrije lahko tako pristranskost rezultatov popravimo, hkrati pa se je treba zavedati, da lahko sam radijski oddajnik vpliva na gnezdenje, kar je seveda treba upoštevati (Millspaugh, Marzluff, 2001).

### 2.3 Načrtovanje telemetričnih raziskav

Tako kot je predhodno načrtovanje pomembno pri specifično geodetskih nalogah, je načrtovanje bistvenega pomena tudi na področju telemetričnih (in drugih) raziskav za namene spremljanja oz. proučevanja divjih živali. Le s kakovostnim načrtovanjem in ustreznimi (statističnimi) analizami je namreč mogoče pridobiti natančne, točne in nepristranske zaključke. Če bi se o metodah analiziranja odločali šele po izvedbi raziskave, bi imeli lahko na voljo cel kup nepotrebnih ali pa celo popolnoma neustreznih podatkov (rezultatov, meritev) (Priede, Swift, 1992). Ne le, da bi raziskavo s takim načinom dela podražili, ampak bi se prav lahko zgodilo, da na osnovi izvedenih meritev sploh ne bi mogli priti do ustreznih zaključkov. Zato je bistveno, da se o namenu raziskave, metodah in načinu zbiranja potrebnih

podatkov in njihovem analiziranju odločimo že pred samo izvedbo študije. Če je le mogoče, naj se pred začetkom raziskave izvede predhodno študijo ("pred-raziskavo"), saj bo odločitev o ustreznih metodah in načinih pridobivanja ter analiziranja podatkov lažja in učinkovitejša – temeljila bo na izsledkih predhodne študije. Ker je na voljo kar precej različnih metod pridobivanja in analiziranja podatkov/meritev in ker je vsaka raziskava drugačna, odločitev o načinu zbiranja in analiziranju telemetričnih podatkov še zdaleč ni enostavna.

V začetni fazi, še pred izvedbo raziskave na terenu, si je treba razjasniti sledeče (Millsaugh, Marzluff, 2001; Priede, Swift, 1992):

- Kakšen je namen in kakšni so cilji raziskave? Se bo proučilo premike živali, migracije, velikost in izrabo habitata ali kaj drugega?
- Bomo meritve le zabeležili in jih predstavili, ali pa bomo pridobljene podatke uporabili bolj obširno in detajlno (za razne modele, predvidevanja,...)?  
Raziskavo je priporočljivo zastaviti tako, da se bo v končni fazi lahko prišlo do najrazličnejših zaključkov (npr. proučitev vpliva okolja na živali), vendar pa so žal številne (radiotelemetrične) študije le opisne narave in tako ne omogočajo pridobitve kompleksnih zaključkov.
- Je potrebno raziskavo zastaviti tako, da bo omogočeno testiranje hipotez (upoštevanje statističnih pravil, postavitve ničelne ter alternativne hipoteze in njuno sprejetje ali zavrnitev) ali tako, da bo mogoče vzpostaviti razne modele (in tako ugotoviti npr. razmerje med okoljem in vedanjem živali)?  
Bolj priporočljiva je druga možnost, saj nam vzpostavitev modelov omogoča boljši vpogled v odnos okolje-žival.
- Na katero (kakšno) populacijo se bodo nanašale ocene in ugotovitve?  
Da bomo ob koncu raziskave prišli do ustreznih zaključkov, moramo raziskavo pravilno zastaviti. Še pred izvedbo raziskave, torej v fazi načrtovanja moramo opredeliti ciljno populacijo, ki jo želimo proučiti. Opredeliti je treba, katera živalska vrsta, na katerem območju in v katerem letnem času ali delu dneva nas zanima (npr. volkovi na Kočevskem

pozimi). Glede na omenjene opredelitve se z ustreznim načinom vzorčenja (npr. naključno, stratificirano naključno,...) določi nepristranski vzorec – živali, ki bodo opremljene z oddajniki. Le tako bodo dobljeni rezultati študije odražali realno stanje (torej karakteristike proučevane populacije).

- S kakšnim vzorcem bomo imeli opravka (koliko in katere živali se bo spremljalo)?

Dandanes se posamezne živali (opremljene z oddajnikom) obravnava kot enote vzorca, posamezne lokacije pa kot 'podvzorec'. Velikost vzorca se določi npr. z naključnim vzorčenjem in ga predstavlja število z oddajnikom opremljenih živali. Na tak način se zagotovi neodvisnost enot vzorca (lokacije živali so sicer v prostoru in času korelirane in zato neodvisne enote vzorca dejansko predstavljajo le živali iz različnih socialnih skupin, ne pa živali znotraj iste socialne skupine) in nepristransko oceno npr. karakteristik populacije.

- Kako se bo vzorčilo (naključno vzorčenje, sistematično vzorčenje, stratificirano vzorčenje, vzorčenje z grupiranjem)?

Vrsta vzorčenja je odvisna od tega, kaj želimo doseči oz. kakšnih rezultatov si želimo. Praktično vsak avtomatiziran (radiotelemetrični) sistem je zmožen vsaj približno določiti vzorce z vsemi navedenimi metodami vzorčenja.

Večina raziskav temelji na predpostavki, da je položaj živali v trenutku  $t+1$  neodvisen od položaja v trenutku  $t$  (neodvisnost opazovanj zmanjša pristranskost ocenjenih spremenljivk). Ve pa se, da so posamezne serije opazovanj (npr. lokacij živali) korelirane. Poznavanje te korelacije je pomembno za določitev intervala vzorčenja in s tem tudi za zagotovitev ustrezne velikosti vzorca. S sistematičnim vzorčenjem se ob povečanju časovnega intervala med opazovanji (npr. lokacijami) korelacija med serijami opazovanj minimizira, vendar pa se na tak način zmanjša število pridobljenih lokacij, kar preprečuje definiranje majhnih premikov živali. Nasprotno pa je pri vzorčenju z grupiranjem odvisnost lokacij znotraj gruče velika, odvisnost med gručami pa majhna, kar omogoča ugotovitev majhnih premikov znotraj kratkih časovnih intervalov. Ta vrsta vzorčenja je dobrodošla, kadar z obstoječimi tehnologijami ni mogoče priti do dovolj velikega števila opazovanj. V povezavi z avtomatiziranimi sistemi za sledenje živalim pa je pogosto koristna uporaba naključnega vzorčenja, saj se da na tak način priti do velikega števila (z

ene živali) relativno neodvisnih opazovanj, s čimer je omogočeno definiranje majhnih premikov živali (Millsaugh, Marzluff, 2001).

- Koliko živali bo potrebno spremljati in koliko lokacij od posamezne spremljane živali bo potrebno pridobiti za natančno oceno parametrov (npr. preživetje, izraba habitata,...), ki nas zanimajo?

To vprašanje je pomembno predvsem zato, ker so (denarni) viri običajno omejeni in se je potrebno odločiti, ali se bo z oddajniki opremilo veliko število živali, ali pa se bo spremljalo manjše število živali, pri čemer pa se bo od vsake pridobilo več podatkov (npr. lokacij). Koliko živali se bo spremljalo in koliko podatkov se bo pridobilo s posamezne spremljane živali je pomembno vprašanje, saj le-to vpliva na natančnost ocene parametrov, ki nas zanimajo (npr. velikost in izraba habitata). Pogosto je za pridobitev odgovora na zastavljeno vprašanje potrebno uporabiti podatke iz predhodne raziskave oz. iz začetnih faz tekoče raziskave (za ocenitev srednjih vrednosti in varianc). V tem primeru je te podatke treba kasneje, po prvih meritvah na terenu, modificirati, saj gre le za grobo ocenjene ali pa iz predhodne študije privzete podatke. Za oceno potrebnega števila spremljanih živali in števila meritev/podatkov s posamezne spremljane živali je na voljo več metod simulacij (parametričnih in neparametričnih) različnih avtorjev.

V primerjavi z radijsko telemetrijo se avtomatizirani sistemi GPS uporabljajo predvsem za spremljanje manjšega števila živali (visoka cena opremljanja posamezne živali z GPS-ovratnico), vendar pa le te spremljajo bolj intenzivno, t.j. več meritev se izvede na posamezni živali in tako se več podatkov pridobi z ene živali (nizka cena pridobivanja množice podatkov s posamezno GPS-ovratnico). Obstajajo pa tudi izjeme kot je npr. sistem LORAN-C. Ob vsem tem se je treba zavedati, da veliko število npr. lokacij majhnega števila živali ne poda ustrezne ocene za celotno populacijo. So pa kljub temu avtomatizirani sistemi GPS zelo primerni kot dopolnilo radijski telemetriji, saj lahko bistveno izboljšajo ocene, narejene na osnovi radiotelemetričnih podatkov, vendar pa je treba pri tem spremljati dovolj veliko število živali (Millsaugh, Marzluff, 2001).

- Bodo spremljane živali predstavljale pristranski ali nepristranski vzorec populacije?

Do pristranskega vzorca lahko privede že sam način odlova živali in opremljanja s telemetrično opremo. Kadar gre npr. za nenaključne lokacije odlova (npr. pasti, nastavljene

v bližini prometnic), pridobljeni podatki z odlovljene živali pogosto ne predstavljajo pravega stanja celotne populacije – del populacije, ki poseljuje obcestno območje, bo bistveno bolj ovrednoten od dela populacije, ki se zadržuje stran od prometnic. Poleg tega že sama opremljenost živali s telemetrično opremo lahko povzroči spremembe v njenem vedênju in gre tako v končni fazi za pristranske ocene parametrov. Zavedati se je treba, v katerih primerih so rezultati pristranski in to je seveda potrebno upoštevati pri vrednotenju rezultatov (Millspaugh, Marzluff, 2001).

- Iskanje, določitev in ovrednotenje položajne napake (pogreškov) in položajne natančnosti. Detajlno poznavanje napak oziroma pogreškov je pri ocenjevanju položaja z radijsko telemetrijo izrednega pomena. Velikost položajne napake je odvisna tudi od metode opazovanja živali. Pri neposrednem opazovanju (direktno na terenu) z oddajnikom opremljene živali je natančnost omejena z natančnostjo kartiranja položaja. Ob uporabi novejših avtomatiziranih sistemov (npr. GPS in ostali satelitski oddajniki) so položajne napake lahko precej velike (tudi več 10 m). Da bi pridobili karseda natančne položaje živali, je treba položajne napake oceniti za vsako specifično območje posebej, saj velikost napak variira glede na topografijo (odboj signala v strmih kanjonih, razpršitev signala na gosto poraščenih območjih itd.), naklon, poraščenost, ipd. Položajne pogreške se oceni glede na oddajnike, postavljene na znanih lokacijah. Ko so pogreški oz. napake ocenjeni (na voljo je več različnih metod za njihovo oceno) in kartirani, je treba podrobno analizirati njihov vpliv na končne rezultate študije. Pravilno, natančno in točno ocenjeni položaji živali so izrednega pomena, saj so osnova za vse nadaljnje ocene (od velikosti in izrabe habitata do okoljskih značilnosti itd.). Kadar hkrati obravnavamo napake velikega števila kartiranih lokacij in imamo torej opravka z več prekrivajočimi se plastmi, je analiza še bolj zapletena in ji je treba posvetiti še več pozornosti.
- Na kakšen način bodo izvedeni popravki opazovanj slabše kvalitete?  
Na gozdnatem terenu z gostimi drevesnimi krošnjami, velikim naklonom in konkavno oblikovanostjo terena je pričakovati manjšo uspešnost pri pridobivanju opazovanj (lokacij itd.) kot npr. na odprtih površinah. Uspešnost in pristranskost opazovanj glede na topografijo in poraščenost proučevanega območja je možno definirati z izdelavo in

uporabo kriging modelov ter uporabo prostorske statistike. Pristranska in nekvalitetna opazovanja se popravi na osnovi teh izdelanih modelov.

- Kakšno natančnost (interval zaupanja, varianca populacije,...) pričakujemo in kakšno potrebujemo glede na zastavljene cilje?
- V katerem delu dneva (ali leta) se bo izvajalo opazovanja in kakšna bo frekvenca opazovanj?
- S kakšnimi metodami se bo ocenilo npr. lokacije živali (lokacijski položaji živali so najpogostejše količine, ki se jih skuša pridobiti, saj so osnova za vse ostale ocene)?  
Pri določevanju lokacij živali lahko izbiramo med več možnimi tehnikami: "homing in" (t.j. ena od tehnik za spremljanje živali), sledenje živalim iz zraka, radijska (prednjači VHF-tehnologija) ter satelitska telemetrija in triangulacija (pri tem se uporablja fiksirane ali pa mobilne sprejemne postaje). Za uspešno izvedbo raziskave moramo poznati zmožnosti in omejitve posamezne tehnike. Kadar je cilj pridobiti veliko količino podatkov (skoraj) v realnem času, je npr. odlična izbira kombiniranih enot GPS-Argos, če pa za doseganje ciljev raziskave zadostuje manjša količina podatkov (lokacij), je boljša izbira enot GPS v povezavi z lokalnimi komunikacijskimi povezavami (Rodgers, 2001),...
- Kateri in kolikšni so pričakovani vplivi na signal (in s tem na končni rezultat)?  
Dnevne in sezonske vplive ter vplive *gostih krošenj, topografske razgibanosti, orientacije in modela naprave (pritrjene na žival), časovnega intervala med dvema meritvama, višine dreves, števila in geometrijske razporeditve satelitov itd.* na uspešnost določitve lokacij se lahko pred izvedbo glavnega dela raziskave analizira na več načinov. Predhodno se lahko npr. izvede nekaj meritev z GPS-napravami (če bo osnova raziskave GPS-telemetrija), nameščenimi nekaj cm, dm ali m nad tlemi (simuliranje višine vratu živali, kamor bo nameščena npr. GPS-ovratnica) ali pa z napravami na premikajočem se človeku ali vozilu (določanje vpliva hitrosti na meritve). Lahko se tudi naredi model vplivov (Frair et al., 2010).



- Raziskovalci naj bi pred izvedbo raziskave opravili testiranja natančnosti in točnosti sistema, ki ga bodo uporabili tekom študije pri spremljanju živali. Le z ustrezno opremo bodo namreč prišli do dovolj natančnih in točnih podatkov (meritev) in s tem do ustreznih zaključkov kot rezultata raziskave. V sklopu radijske telemetrije se testiranja sistema najpogosteje opravi v predhodni študiji – testira se oddajnike na znanih lokacijah (testne oddajnike se npr. namesti na lesene stebre ipd.), pri čemer morajo biti koordinate teh znanih lokacij določene (z neko drugo metodo) z najvišjo možno točnostjo. Če bo šlo za proučevanje gibajoče se živali, se lahko (oz. je zelo priporočljivo) za namene testiranja sistema uporabi npr. psa, opremljenega z oddajnikom, tako da se lahko predvidi tudi vpliv gibanja živali na meritve oz. rezultate. Za izračun pravih vrednosti meritev oz. rezultatov morajo biti z najvišjo možno točnostjo in natančnostjo znane tudi lokacije sprejemnikov, ki se jih za potrebe testiranja sistema razporedi po proučevanem območju. Za vsakega od sprejemnikov se preko ocenjenih in pravih vrednosti meritev (od vsakega testnega oddajnika) določi srednji pogrešek in standardni odklon. Če srednji pogrešek močno odstopa od ničle, je treba raziskati, kaj je vzrok za veliko vrednost standardnega odklona sprejemnika (elektromagnetni vplivi, vpliv kompasa,...). Za proučevanje migracij na (zelo) velikih razdaljah zadostuje kilometrska lokacijska točnost, medtem ko je pri kratkih finih premikih treba uporabiti najvišjo možno natančnost in točnost (ki jo omogoča izbrani sistem).
- V fazi načrtovanja naj se ugotovi, na katerih območjih je sprejem signala slab in na katerih delih ni mogoče pridobiti dovolj točnih rezultatov.
- Kakšni in kolikšni so/bodo vplivi naprav (npr. GPS-ovratnic) na proučevano žival?
- Kako bosta na žival vplivala odlov, opremljanje z oddajnikom ipd. Nekatere študije o (negativnem) vplivu različne opreme in metod na proučevane živali so bile v preteklosti že narejene, vendar mnogi menijo, da je bilo to področje (in je še vedno) kljub vsemu preveč zapostavljeno. Ocena vpliva uporabljene opreme in ostalega ni pomembna le zaradi splošnega počutja in morebitnega ogrožanja živali, ampak tudi zaradi vrednotenja rezultatov raziskave. Če vpliv na proučevano žival ni znan, so lahko rezultati zavajajoči.

Glede na odgovore na zgornja in druga podobna vprašanja se raziskovalec odloči, ali je raziskava sploh smiselna (ali ima na voljo dovolj finančnih sredstev za izvedbo raziskave, ali je na voljo ustrezna tehnologija, ki bo zadostila namenu raziskave,...). Če je, mu odgovori na zgornja vprašanja olajšajo odločitev o tem, kdaj, kje in na kakšen način se bo raziskava izvedla, kakšna oprema in tehnologija bo uporabljena, koliko in katere živali se bo spremljalo, kako dolgo se bodo z oddajniki označene živali spremljale, kako in s kakšnimi postopki bodo podatki obdelani in analizirani,...

Začetno načrtovanje vsakega projekta spremljanja živali je izrednega pomena. V kolikor se načrtovanja ne opravi in se gre direktno v izvedbo raziskave (na teren), so lahko stroški bistveno večji, kot če vse segmente projekta predhodno proučimo in analiziramo, pa tudi časovno je lahko nenačrtovana (ali neustrezno načrtovana) raziskava bistveno bolj potratna od (ustrezno) načrtovane. Seveda se tudi pri dobro načrtovanem projektu ob njegovi izvedbi na terenu lahko kaj zalomi, vendar pa so negativne posledice v tem primeru manjše.

Lahko se zgodi, da so kljub načrtovanju rezultati raziskave pristranski in premalo natančni. Do tega lahko npr. pride, če se ne preučijo položajnih natančnosti ter vpliva samih telemetričnih oddajnikov na proučevane živali (na njihovo vedenje, reprodukcijo, preživetje, fizične spremembe in drugo). Pogosto se namreč predpostavlja, da so pridobljene položajne ocene natančne in nepristranske ter da se živali, opremljene s telemetričnimi oddajniki vedejo enako kot živali brez nameščenih oddajnikov. To pa ne drži vedno, zato je potrebno (kadar se le da) za pridobitev povsem verodostojnih, natančnih in nepristranskih rezultatov ovrednotiti natančnost ocenjenih lokacij in vpliv oddajnikov na živali. Le ta se oceni s primerjavo obnašanja živali pred in po namestitvi oddajnika ali pa s primerjavo z živalmi brez oddajnika. Vpliv je običajno manjši in manj škodljiv v primerih, ko se oddajnik vsadi v žival (še zlasti pri pticah in vodnih živalih) kot pa v primerih, ko se oddajnik na žival pritrdi s pomočjo ovratnice, trakov ali kako drugače. Morebiten negativni vpliv oddajnika na opremljeno žival naj se testira – s statističnimi testi (testiranje ničelne hipoteze, t.j. da oddajnik nima negativnega vpliva na žival) ali pa s primerjavo intervalov zaupanja za primer opremljene in neopremljene živali z oddajnikom (Millsaugh, Marzluff, 2001).

Ker so telemetrične študije invazivne in imajo lahko na živali negativen vpliv in ker je cilj minimizirati škodljive vplive telemetrične opreme na proučevane živali, je pomembno upoštevanje ugotovitev iz raziskav na to temo, opravljenih v preteklosti. Uporabiti je treba najmanjše možne oddajnike, jih kar se da nemoteče namestiti na žival (tako da npr. ne bo negativnega vpliva pri kamuflaži živali ipd.), še posebej pri pticah in vodnih živalih se je treba izogibati pritrjevanju oddajnika na telo živali s pasovi (če pa že uporabimo to možnost, poskrbimo, da se pasovi telesu živali čim boljše prilegajo), predvideti je potrebno način in čas odcepitve oddajnika od živali, izognili naj bi se nameščanju oddajnika na žival v času, ko je pod stresom ali v slabši kondiciji, podatke z oddajnikom opremljene živali naj se prične zbirati šele po nekaj dneh (ko se bo žival že navadila na oddajnik) itd. (Millspaugh, Marzluff, 2001).

## 2.4 Fotogrametrične metode

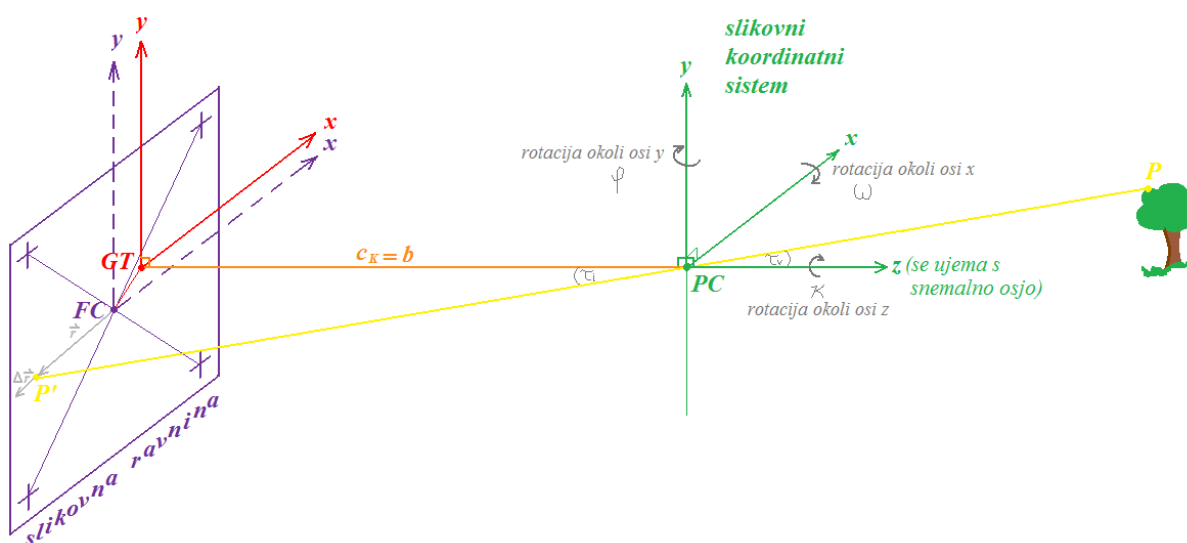
V nadaljevanju bom navedla dva primera uporabe bližnjelikovnih fotogrametričnih metod na področju proučevanja živali. Glede na to, da je žival potrebno odloviti ali ji vsaj deloma omejiti območje, po katerem se lahko prosto giba, sem v nadaljevanju opisane principe uvrstila na področje invazivnih metod.

Ker orientirani fotogrametrični posnetki v ustreznem koordinatnem sistemu običajno predstavljajo osnovo za uspešne in natančne fotogrametrične meritve, bom pred nadaljevanjem s konkretnimi primeri najprej na kratko predstavila slikovni in objektov (prostorski) koordinatni sistem.

Izhodišče *slikovnega koordinatnega sistema* (slika 30) je v projekcijskem centru (PC). Osi  $x$  in  $y$  sta definirani z robnimi markami in sta pravokotni ena na drugo. Ravnina  $(x,y)$  je vzporedna s slikovno ravnino. Os  $z$  je pravokotna na slikovno ravnino in se ujema s snemalno osjo. Vsak posnetek ima za razliko od prostorskega koordinatnega sistema svoj lastni slikovni koordinatni sistem  $(xyz)$ . Slikovne koordinate (izmerjene) točke  $P$  na posnetku (v slikovni ravnini) so:  $P(x, y, z) = P(x, y, \pm c_K)$ , pri čemer je  $c_K$  najkrajša razdalja od PC do slikovne ravnine (t.j. kalibrirana goriščna razdalja). Glavna točka (GT) je projekcija izhodišča slikovnega koordinatnega sistema PC na slikovno ravnino (v GT je glavni projekcijski žarek

iz PC pravokoten na slikovno ravnino). Presek zveznic med robnimi markami določa točko FC (*ang. fiducial center*), ki zaradi konstrukcije fotoaparata ne sovpada z GT. Položaj glavne točke GT se s kalibracijo določi v laboratoriju (če gre za metrični fotoaparata). Slikovne koordinate točke GT v slikovni ravnini so definirane kot  $(x_0, y_0, c_K)$ . Vpadni kot ( $\tau_v$ ) žarka zaradi napak, ki jih imajo leče, ni enak izstopnemu kotu ( $\tau_i$ ) žarka, zaradi česar pride do napake, ki jo imenujemo distorzija ( $\Delta r$ ). To je sistematična napaka objektiv, ki jo za vsak posamezen objektiv natančno določijo v postopku kalibracije fotoaparata (Gorjup, 1985; Dobričič, Kosmatin Fras, 2006).

**Prostorski koordinatni sistem** (tudi objektov koordinatni sistem) je lahko lokalni ali pa splošni (državni, Gauss-Krügerjev) koordinatni sistem (Gorjup, 1985). Koordinate opazovanega (snemanega, fotografiranega) objekta v prostorskem koordinatnem sistemu so  $(X, Y, Z)$ .



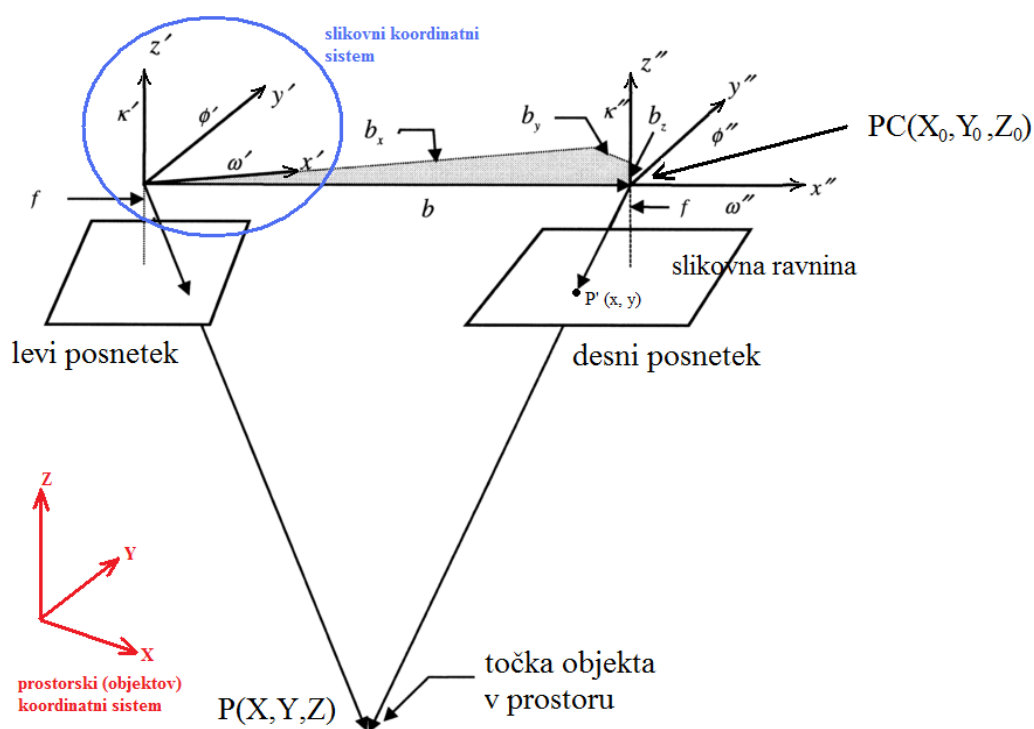
Slika 30: Slikovna ravnina in slikovni koordinatni sistem.

Vse posnetke je treba pred izvajanjem meritev na njih ustrezno orientirati. Najprej se izvede **notranja orientacija**, ki se nanaša na fotoaparata (na koordinatni sistem znotraj fotoaparata). Gre za določitev medsebojnega položaja med slikovno ravnino in PC. Elementi notranje

orientacije posnetka so:  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $c_K$  ter distorzija objektivna (Gorjup, 1985; Dobričič, Kosmatin Fras, 2006). Parametri notranje orientacije se v primeru uporabe nemetričnih fotoaparátov določijo posredno prek oslonilnih točk (OT) na objektu oziroma na osnovi kalibracijskega snemanja tik pred ali sočasno s snemanjem objekta. Metrični fotoaparati, ki so konstruirani posebej za fotogrametrična snemanja, imajo vrednosti parametrov notranje orientacije določene v laboratorijski kalibraciji (Kosmatin Fras, 1996; Dobričič, Kosmatin Fras, 2006). V praksi izvedemo notranjo orientacijo z meritvijo robnih mark na posnetkih. Z **zunanjjo orientacijo** (relativna in absolutna) se opredeli prostorski položaj PC, slikovne ravnine in snemalne osi v prostoru. Parametri zunanje orientacije so koordinate projekcijskega centra v prostorskem koordinatnem sistemu ( $PC(X_0, Y_0, Z_0)$ , gre za tri translacije) ter koti rotacije ( $\omega$  – rotacija okoli osi  $x$ ,  $\varphi$  – rotacija okoli osi  $y$ ,  $\kappa$  – rotacija okoli osi  $z$ ). Najprej se izvede relativno, nato pa še absolutno orientacijo. V postopku **relativne orientacije** odpravimo vertikalno paralakso, s čimer dosežemo, da se homologni žarki v prostoru sekajo med seboj. V praksi to dosežemo tako, da vertikalno paralakso odpravimo v vsaj petih (5) homolognih točkah modela, sistematično razporejenih po modelu (za takšno izvedenotenje v fotogrametriji običajno snemamo s 60% vzdolžnim preklopom). Relativna orientacija je torej zasnovana izključno na vsebini posnetkov in vnaprej določene točke niso potrebne. Ko stereopar pravilno relativno orientiramo, sledi **absolutno orientiranje**. Absolutna orientacija je matematično gledano pretvorba modelnih koordinat ( $x, y, z$ ), pridobljenih z relativno orientacijo, neke poljubne točke P v koordinate objektovega koordinatnega sistema ( $X, Y, Z$ ) s prostorsko transformacijo (slika 31), za katero moramo poznati 7 parametrov: 3 premike (premik izhodišča modelnega koordinatnega sistema v položaj, kot ga je imel v objektovem koordinatnem sistemu v trenutku snemanja), 3 zasuke (okoli osi X, Y in Z) in 1 merilo. Teh 7 elementov absolutne orientacije pridobimo na osnovi vsaj treh oslonilnih točk (OT), t.j. točk z določenimi koordinatami v prostorskem koordinatnem sistemu, ki jih je mogoče nedvoumno identificirati na posnetkih. OT naj ne ležijo v isti liniji. Ena OT je lahko podana le z višino (višinska OT), drugi dve pa morata biti podani z vsemi tremi koordinatami. V sodobnejših fotogrametričnih programih se relativna in absolutna orientacija izračunata v enem koraku na osnovi podatkov meritev slikovnih koordinat homolognih in oslonilnih točk.

Posnetke lahko orientiramo tudi s postopkom aerotriangulacije (AT). Gre za skupno prostorsko orientacijo več posnetkov, ki tvorijo posamezni pas ali blok posnetkov. V

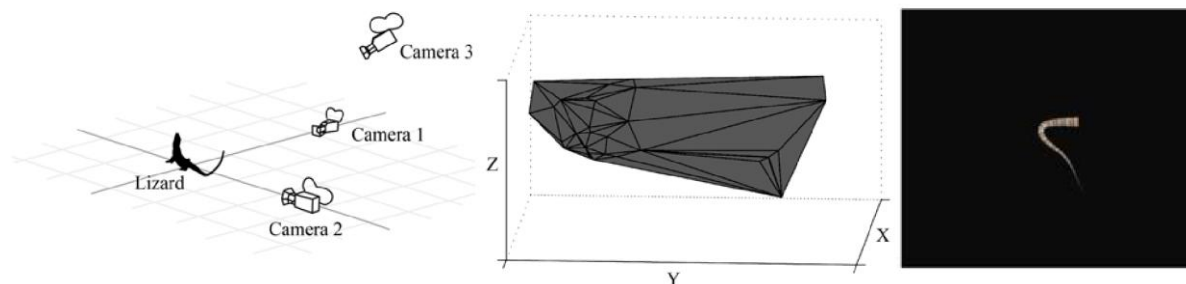
postopku AT se z metodo blokovne izravnave s snopi hkrati izračunajo orientacijski parametri za celoten blok posnetkov in prostorske koordinate vseh točk (vključno z njihovo natančnostjo), ki nastopajo v izravnavi. Prednost AT je zmanjšanje potrebnega števila OT v postopku izravnave (celoten blok posnetkov lahko orientiramo na osnovi npr. le 4 OT, za orientacijo vsakega para posnetkov posebej bi potrebovali po 3 OT). Za uspešno izvedbo postopka AT je treba zagotoviti ustrezen vzdolžni (60-80%) in prečni (20-30%) preklap posnetkov. Ker je natančnost AT odvisna od oblike in velikosti bloka, od razporeditve OT, preklopa posnetkov itd., je načrtovanje projekta AT izrednega pomena (Fras, 2008; Gorjup, 1985).



Slika 31: Orientacija stereopara posnetkov in določitev prostorskih koordinat opazovanega objekta s centralno projekcijo (osnova skice je privzeta iz: Bräger, Chong, 1999, str.503).

Bližnjefotogrametrija je v primerjavi s preostalimi metodami, ki so vključene v to diplomsko delo, namenjena detajlnejšemu proučevanju živali, denimo ugotavljanju detajlne zgradbe njihovega telesa, izdelavi 3D modelov ipd. Osnovna oprema pri pridobivanju teh podatkov so fotoaparati in/ali kamere z visoko geometrično ločljivostjo.

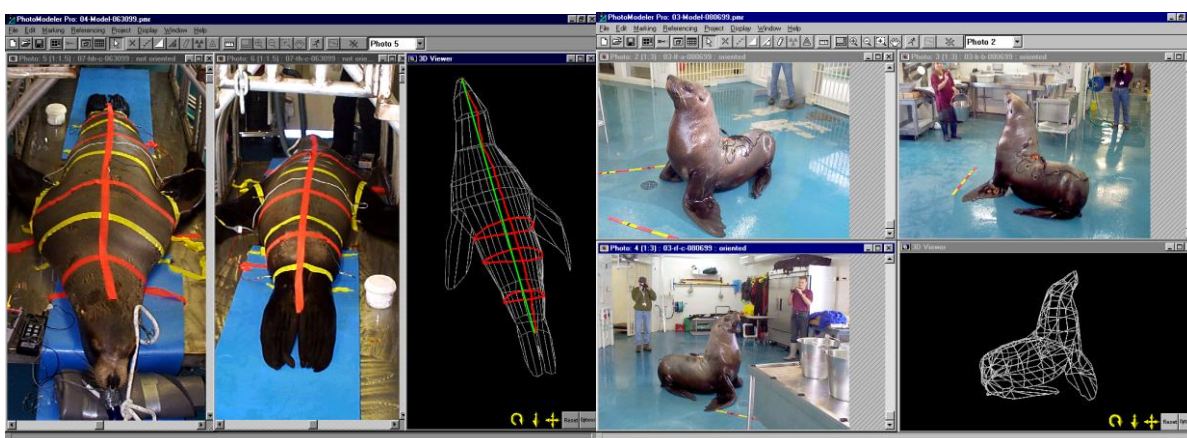
Eden izmed številnih (a v primerjavi z radijsko in satelitsko telemetrijo maloštevilnih) primerov uporabe fotogrametričnih tehnik na področju zoologije je **detajlna proučitev oblike in premikanja repa** kuščarja z namenom ugotovitve pomena repa te živali pri sporazumevanju z drugimi živalmi in v njegovem življenju nasploh. Tri kalibrirane kamere, razporejene po prostoru okoli kuščarja, omogočajo pridobitev 3D položajev nekaterih karakterističnih točk kuščarjevega repa. Za določitev 3D položaja v prostoru sicer zadoščata dva fotoaparata oziroma dve kameri, s tremi napravami pa je možno zaradi nadštevilnih meritev doseči boljšo natančnost. Na osnovi pridobljenih 3D položajev repa v različnih časovnih trenutkih je možno z ustrežno programsko opremo in algoritmi obdelave izgraditi 3D žični model repa in animacijo njegovega gibanja - slika 32 (New, Peters, 2010).



Slika 32: Uporaba treh kamer pri proučevanju oblike in gibanja kuščarjevega repa, 3D žični model repa in izsek iz 3D animacije premikanja repa (New, Peters, 2010, str. 329, 331 in 335).

Zanimiv je tudi primer posredne **ocene mase in morfometrije** morskih levov z uporabo večslikovne fotogrametrije z začetka tega desetletja (Waite, 2000). Fotogrametrija je bila sicer prvič uporabljena za oceno morfometrije in telesne mase morskih sesalcev že leta 1953. Takrat se je za te namene uporabljala še enoslikovna fotogrametrija, ki pa ima v primerjavi z večslikovno fotogrametrijo kar nekaj pomanjkljivosti. Za dokaj natančno oceno morfometrije in mase živali iz enega posnetka je morala biti žival popolnoma pri miru (pomagati so si morali tudi z uspavali), fotoaparati so morali biti postavljeni točno pravokotno glede na ravnino, na kateri je bila žival (žival so fotografirali od spredaj, s strani in od zadaj tako, da so se na fotografijah lepo videli obsegi in standardne dolžine živali), žival je morala ležati na trebuhu v kolikor se da ravni liniji in na fotografiji je moral biti (oziroma je bilo to priporočljivo) vsaj en objekt z znano dolžino (*ang. scaling object*). Enoslikovna fotogrametrija včasih sicer

povsem zadostuje (odvisno od namena raziskave in mirnosti živali), ni pa treba posebej poudarjati, da večslikovna fotogrametrija ob pravilni izvedbi omogoča bistveno natančnejše meritve in s tem boljše ocene ter odpravi marsikatero od zgoraj navedenih pomanjkljivosti enoslikovne fotogrametrije. Kadar so fotoaparati pritrjeni na točkah z znanim medsebojnim položajem in je njihova notranja orientacija znana, lahko izmerimo prostorske koordinate in zato ni potrebe po postavitvi objektov z znano dolžino v bližino proučevanega objekta. Poleg tega ni potrebno, da je fotoaparat pravokoten glede na proučevani objekt. Praktično edina omejitev te tehnologije je zahteva, da mora biti fotografiran predmet na vseh fotografijah, ki jih kasneje uporabimo za izdelavo 3D žičnega modela, v enakem položaju. Pri mirujoči živali to ni problematično (zadostuje en raziskovalec, ki žival poslika z različnih stojišč), težave pa se lahko pojavijo pri gibajočem se proučevanem objektu. V tem primeru je treba uporabiti več časovno usklajenih fotoaparatorov hkrati, saj morajo biti vse fotografije z različnih fotoaparatorov posnete istočasno. Na osnovi časovno sinhroniziranih posnetkov odlovljenih živali se lahko izdelajo 3D žični modeli teh živali (slika 33).



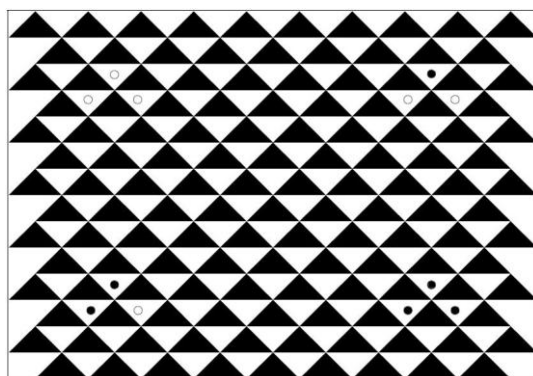
Slika 33: Fotografije morskega leva, oblepljenega z označevalnimi trakovi ter fotografije morskega leva v sedečem položaju in žična 3D modela, ustvarjena iz teh fotografij (Waite, 2000, str. 11 in 20).

Na izdelanem modelu se izmerijo standardne dolžine in obseg telesa živali (v konkretnem primeru morskega leva) na več mestih (predvsem obseg pri sprednjih plavutih). Te meritve so osnova za izračun mase (na podlagi znane regresijske enačbe) posamezne živali. Meritve dolžin in obsegov na modelu in iz teh meritev izračunana masa zaradi različnih dejavnikov



odstopajo od dejansko oziroma fizično izmerjenih dolžin, obsegov in mase (z merskim trakom oziroma s tehtnico). Odstopanja bodo manjša oziroma bo model izdelan natančneje, če se fotografije pred obdelavo in pred ustvarjanjem modela analizira in se fotografije slabše kvalitete (slabe svetlobne razmere, razni madeži in sence, slabi preseki med fotoaparati, slaba časovna sinhronizacija med fotografijami, fotografiran predmet izven fokusa ipd.) izloči iz nadaljnje obravnave.

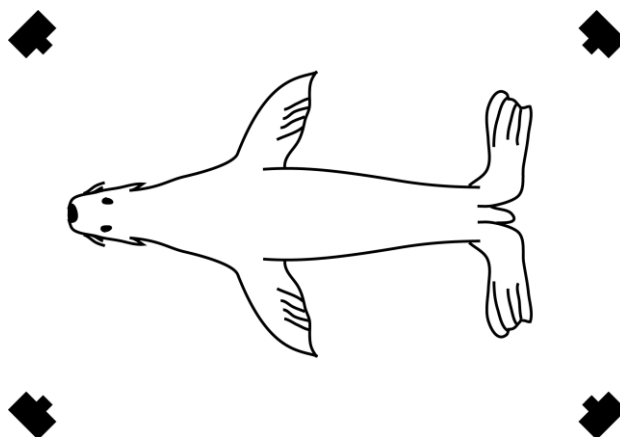
Še pred uporabo nemetričnega fotoaparata ali več njih je treba izvesti kalibracijo vsakega od njih. Kalibracija se izvede s fotografiranjem testnega polja (lahko se npr. uporabi tistega, ki ga vključuje PhotoModeler programska oprema – slika 34) iz večih kotov in z različnimi rotacijami fotoaparata ter z obdelavo teh fotografij v ustrezni programski opremi. Programska oprema označi in izmeri točke vzorca testnega polja in njihove izmerjene položaje primerja z znanimi položaji teh točk. S kalibracijo na tak način pridobimo podatke o notranji orientaciji fotoaparata v času fotografiranja. Kalibracijsko poročilo vsebuje tudi podatke o natančnosti vseh teh parametrov. Najboljše rezultate se dobi, če se uporabi kakovosten fotoaparat. Proučevan predmet (žival) moramo fotografirati z istimi parametri (goriščna razdalja, zaslonka, čas itd.) kot smo fotografirali testno polje.



Slika 34: Primer testnega polja za kalibracijo fotoaparata (Waite, 2000, str. 16).

Kadar se za izdelavo modela in izvedbo meritev uporabi program PhotoModeler (kot v zgornjem primeru ocene mase in morfometrije morskih levov), so osnovni pogoji za uspešno izdelavo modela sledeči:

- vsak del fotografiranega predmeta (v konkretnem primeru živali) mora biti viden na vsaj dveh fotografijah,
- in položaj(i) fotoaparata(ov) naj bo(do) glede na predmet (žival) v trenutku fotografiranja postavljen(i) tako, da so preseki žarkov čim bližje pravokotnim (slika 35).



Slika 35: Prikaz položajev fotoaparata med fotografiranjem morskega leva (Waite, 2000, str. 10)

Ko je kalibracija fotoaparata opravljena in žival poslikana, se fotografije uvozijo v ustrezen fotogrametrični program. Glede na predelano literaturo ugotavljam, da se posnetki večinoma obdelajo v programu PhotoModeler kljub temu, da obstaja veliko bistveno boljših fotogrametričnih programov, s katerimi lahko opravimo stereoizvrednotenje in pridemo do precej bolj natančnih rezultatov (še posebej, če imamo opravka s površinami z malo detajla) kot denimo s programom PhotoModeler. Vzrok za to, da se raziskovalci na področju proučevanja živali poslužujejo predvsem programa PhotoModeler in ne ostalih boljših (gledano s fotogrametričnega vidika) fotogrametričnih programov, je lahko v cenovni dostopnosti programa PhotoModeler in dejstvu, da za obdelavo posnetkov s tem programom ne potrebujemo veliko specifičnega znanja s področja fotogrametrije. Morda pa raziskovalci, ki proučujejo (divje) živali, ostalih boljših fotogrametričnih programov enostavno ne poznajo, ali pa ne poznajo njihovih prednosti. Možno je tudi, da jim natančnost, kakršno omogoča PhotoModeler, za njihove potrebe povsem zadostuje.

V programu PhotoModeler je postopek obdelave posnetkov (z namenom ustvariti 3D model) sledeč. Na vseh fotografijah se označi identične (vezne) točke, ki se jih nato poveže preko

vseh fotografij (označimo točko na prvem posnetku, jo povežemo z identično točko na drugem posnetku, nato na tretjem itd.). Gre za izvedbo relativne orientacije fotografij v prostoru. Relativno orientiran model se s primerjavo izmerjenih dolžin na fotografijah z znanimi dolžinami na objektu preračuna v lokalni prostorski koordinatni sistem. Sledi izvajanje meritev detajlnih točk na fotografijah (v konkretnem primeru je šlo za meritve obsegov in dolžin morskega leva). Na fotografijah se na živali izbere in označi ustrezno število karakterističnih točk. Na vseh fotografijah se označijo identične točke. 3D položaj detajlnih točk v prostoru se izračuna na podlagi preseka žarkov s posameznih fotografij. Te točke se med seboj poveže z ravnimi ali krivimi linijami. Na tak način se ustvari 3D žični model. Če se ga prekrije še s ploskvami, dobimo 3D ploskovni model. Za konec se določi prostornino 3D modela, kar je osnovni podatek za izračun mase opazovane živali (morskega leva). Seveda je ob vsem tem pomemben korak tudi analiziranje podatkov in rezultatov (npr. proučitev vpliva položaja plavuti in telesa, stopnje vlažnosti kože, natančnosti kalibracije, napak merjenja točk ipd. na meritve in s tem na rezultate). Ugotovljeno je bilo, da je za ocenjevanje mase živali večslikovna fotogrametrija primernejše orodje od enoslikovne fotogrametrije, saj omogoča točen in natančen izračun prostornine ustvarjenega modela. Podatki o točno in natančno določenih obsegih ter dolžinah telesa in masi živali so pomembni predvsem, ko gre za proučevanje izginjajočih populacij. Pridobljene podatke se primerja npr. z meritvami populacije iste živalske vrste, ki živi na drugem območju in se preko tega oceni dejavnike, ki vplivajo na izginjanje oziroma ohranjanje populacij. Slabost večslikovne fotogrametrije za ta namen pa je precejšnja neprimernost za uporabo v naravnem okolju morskih levov (medtem, ko se večje število osebkov skupaj zadržuje na kopnem) - operaterji s fotoaparati bi morali, da bi lahko z njimi uspešno zajeli večjo skupino teh živali, stati daleč narazen, zaradi česar bi bila časovna sinhronizacija posnetkov slaba (oziroma bi bila nujna uporaba avtomatiziranih, računalniško kontroliranih in elektronsko sinhroniziranih fotoaparatorov), poleg tega nekaterih meritev zaradi neugodnih položajev živali glede na namen tovrstnih raziskav sploh ne bi bilo možno izvesti (Waite, 2000).

Nekatere podatke o živalih je možno pridobiti tudi z **digitalnimi kamerami**, ustrezno nameščenimi na žival. Slika 36 prikazuje velikega kormorana z digitalno kamero na hrbtu, ki je omogočila vpogled v prehranjevalne navade teh ptic.



Slika 36: Veliki kormoran z digitalno kamero na hrbtu (Ropert-Couder, Wilson, 2005, str. 441).

## **2.5 Povezovanje invazivnih metod in uporaba pridobljenih podatkov s temi metodami na drugih področjih**

Satelitska in radijska telemetrija omogočata pridobitev velikih količin detajlnih podatkov, na osnovi katerih je možno pridobiti najrazličnejše ocene o spremljanih živalih. Do še več detajlnih podatkov in s tem do še več pomembnih informacij o proučevanih živalih pridemo, če v sklopu posamezne raziskave združimo s satelitsko in radijsko telemetrijo pridobljene podatke. V kolikor se vse te podatke združi še s tistimi, ki jih je zagotovila fotogrametrija, se lahko dokopljemo do še več zaključkov oz. ocen o proučevani živali.

Združevanje podatkov, pridobljenih na osnovi različnih metod, je torej lahko zelo koristno. V raziskavo je marsikdaj smiselno vključiti tudi že obstoječe podatke iz preteklih raziskav. Je pa treba združevanju različnih podatkov posvetiti posebno pozornost. Treba se je zavedati, da prevelika količina podatkov lahko postane težko ali pa sploh neobvladljiva. Poleg tega običajno podatki, pridobljeni z več različnimi metodami, niso enake natančnosti in so zato težje primerljivi. Katere podatke (že obstoječe in na novo pridobljene) in koliko podatkov je smiselno združiti, se je treba odločiti za vsako raziskavo posebej (glede na namen in cilje raziskave).

Z združevanjem različnih metod in tehnik se lahko tudi poveča natančnost. Posamezne lokacijske ocene, pridobljene denimo z radijsko telemetrijo, niso visoke natančnosti. Če pa radijsko telemetrijo kombiniramo še z drugimi metodologijami (satelitska telemetrija, GIS, ...), lahko povečamo natančnost in točnost lokacijskih ocen (Millsbaugh, Marzluff, 2001).

Glede na to, da je uporaba vseh obravnavanih invazivnih metod precejšnji finančni zalogaj in da se v sklopu teh metod pojavljajo negativni vplivi na počutje in vedenje živali, je pridobljene podatke smiselno uporabiti tudi na drugih področjih (oceanografija, klimatske spremembe, ...) in ne le na področju proučevanja prostoživečih živali. Izkoristek pridobljenih podatkov naj bo zaradi že omenjenih razlogov čim večji (Millsbaugh, Marzluff, 2001).

Zelo dobrodošlo je tudi kombiniranje s satelitsko in radijsko telemetrijo pridobljenih podatkov z Landsat-ovimi podobami (Javed et al., 2003; Argos newsletter, 1994). Tovrstno združevanje podatkov omogoča (v GIS) izvedbo številnih analiz.

## **2.6 Obdelava in analiziranje pridobljenih podatkov**

Podrobnemu načrtovanju raziskave in pridobitvi vseh potrebnih podatkov z eno od predstavljenih metod sledi faza obdelave in analiziranja zbranih podatkov. Ta faza je – tako kot tudi faza načrtovanja – izrednega pomena. Načrtovanje je bistveno predvsem z vidika opredelitve namena ter ciljev raziskave in izbire ustrezne metodologije in tehnologije. Zbiranju vseh potrebnih informacij na način, ki je bil določen v sklopu načrtovanja, sledita obdelava in analiziranje zbranih podatkov. Pridobljeni podatki (ti so v sklopu satelitske telemetrije običajno koordinate (X, Y) z oddajnikom opremljene živali, razporejene v časovne vrste; teh podatkov je lahko količinsko manj ali pa ogromno (Priede, Swift, 1992)) sami po sebi ne nudijo odgovorov na številna vprašanja, ki jih nameravamo razjasniti tekom raziskave. Surove podatke je treba najprej na primeren način obdelati (poiskati in izločiti grobo pogrešena opazovanja, odpraviti šum, definirati redundantnost itd.), za kar se lahko uporabi tudi obstoječo programsko opremo. Sledi obsežno analiziranje ter testiranje in kritično vrednotenje rezultatov. Pri analiziranju so nepogrešljive najrazličnejše statistične metode in statistična orodja, veliko si lahko pomagamo s tehnologijo GIS, raznimi specifičnimi programi (lahko tudi v Matlabu) ipd. Način obdelave in analiziranja podatkov je za vsako

raziskavo unikaten. Podatke v sklopu posamezne študije je dobro obdelati in analizirati na več načinov ter rezultate nato primerjati. S kakšnimi rezultati se bomo zadovoljili, je odvisno od naše lastne presoje. Prav je, da smo pri tem kritični.

Pri vrednotenju rezultatov se moramo zavedati, na katerih predpostavkah je temeljila raziskava in to seveda tudi upoštevati. Ugotoviti je potrebno, katere predpostavke so oz. bodo imele na rezultate majhen in katere velik vpliv. Običajno velik vpliv na rezultate predstavljata npr. sledeči predpostavki (Millsbaugh, Marzluff, 2001):

- predpostavka o prostorski in časovni neodvisnosti lokacij in
- predpostavka o zanemarljivem vplivu oddajnika/sprejemnika na samo žival.

Naj navedem še nekaj primerov postopkov, ki se uporabljajo v sklopu obdelave in analiziranja zbranih podatkov: bafer cone, prekrivanje območij, tvorba poligonov, določanje središčne točke območja, analize odkrivanja gruč (*ang. cluster analysis*), Dirichletova teselacija, izračuni oddaljenosti in mnogi drugi matematični, statistični in grafični postopki (Rodgers, Carr, 2001; Priede, Swift, 1992).

## **2.7 Grafična predstavitev podatkov**

Zabeleženi podatki o premikih živali (lokacije, smer gibanja,...) se lahko predstavijo na statičnih ali pa dinamičnih kartah. Slabost predstavitve pridobljenih podatkov na statičnih kartah je ta, da ne vsebuje podatka o času. Na digitalnih dinamičnih prikazih pa je časovna komponenta prisotna. Dinamični prikazi so pogosti predvsem v sklopu satelitske in radijske telemetrije, pojavljajo pa se tudi na področju fotogrametrije (točka 2.4 - animacija premikanja kuščarjevega repa).

Današnja tehnologija omogoča spremljanje živali praktično v realnem času (prikazi lokacij živali se sproti spreminja/osvežuje) tudi na kartah. Svetovni splet (*ang. World Wide Web*) v povezavi s sistemom GIS omogoča izdelavo interaktivnih kart, na katere lahko raziskovalci pridobljene podatke neposredno s terena (terenski računalniki) s pomočjo brezžične povezave takoj prikažejo na karti na spletu in hkrati dostopajo do pregleda predhodno zabeleženih in na interaktivno karto vključenih podatkov.

Poleg posameznih premikov živali in migracijskih poti se v grafični obliki na kartah pogosto predstavi lego ter obliko in velikost habitata (ti podatki so bistveni za razumevanje ekologije živali), interakcije med posameznimi živalmi (s conami prekrivanja habitatov posameznih živali) in podobno (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Nepogrešljiv del grafičnega prikaza je merilo, prikazano v grafični ali pa numerični obliki. Brez podatka o merilu nam kartirani podatki ne povedo prav veliko.

Grafično se lahko prikažejo tudi napake - ocenjene vrednosti glede na prave vrednosti (Millspaugh, Marzluff, 2001).

Zaradi lažje primerljivosti različnih podatkov je dobro, da so le-ti podani v enakem merilu, da so podobne natančnosti, ločljivosti itd.

## **2.8 Geografski informacijski sistemi pri spremljanju in proučevanju divjih živali**

Današnji telemetrični sistemi omogočajo pridobitev velikih količin podatkov. Avtomatizirani sistemi (npr. GPS) lahko v enem letu zabeležijo nekaj tisoč lokacij posamezne živali. Sistem GIS ne omogoča le izdelave kart (statičnih in dinamičnih), ampak tudi shranjevanje in porazdeljevanje geolociranih (rastrskih in/ali vektorskih) podatkov ter številne analize množice pridobljenih podatkov (slika 37), zaradi česar je v fazi obdelave in analiziranja podatkov nepogrešljivo orodje. Nekateri telemetrični sistemi kot sta npr. GPS in hiperbolični telemetrični sistem, nas lahko privedejo do enake prostorske ločljivosti kot je ločljivost satelitskih podob (npr. 30 metrska ločljivost posnetkov Landsat), zato je označevanje lokacij živali na satelitskih podobah njihovega habitata v sistemu GIS relativno enostavno in kar je najpomembneje, kakovostno. Ker je v raziskavah o divjih živalih običajno izrednega pomena, da se posameznim lokacijam pravilno dodelijo pripadajoči deli habitata živali (da se dobi realno predstavo o tem, kateri tipi habitata so za posamezne živali ali za skupino živali najpomembnejši), se pogosto kot zelo uporabne pri obdelavi podatkov izkažejo t.i. bafer cone. Krožne bafer cone okoli posameznih lokacij (z radijem večjim ali enakim poznanemu pogrešku določenega telemetričnega sistema) na dokaj preprost način omogočajo dodelitev posameznih delov habitata posameznim lokacijam. Uporabljajo se tudi analize vmesnih

območij (*ang. buffer zone*) s spremenljivim polmerom, prekrivanje območij, ustvarjanje poligonov itd. (Fancy et al., 1988; Millspaugh, Marzluff, 2001)

GIS je dokaj enostavno orodje za izdelavo prikaza migracijskih poti. Točke (koordinati X in Y) poti se v GIS uvozijo kot točkovni ali pa poligonski podatkovni sloj. Če točke še niso preračunane v ustrezno projekcijo, se to stori ob/po uvozu v orodje GIS. Uvoženi podatki se s prekrivanjem podatkovnih slojev prikažejo npr. na karti habitata (prikaz na rastrsko podobo ali pa na vektorski sloj). Seveda so možne tudi različne analize uvoženih podatkov. Z orodjem GIS je možno predvideti tudi verjetnost izrabe različnih delov habitata s strani proučevanih živali (Fancy et al., 1988; Millspaugh, Marzluff, 2001).

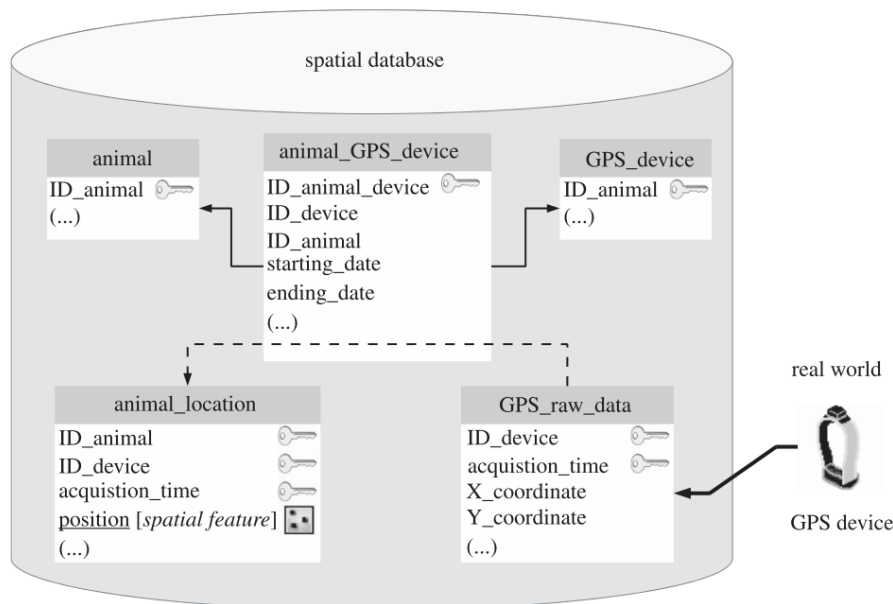
Prednost sistema GIS je tudi v tem, da omogoča kombiniranje različnih prostorskih in ostalih podatkov. Pridobljene podatke je mogoče kombinirati s podatki daljinskega zaznavanja in ostalimi rastrskimi ali vektorskimi podatki. Prav tako ima velik pomen relativno enostaven vnos atributnih podatkov in delo z njimi. Omenjene karakteristike sistema GIS so uporabne npr. pri določanju oz. ugotavljanju izrabe habitata: vsakemu pikslu rastrskega sloja (npr. podoba, pridobljena z daljinskim zaznavanjem) se dodeli številčna vrednost, ki predstavlja predvideno število živali na območju, ki ga pokriva piksel (Bindi, 2007; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Tehnologija GIS omogoča hitro (lahko tudi skoraj v realnem času) upodobitev pridobljenih podatkov in je skupaj s satelitsko in radijsko teletetrijo najpogosteje uporabljeno orodje na področju spremljanja in proučevanja (divjih) živali. Za program ArcView obstajajo tudi nekatere razširitve z raznimi prilagoditvami (npr. razširitev za analizo habitata), kar še dodatno povečuje uporabnost tehnologije GIS za namene spremljanja in proučevanja živali (Bindi, 2007; Rodgers, Carr, 2001; Millspaugh, Marzluff, 2001).

Poleg orodij GIS (vključno z DBMS - *ang. Data Base Management System* in SQL - *ang. Structured Query Language*) so na področju spremljanja in proučevanja živali nepogrešljiva še orodja kot je GEOS (program za obdelavo podatkov) ipd. Večina informacijskih sistemov, namenjenih upravljanju s pridobljenimi podatki o živalih (npr. ISAMUD, WRAM, BIOMAP), temelji na DBMS. Izrednega pomena je interoperabilnost med različnimi sistemi



in s tem standardizacija programov, funkcij, formatov itd. Predvsem na področju proučevanja živali (preko sistema GPS in tudi sicer) je standardizacija še pomanjkljiva, zato pridobljeni podatki med sabo pogosto niso neposredno primerljivi (Urbano et al., 2010).



Slika 37: Splošni model možne podatkovne baze na področju proučevanja (divjih) živali (Urbano et al., 2010, str. 2182).

### 3 NEINVAZIVNE METODE S PODROČJA GEODEZIJE ZA SPREMLJANJE IN PROUČEVANJE ŽIVALI

Neinvazivne metode na področju spremljanja in proučevanja živali so metode, pri katerih raziskovalec ne pride v neposredni fizični stik z živaljo. Med neinvazivne metode v splošnem spadajo: zbiranje in proučevanje dlak ter iztrebkov živali; proučevanje ostalih sledi, ki jih živali pustijo za seboj; iskanje sledi s psi sledniki; opazovanje živali s pravilno nameščenimi fotoaparati in kamerami, ki se upravljajo na daljavo; genetske in endokrine preiskave ipd. (Long et al., 2008) V skladu s temo tega diplomskega dela se bom v tem poglavju omejila na neinvazivne metode s področja geodezije, t.j. na uporabo GNSS-ja, na metode daljinskega zaznavanja in fotogrametrične metode, pa tudi na metode, ki spadajo na področje terestrične geodezije (npr. opazovanje delfinov s pomočjo teodolitov).

Tako kot pri spremljanju in proučevanju divjih živali z nekaterimi invazivnimi vrstami metod, je tudi pri spremljanju in proučevanju z neinvazivnimi metodami pogosto primarnega pomena določitev oz. zabeležba čim bolj natančnih geografskih lokacij, kjer se (je) žival nahaja(la). To je namreč osnovna informacija, na osnovi katere se lahko nadalje prouči porazdelitev živali po določenem območju ipd. Izjema so nekatere terestrične bližnjelikovne fotogrametrične metode, ki se koncentrirajo direktno na subjekt (t.j. žival). V sklopu teh metod ni cilj pridobiti položaja živali v prostoru, temveč npr. pridobitev položaja delov (točk) živali v prostoru s končnim namenom npr. ustvariti 3D model proučevane živali.

Neodvisno od uporabljene metode je treba za zanesljive in kakovostne rezultate vedno, ko je to mogoče, izvesti preverjanje kakovosti meritev oz. zabeležb.

Kadar gre za vizualno spremljanje živali, lahko uporabimo fotografiranje (npr. infra-rdeče IR fotoaparate) ali snemanje z video napravami, ponoči pa so uporabni predvsem radarji, eholokacija (ang. *echolocation*) in hiperspektralni senzorji (Ropert-Coudert, Wilson, 2005).

Mnoge neinvazivne metode predstavljajo manjši finančni zalogaj v primerjavi z metodami, predstavljenimi v drugem poglavju.

### 3.1 Metode daljinskega zaznavanja

Daljinsko zaznavanje je hitro razvijajoča se panoga, namenjena zbiranju okoljskih podatkov, pri čemer se poslužuje platform na satelitih ali na drugih zračnih plovilih. Omogoča opazovanje zemeljskega površja z natančnostjo, primerljivo z GPS-natančnostjo. V današnjem času je uporabnikom na voljo več različnih tehnoloških različic s področja daljinskega zaznavanja: optični in termalni sistemi (oboje so pasivni), LIDAR in mikrovalovni sistemi (oboje so aktivni). Preko klasifikacije, opravljene na satelitskih ali aero posnetkih, segmentacije podob, analiz teksture in modeliranja terena je možno pridobiti informacije o izrabi habitata, njegovi raznolikosti itd., možno je izdelati tudi modele habitata in populacij. Pri tem je treba uporabiti podatke z ustrezno prostorsko in časovno ločljivostjo. Glede na cilje raziskave, potrebno merilo in razpoložljive finančne vire se morajo raziskovalci odločiti, ali bodo uporabili relativno drage podatke zelo visoke ločljivosti (npr. SPOT – nekaj metrska prostorska ločljivost, QuickBird – ločljivost boljša od enega metra, ...), ali pa se bodo poslužili srednje oziroma nizko ločljivih podatkov, ki so nekoliko cenejši oziroma so na voljo celo zastonj (npr. MODIS – prostorska ločljivost 250 m in več, LandsatETM – prostorska ločljivost približno 15-30 m) (Urbano, 2010, str. 2182). Podobe daljinskega zaznavanja se ob ustrezni ločljivosti lahko uspešno uporabi kot podlago za razne analize in kot podlago za predstavitev rezultatov raziskav o proučevanih živalih. Z nekaterih posnetkov je praktično že na prvi pogled možno oceniti grobo lokacijo živali. Kako velike (skupine) živali so na podobah vidne oziroma razpoznavne, je seveda odvisno od ločljivosti podob.

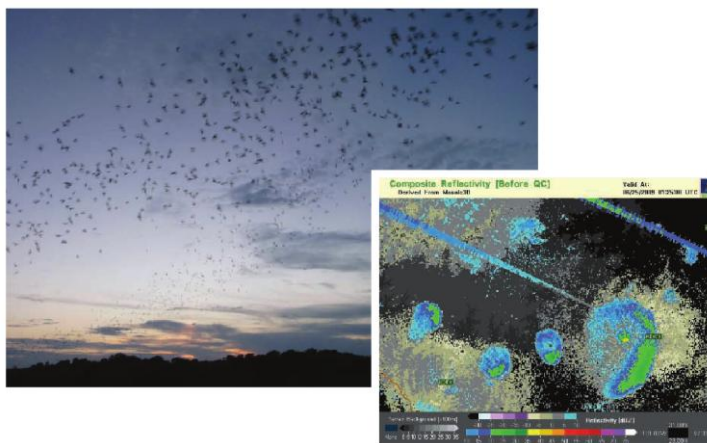
#### 3.1.1 Radarji

Radar je oznaka za RADio Detection And Ranging. Njegovi glavni sestavni deli so oddajnik, antena, sprejemnik in sistem za obdelavo podatkov. Antena oddaja mikrovalovne signale, ki se, ko dosežejo trdno snov, odbijejo (ali pa tudi ne – nekateri predmeti oz. snovi absorbirajo elektromagnetno valovanje oz. EMV) nazaj proti anteni. Elektromagnetni senzor (na anteni) izmeri jakost odbitega mikrovalovnega signala. Na osnovi meritev časovnega intervala med trenutkom oddaje in trenutkom zaznave odbitega signala se izračuna oddaljenost zaznanega predmeta od radarja. Razlika med oddano in sprejeto frekvenco odbitega signala (Dopplerjev efekt) pa je osnova za določitev hitrosti in smeri zaznanega predmeta. Z radarjem je torej

možno določiti koordinate, hitrost, smer pomikanja in obliko zaznanega (statičnega ali premikajočega) objekta. Antene so običajno z namenom, da se odbiti signali ob sprejemu skoncentrirajo, parabolične oblike. To omogoča pridobitev relativno točnih podatkov o zelo oddaljenih predmetih. Delovanje radarjev ni omejeno na eno frekvenco, ampak deluje na frekvencah (oz. valovnih dolžinah) X, C, S, L, P. Govorimo o X, C, S, L, P pasovih. Radar zaznava zvezne površine – piksele v rastrski mreži. Pomemben podatek o radarju predstavljata njegov vertikalni in horizontalni domet (Oštir, 2006, str. 218; Hilgerloh, 2010; Beason et al., 2010).

Radarji se lahko uspešno uporabijo tudi na področju proučevanja prosto živečih živali, običajno ptic. Predvsem ladijski radarji so zaradi visoke ločljivosti, relativno enostavne uporabe in cenovne ugodnosti (poceni v primerjavi z drugimi vrstami radarjev) zelo uporabni za opazovanje ptic (Hilgerloh et al., 2010). V ta namen se zelo uspešno lahko uporabi tudi radarje, ki so sicer namenjeni spremljanju vremenskih pojavov (slika 38). Dokter in ostali (2010) v enem od svojih člankov analizirajo uporabnost vremenskih radarjev z namenom proučitve migracij ptic. Ugotovili so, da se lahko v kombinaciji z ustreznimi avtomatiziranimi algoritmi (razvitimi prav v ta namen, med drugim identificirajo odmeve, ki jih povzročajo npr. insekti in jih izločijo iz obdelave) z (Dopplerjevimi) vremenskimi radarji brez večjih težav pridobi kakovostne podatke (npr. na 5-15 minut, 200 m višinske ločljivosti, verjetnost zaznave ptic je lahko tudi 99%) o množičnosti ptic (na osnovi meritev reflektivnosti) ter njihovi hitrosti in smeri pomikanja in sicer kot funkcijo nadmorske višine (višine leta ptic). Ptice je možno z vremenskimi radarji stalno spremljati v skoraj realnem času, mogoče je tudi identificiranje posameznih osebkov. Vsi ti podatki, ki jih je možno pridobiti preko radarjev, ki so sicer namenjeni opazovanju vremena, so pomembni iz več vidikov. Celovito spremljanje ptic z vremenskimi radarji daje raziskovalcem vpogled v njihove migracijske vzorce (hitrost in smer leta, vplivi vremena, orografije in ostalih dejavnikov na migracijske poti ipd.), tovrstna védenja pa so osnova za izdelavo projektov za učinkovito zaščito ptic, kamor spada denimo preprečevanje trkov z letali, vetrnicami in ostalimi objekti. Radarji so na področju ornitologije izrednega pomena, saj omogočajo beleženje gibanja ptic ponoči in podnevi ter na velikih nadmorskih višinah (omogočena je izdelava višinskih profilov letov ptic) in velikih oddaljenostih. Vremenski radarji poleg tega pokrivajo veliko območje, zaradi česar je njihova uporabnost še večja. Praktično nujno pa je, da se izsledke, do katerih se pride s pomočjo

vremenskih radarjev, primerja z rezultati, dobljenimi z radarji visoke natančnosti, ki so prilagojeni prav spremljanju ptic. Le na tak način se namreč lahko pride do kakovostnih in ustrezno ovrednotenih rezultatov. Vse pogosteje se na tem področju govori o polariziranih vremenskih radarjih - ti naj bi v prihodnosti podali še zanesljivejše ocene o številčnosti in migracijah ptic. Pričakuje se tudi, da bo rezultate še dodatno izboljšala integracija opazovanj o migracijah, pridobljenih z vremenskimi radarji, z migracijskimi modeli (kombiniranje opazovanj in modelov je sicer postala že običajna praksa na področju napovedovanja vremena).



Slika 38: Modri odtenki na radarski sliki (desno) predstavljajo jate netopirjev, ki zapuščajo svoje votline (Pennisi, 2011, str. 998).

V preteklih raziskavah so znanstveniki že ugotovili (Mateos et al., 2010), da so opazovanja z radarji lahko odlično dopolnilo vizualnemu ocenjevanju razdalj do ptic (na morju in na kopnem) in ocenjevanju številčnosti ptic. Če se vizualno ocenjene vrednosti razdalj in ostale vizualno ocenjene vrednosti (z optičnimi iskali, daljnogledi, teleskopi, laserskimi iskali), ki so močno odvisne od izkušenosti opazovalca, ustrezno kalibrira oz. popravi glede na radarska opazovanja, se s pridobljenimi podatki poleg razdalj lahko relativno kakovostno oceni tudi številčnost ptic/jat. Ob tem pa se je treba zavedati, da tudi radarske meritve niso povsem proste pogrškov. Praviloma so prisotni nekateri instrumentalni pogrški in pa nekateri sistematični pogrški (npr. signal na radarskem zaslonu običajno prikazuje večje območje kot ga v resnici predstavlja ptica ali jata ptic). Vsi ti pogrški imajo seveda določen vpliv na ocenjene vrednosti razdalj, vendar kot kaže ti vplivi niso veliki. Tovrstno kombiniranje

vizualnih opazovanj z radarskimi je uporabno predvsem takrat, kadar z drugimi metodami zaradi različnih vzrokov ni možno pridobiti dovolj natančnih meritev (glede na namen študije) in kadar želimo oceniti vplive na meritve (vpliv velikosti in vedenja ptic, vremenskih razmer, opazovalca ipd.) in na končne rezultate. Za take ocene so namreč potrebni dovolj veliki vzorci, le-te pa je možno pridobiti z radarskimi opazovanji.

Čeprav gre za deloma invaziven pristop, naj kljub temu v sklopu tega poglavja omenim, da se radarska opazovanja da zelo dobro kombinirati tudi s satelitsko telemetrijo – slika 39 (Beason et al., 2010). Kombinacija radarskih in satelitskih (PTT-GPS) opazovanj hkrati omogoča neprekinjeno (npr. na vsaki 2 sekundi, kar je pri spremljanju ptic s satelitsko telemetrijo pogosto nemogoče) spremljanje ptic (te podatke zagotavlja radar) znotraj dosega radarja, opazovanje njihovega vedenja ter identifikacijo posamezne ptice (te podatke zagotavlja PTT-GPS). Kadar radarji ne zmorejo določiti vrste zaznanih ptic in ne morejo ločiti posameznih osebkov med sabo, se nekaj ptic opremi z oddajniki PTT-GPS in se preko njih pridobi te potrebne manjkajoče podatke. Naprave PTT-GPS in radar(je) je potrebno časovno uskladiti ter oboje povezati z računalnikom (z ustreznim vmesnikom in programsko opremo). Kombiniranje omenjenih tehnologij je izrednega pomena pri spremljanju ptic, ki se zadržujejo na gozdnatem področju in daleč migrirajo. Pri vrstah ptic, ki se močno oddaljijo od kopnega, so v kombinaciji s PTT-GPS zelo uporabni radarji na plovilih. Informacije, ki so pridobljene s kombinacijo radarske in satelitske tehnologije, so osnova za definiranje programov zaščite ptic (preprečevanje nesreč na področju vetrnic, razlitja nafte ipd.) (Beason et al., 2010).



Slika 39: Prikaz radarskega zaslona/slike, vključno s položaji ptic, ki so bile opremljene s PTT-GPS (puščice in zeleni kvadratici) (Beason et al., 2010, str. 157).

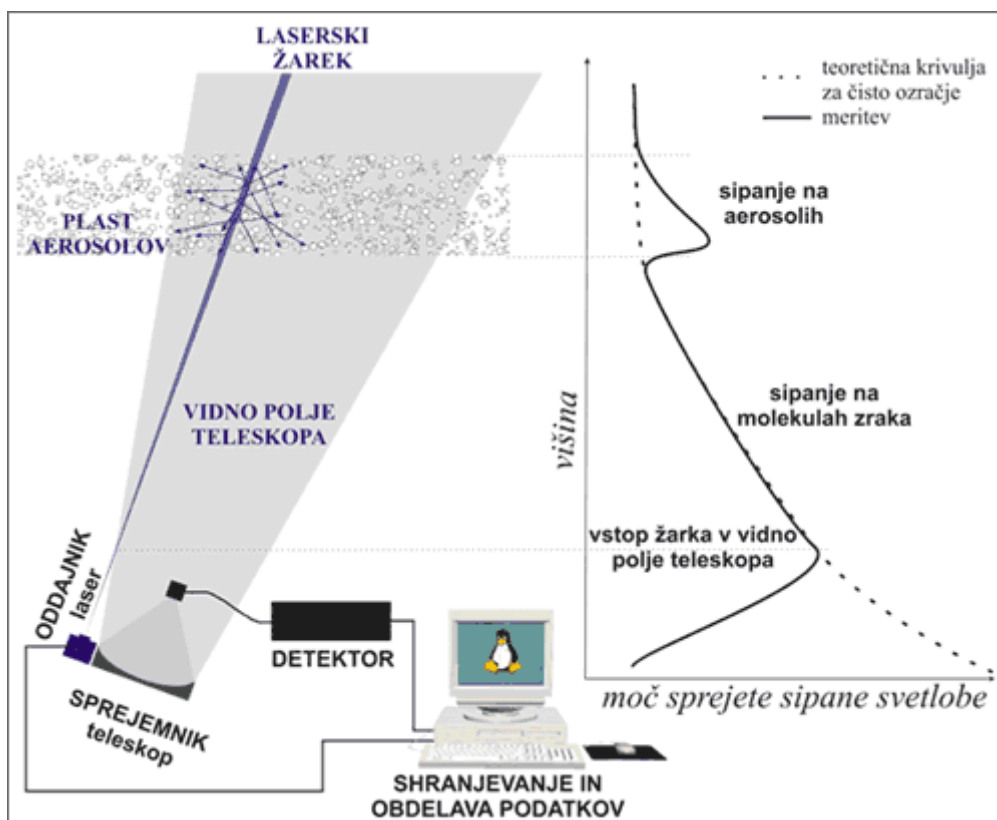
### 3.1.2 Lidar

Lidar je okrajšava za LIght Detection And Ranging (t.j. zaznavanje svetlobe in merjenje razdalj) oz. za Laser Imaging Detection And Ranging (t.j. lasersko zaznavanje in merjenje razdalj). To je aktivni senzor, ki deluje podobno kot radar. V primerjavi z radarjem lidar običajno opazuje površje navpično navzdol (ne vstran) in zaznava diskretne točke (ne pa zveznih površin, to je pikslov v rastrski mreži). Prav tako kot pri radarju je tudi pri lidarju osnova za določitev razdalje med senzorjem in zaznanim/opazovanim predmetom čas potovanja elektromagnetnega impulza (ti impulzi so v primeru lidarja v vidnem in bližnjem infrardečem delu elektromagnetnega spektra). Glavni deli lidarskega sistema (diskretnega ali pa valovnega) kot ga poznamo v geodeziji so laserski razdaljemer, optično mehanski skener, sistem pozicioniranja (vključno z DGPS in inercialnim navigacijskim sistemom (INS) za določitev natančnega položaja sensorja v izbranem koordinatnem sistemu) in krmilno procesna enota (Oštir, 2006, str. 73-74). Pomembne tehnične lastnosti, ki določajo namen

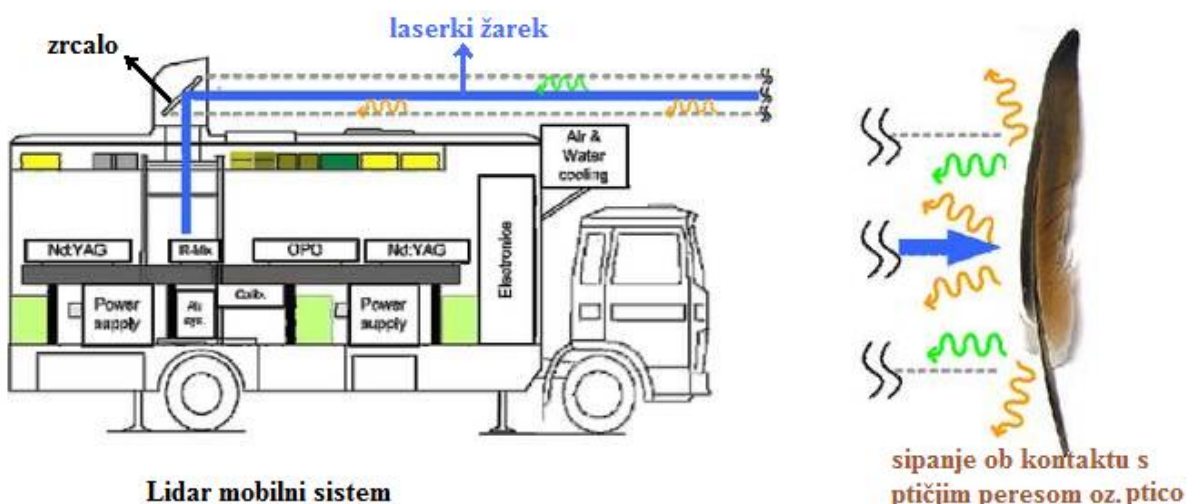
oziroma zmogljivost lidarjev in po katerih se lidarji ločijo med seboj, so valovna dolžina laserja in frekvenca laserskega impulza, premer laserskega žarka in moč laserja. (Oštir, 2006, str. 75). Na področju zoologije se lidarski sistemi največkrat uporabljajo za proučevanje ptic, pa tudi rib, čebel, kačjih pastirjev (Brydegaard, 2010).

Lidar se lahko uspešno uporabi tudi na področju proučevanja živali, predvsem ptic. Sistem Lidar, katerega princip delovanja je predstavljen v naslednjih vrsticah, je zelo uporaben na področju preiskovanja ozračja (plinske sestave in višinskih profilov atmosfere), kot uporaben pa se je izkazal tudi na področju proučevanja živali. Njegovi glavni sestavni deli so: laser, sprejemni teleskop, filter, fotopomnoževalka (*ang. photo multiplier tube PMT*) in analogno-digitalni pretvornik. Laser (s pomočjo rotirajočega zrcala) v ozračje oddaja močne kratke laserske impulze, ki se na poti skozi ozračje absorbirajo in sipajo (slika 40). Del svetlobe, ki se sipa v povratni smeri, zazna in zbere teleskop (nahaja se ob oddajniku laserskih oz. svetlobnih pulzov). Filter nam omogoča, da zberemo le tisto svetlobo, ki nas zanima (in ne le vse povratno sipane svetlobe). Ker je povratno sipani signal zelo šibek, se ga ojača v fotopomnoževalki. Signal se nato z analogno-digitalnim pretvornikom pretvori iz analognega signala v digitalni signal, ki je primeren za računalniško obdelavo. Na osnovi obdelanih lidarskih signalov lahko dobimo informacije o razdalji, porazdelitvi in lastnostih delcev v ozračju. Za merjenje koncentracije izbrane snovi se uporablja diferencialni absorpcijski lidar (DIAL), pri katerem se uporabljata dva laserska žarka z različnimi valovnimi dolžinami - ena od njiju je usklajena z absorpcijsko črto, druga pa ne (Brydegaard, 2010; Mežnar, 2004). Na osnovi sipanja in odboja laserske svetlobe od živali (slika 41) je na način, kot je predstavljen v prejšnjih vrsticah, možno npr. klasificirati ptice, oceniti njihovo številčnost ter oddaljenost (Brydegaard, 2010).





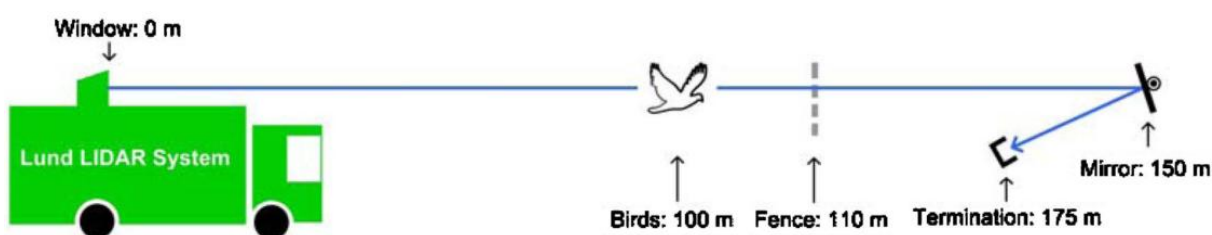
Slika 40: Osnovni princip delovanja sistema Lidar (Univerza v Novi Gorici, <http://www.ung.si/si/raziskave/raziskave-atmosfere/otlica/lidar-otlica/>).



Slika 41: Mobilni sistem Lidar (Lund University,

[http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied\\_molecular\\_spectroscopy\\_and\\_remote\\_sensing/research\\_overview/fluorescence\\_lidar/](http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied_molecular_spectroscopy_and_remote_sensing/research_overview/fluorescence_lidar/)).

Na sliki 42 je prikazana uporaba mobilnega sistema Lidar za proučevanje kačjih pastirjev. Kot je razvidno iz slike, se je na oddaljenosti 110 m od vozila nahajala ograja, na oddaljenosti 150 m od vozila pa je bilo postavljeno zrcalo, ki je laserskemu žarku omogočilo odboj žarka do kačjih pastirjev, ki so se nahajali nad vodno gladino. Med procesom proučevanja kačjih pastirjev se je v vidnem polju teleskopa na oddaljenosti 100 m od vozila znašla jata ptic. Tako so hkrati pridobili podatke ne le o kačjih pastirjih, temveč tudi o pticah, ki so v času meritev letele mimo (Brydegaard, 2010).

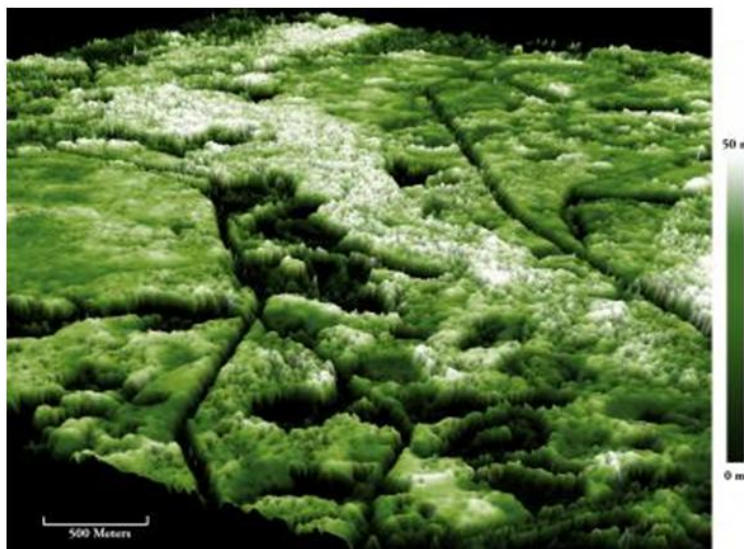


Slika 42: Klasifikacija ptic z Lund fluorescenčnim mobilnim sistemom Lidar (Brydegaard, 2010, str. 4536).

Na področju lociranja (tudi po višini) in klasifikacije (določitev vrste in spola) ptic se zaradi obstoječe povezave med odbojnostjo perja in fluorescentnostjo perja lahko uporabi fluorescenčni lidar, ki ne povzroča škode ptičjim očesom. Primeren je za proučevanje in klasifikacijo ptic, ki so dejavne ponoči in se zadržujejo na večjih višinah. Iz pridobljenih podatkov je mogoče sklepati o številčnosti ptic, nočnih migracijah ptic in o širjenju raznih virusov po svetu. Vrste ptic, ki imajo perje enakih ali podobnih odbojnih lastnosti (npr. temno sive in sive ptice), s to metodo ni možno ločiti in jih zato tudi ni možno ustrezno klasificirati. Ugotovili so, da se insekti in ptice ob uporabi lidarja v zoologiji pojavljajo kot nenadne laserske točke, kar pa ne velja za oblake in prašne delce v ozračju - ti se pomikajo počasneje, v odvisnosti od hitrosti vetra (Brydegaard, 2010).

Na področju proučevanja živali je bil že uporabljen tudi lidar v smislu, kot nam je v geodeziji bolj poznan (slika 43). Gosti oblaki točk, pridobljeni z lidarskim snemanjem, ponujajo vpogled v strukturo vegetacije (vertikalna razporeditev listov in vejevja; možna je izdelava 3D podob vegetacije proučevanega območja), kar je osnova za ocenjevanje biotske

raznolikosti določenega habitata in s tem osnova za ocenjevanje oziroma predvidevanje številčnosti ptic na območju tega habitata (Biology-Blog.com).

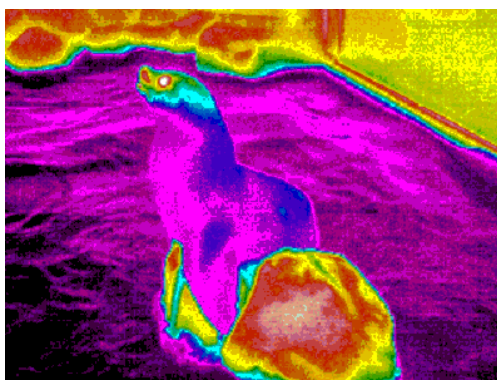


Slika 43: 3D podoba višin drevesnih krošenj v Patuxent National Wildlife Refuge (vir: Biology-Blog.com).

### 3.1.3 Infra rdeče (IR) kamere in toplotni posnetki

Pri zaznavanju različnih vrst živali si raziskovalci včasih pomagajo s toplotnimi posnetki, pa tudi z IR kamerami.

Toplotni posnetki se lahko ob ustrezni toplotni ločljivosti (minimalna razlika v temperaturi, ki se jo še zazna) in vidnem polju uspešno uporabijo za zaznavanje, preštevanje in lociranje živali ter za identifikacijo vrste, spola in starosti živali. Osnova je lahko naprava na krovu zračnega plovila s hitro rotirajočim skenirnim ogledalom, ki zaznava IR sevanje odbija na vrsto detektorjev iz ustreznega materiala. Lahko pa se npr. na obalo namesti IR termalne kamere (slika 44) (Brydegaard, 2010). Glede na predelano literaturo je ta metoda na področju proučevanja divjih živali v primerjavi z drugimi metodami redkeje uporabljena. Njena prednost je neinvazivnost.



Slika 44: IR podoba morskega leva na skali – rdeči odtenki predstavljajo tople, modri pa hladne predele.

(Oregon State University, <http://mmi.oregonstate.edu/pearl/research/infrared-summary>)

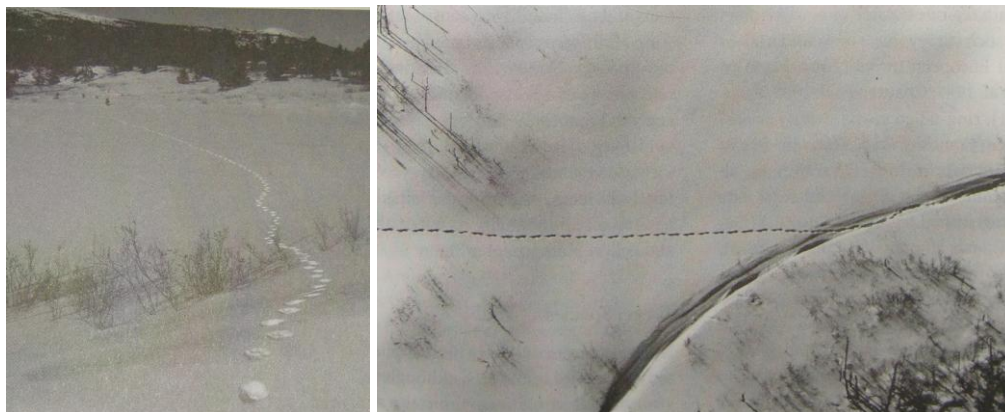
## 3.2 Fotogrametrične metode

Fotogrametrija je veda o pridobivanju metričnih podatkov s fotografij (analognih ali digitalnih), posnetih iz zraka (aero-fotogrametrija) ali s tal (terestrična fotogrametrija) (Opča enciklopedija, 1977).

### 3.2.1 Dokumentiranje živali, njihovih sledi, bivališč,... s fotoaparati in kamerami

Cilj večine najpogosteje uporabljenih neinvazivnih metod (iskanje, dokumentiranje in proučevanje odtisov v tleh ali na vnaprej postavljenih postajah za pridobitev odtisa, iztrebkov, brlogov,...) je ugotoviti (ne)prisotnost posameznih živalskih vrst na proučevanem območju. Pri sledenju nekaterim srednje velikim in velikim sesalcem v snežnih razmerah, je zelo uporabno dokumentiranje živalskih sledi iz zraka (z letala ali helikopterja) in sicer z digitalnimi video kamerami ali fotoaparati. Takšno dokumentiranje sledi, ki jih živali s svojim značilnim gibanjem puščajo za sabo npr. v snegu, omogoča kasnejšo identifikacijo in proučevanje živali, ki jim pripadajo s kamero ali fotoaparatom posnete sledi. Kadar dokumentiranje sledi iz zraka kljub temu, da je na ta način v splošnem možno slediti slédi tudi po več kilometrov, ne zadostuje (npr. pri sledih v blatu ali na poraščenem območju), sledi s fotoaparatom ali kamero dokumentira raziskovalec na terenu (sliki 45 in 46). Seveda pa sledovi živali niso edina stvar, pri kateri si lahko pomagamo s fotografijami. S fotografijami

se lahko za potrebe spremljanja in proučevanja živali trajno dokumentira najdene iztrebke živali, brloge, sledi na drevesni skorji, samo žival, interakcijo proučevane živali z drugimi živalmi idr. (Long et al., 2008)



Slika 45: Levo – terestrično sledenje, desno – sledenje iz zraka (Long et al., 2008, str. 49).



Slika 46: Levo – detajlne sledi v blatu z okroglim objektom znanih dimenzij (za potrebe definicije merila), v sredini – sledi in iztrebek na snegu, desno – dokumentiran (fotografiran) iztrebek kojota s podanim merilom (Long et al., 2008, str. 49).

Fotoaparati, ki se uporabljajo na področju spremljanja in proučevanja divjih živali, so analogni (na film) ali pa digitalni. V skladu s tehnološkim razvojem se vse več uporablja digitalne izvedbe fotoaparata. Fotografira se lahko z bliskavico ali pa brez nje. Pri tem je potrebno upoštevati dejstvo, da nekatere živali bliskavica moti in se po tem, ko jih bo npr. na drevo nameščen fotoaparati prvič fotografiral, na to mesto ne bodo več vrnile in zato na tem mestu njihove prisotnosti ne bo več možno dokumentirati. Proženje sprožilca je lahko ročno (raziskovalec pritisne na sprožilec), lahko je vodeno na daljavo (preko kabla, ki raziskovalca povezuje s fotoaparatom), ali pa proženje povzroči (slika 47):

- gibanje živali – npr. v primeru uporabe fotoaparata z aktivnim infra rdečim senzorjem (ko žival pride v vidno polje fotoaparata oz. ko preseka infra rdeči žarek, njeno gibanje sproži prožilec in tako fotoaparata žival posname na film ali na digitalni senzor),
- sprememba v temperaturi – npr. v primeru uporabe fotoaparata s pasivnim infra rdečim senzorjem (proženje povzroči gibajoča se žival, ki je toplejša/hladnejša od okolice),
- pritisk na nastavljeno ploščo (ko se zazna pritisk na plošči, ki ga žival povzroči, ko stopi nanjo, se fotoaparata sproži in posname žival),
- premik nastavljene vabe (vaba – npr. hrana - in fotoaparata sta povezana z vrstico in ko žival zgrabi za vabo in s tem povleče vrstico, se fotoaparata sproži in jo fotografira).



Slika 47: Različne kombinacije postavitve fotoaparata (in v nekaterih primerih vabe) ter senzorja z namenom dokumentiranja (t.j. fotografiranja) proučevane živali (Long et al., 2008, str. 115, 116, 119, 122, 124, 125).

V današnjem času je možno z uporabo prenosnega računalnika in brezžičnih povezav do pomnilnika fotoaparata, na katerem so fotografije, posnete z digitalnim fotoaparatom, dostopati kar na terenu, ne da bi bilo treba iz fotoaparata vzeti spominsko kartico in jo zamenjati z drugo (Long et al., 2008).

Uporabnost fotografij za namene spremljanja in proučevanja živali je precejšnja. Pogoj, da so posnete fotografije za namene posamezne študije res uporabne, pa je pravilno nameščena (na tla, drevo ali kam drugam) in pravilno delujoča (pred uporabo testirana) fotografska oprema, zaščitena pred neugodnimi zunanjimi vplivi (dežjem, padajočim kamenjem, vlago...). Lokacije, kjer bodo nameščene fotografske naprave, morajo biti določene vnaprej, torej pred začetkom raziskave. Naprave morajo biti locirane znotraj habitata proučevanih živali (pri tem si lahko pomagamo z radijsko ali satelitsko telemetrijo) oz. tam, kjer to zahteva sama raziskava oz. njen namen. Zagotoviti je treba ustrezno število dovolj kvalitetnih fotoaparátov z ustreznimi lastnostmi – število proženj na sekundo, občutljivost filma oziroma senzorja, vidno polje, domet bliskavice, življenjska doba baterije itd. (kakšne morajo biti te lastnosti, na koliko lokacijah in s koliko fotoaparati se bo študija izvajala, je spet odvisno od namena ter ciljev raziskave in od značilnosti proučevane živalske vrste). Potrebni so tudi redni pregledi fotografske opreme na terenu (običajno fotografska oprema ostane na določenem mestu dalj časa) in morebitna popravila ali zamenjave okvarjenih naprav. Na vsako fotografijo se mora zabeležiti številka fotoaparata, datum in čas posnetka. Priporočljivo je, da se na fotografijo vtisnejo še GPS-koordinate položaja fotoaparata. Primeri, ki potrjujejo uporabnost fotografij so sledeči (Long et al., 2008):

- a) Identificiranje posameznih osebkov glede na fotografije samih živali (fotografiranega geparda se npr. od drugih lahko loči po vzorcu na kožuhi), njihovih sledi, hrbtnih plavuti morskih živali ipd.
- b) Ugotavljanje prisotnosti določene vrste živali na proučevanem območju.
- c) Ugotavljanje interakcije proučevane (vrste) živali z osebki svoje vrste ali z drugimi živalskimi vrstami.
- d) Ocenjevanje vedênja in fizične kondicije živali na osnovi fotografij.

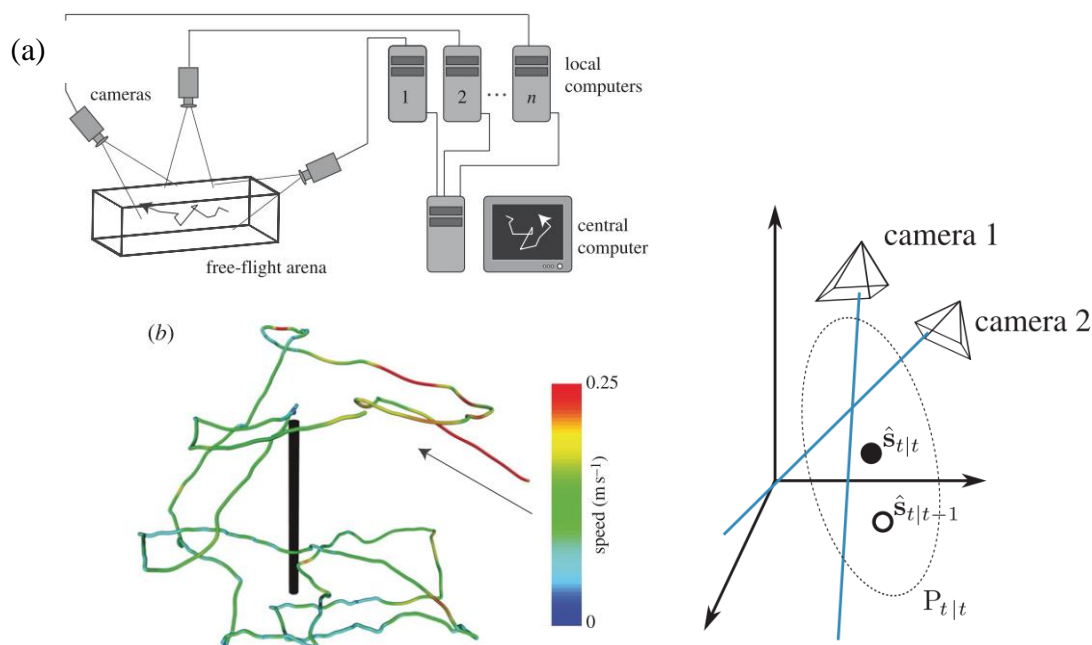
- e) Dokumentiranje osebkov živalskih vrst, ki so sicer zelo boječe in jih drugače kot s fotoaparatom, pritrjenim npr. na drevo, zaradi njihovega strahu pred človekom ne bi mogli fotografirati.
- f) Proučevanje detajlov na posnetih živalih (npr. barva kožuha, oblika ušes,...).
- g) ...

Iz obstoječe predelane literature ugotavljam, da se na fotografijah in ostalih posnetkih razen v nekaterih primerih (glej primer ocenitve mase in morfometrije morskega leva na osnovi konstruiranega 3D modela; poglavje 2.4) detajlne fotogrametrične meritve ne izvajajo. Sklepam, da je temu tako zato, ker raziskovalci detajlnejših podatkov ne potrebujejo in jim približno ocenjene vrednosti (z merskim trakom ali kako drugače) zadostujejo, morda pa je vzrok temu tudi nepoznavanje fotogrametričnih postopkov in možnosti fotogrametrične obdelave. Vsekakor pa bi se na marsikaterih posnetkih dalo izvesti natančne fotogrametrične meritve. Fotografije sledi v gostem blatu ali pa sledi, odtisnjene na vnaprej nastavljene plošče (na predvidene migracijske poti) iz umetnega materiala, sledi pogosto detajlno prikazujejo. Na takih detajlnih posnetkih dobro vidnih sledi z dobro vidnimi detajli (v primeru stereoizvrednotenja pa tudi na posnetkih z manj detajla) bi se dalo dokaj enostavno izvesti fotogrametrične meritve. Pred fotografiranjem sledi bi bilo treba za potrebe kalibracije fotoaparata najprej narediti nekaj posnetkov testnega polja (če se uporabi nemetrični fotoaparatus), nato pa bi bilo treba sled večkrat (vsaj dvakrat) z različnih stojišč fotografirati z istimi nastavitvami (zaslonka, čas), s katerimi je bilo fotografirano testno polje. Fotografije testnega polja in objekta (v konkretnem primeru torej sledi) bi se nato uvozilo v enega od programov, specializiranih za ustrezno obdelavo posnetkov in izvajanje fotogrametričnih meritev. Kdaj bi bila uporaba opisanega postopka smiselna, je seveda odvisno predvsem od ciljev raziskav ter razpoložljivih finančnih sredstev. V primerih, ko nimamo na voljo dovolj finančnih sredstev in nam glede na namen in cilje raziskave zadostujejo manj natančne meritve (npr. že na terenu z merskim trakom ali na fotografiji na osnovi kakšnega predmeta, katerega dimenzije so znane – *ang. scale object* in se ga fotografira skupaj z objektom), je morda bolj smiselna uporaba katere od že omenjenih manj natančnih metod.



### 3.2.2 3D sledenje živalim z večslikovno fotogrametrijo

V preteklosti je bilo z namenom sledenja živalim s fotografskimi in video tehnikami razvitih nekaj različnih metod oziroma algoritmov različnih avtorjev. Za predstavo o možnostih uporabe fotogrametričnih oz. njim podobnih metod na področju spremljanja prosto živečih oz. prosto gibajočih živali v nadaljevanju podajam primer sledenja insektom oziroma pticam na način, ki je bil razvit prav za ta namen (Straw et al., 2010). Gre za pretežno samodejno in natančno sledenje živalim (lahko večim hkrati) v letu v realnem času. Več kalibriranih in časovno usklajenih fotoaparatorov z visoko časovno ločljivostjo (npr. 60 in več proženj na sekundo) je čim bolj racionalno razporejenih po prostoru (v okolici proučevane živali) in povezanih z računalnikom. Računalnik na osnovi ustrezno dodelanih specifičnih (prav za ta namen) matematičnih in statističnih algoritmov (npr. Kalmanov filter, metoda najbližjega soseda itd.) iz hkratnih digitalnih posnetkov izračuna 3D položaje živali v letu ter hitrost in določi orientiranost njihovega telesa med lêtom v prostoru. Na osnovi izračunanih parametrov se na zaslonu računalnika praktično v realnem času izrisuje trajektorija leta insektov, ptic ipd. (slika 48) Pridobljeni podatki so osnova za ocenjevanje vedenja živali ipd.

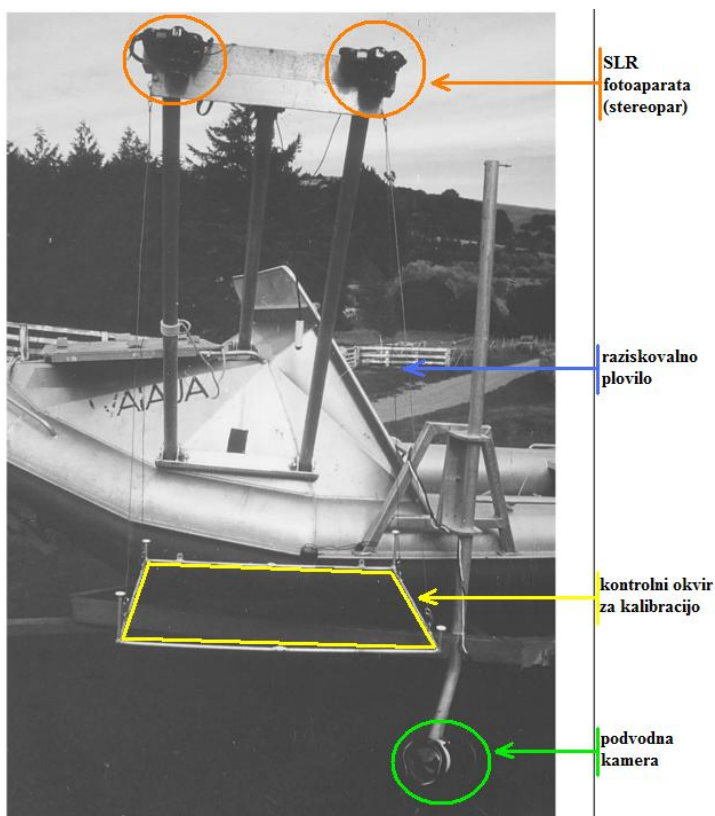


Slika 48: Shema zgoraj predstavljenega sistema za sledenje živalim v letu. Levo a) shematični prikaz sistema z več fotoaparati in b) 3D trajektorija poti, desno presek žarkov z dveh fotoaparatorov v prostoru in izračunani položaji (Straw, 2010, str. 396 in 397).

### 3.2.3 Bližnjelikovna fotogrametrija

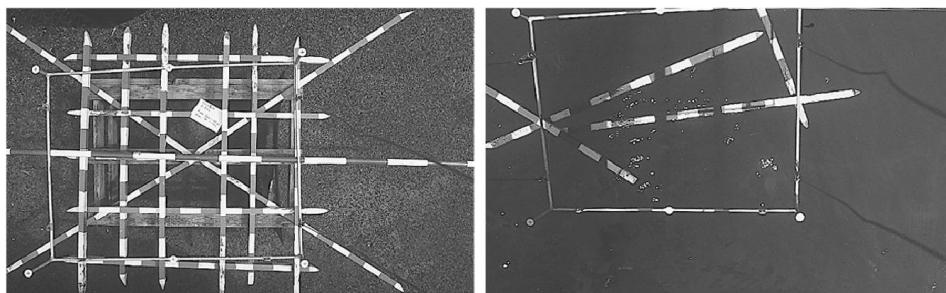
Bližnjelikovna fotogrametrija je priročno orodje za proučevanje različnih vrst živali, tako kopenskih kot tudi vodnih. Ob tem se je treba živali kot opazovanemu subjektu dovolj približati. V nekaterih primerih je potrebno za potrebe raziskave žival odloviti (glej točko 2.4), nekatere živalske vrste pa je v skladu s cilji študije možno s fotogrametričnimi tehnikami proučiti v njihovem naravnem okolju, pri čemer so (negativni) vplivi na žival manjši.

Naj navedem primer uporabe stereo-fotogrametrije za natančno določitev dolžine telesa delfinov (sicer je uporabna tudi za ocenjevanje velikosti ostalih morskih vretenčarjev), ne da bi jih bilo treba za ta namen odloviti (Bräger, Chong, 1999). Celoten sistem, ki je bil uporabljen, je prikazan na sliki 49. Fotoaparata sta usmerjena približno navpično navzdol in sta med seboj toliko oddaljena, da je na kontrolnem okvirju zagotovljeno 80% prekrivanje levega in desnega posnetka stereopara (v splošnem mora biti prekrivanje vsaj 60 odstotno). Proženje fotoaparatorov je bilo zagotovljeno elektronsko, na daljavo preko kabla. Pod fotoaparata je z namenom izračuna parametrov zunanje orientacije nameščen aluminijast kontrolni okvir s šestimi znanimi oslonilnimi točkami. Okvir je nameščen tako, da je viden na obeh fotografijah stereopara. Na trup raziskovalnega plovila je bila z namenom določevanja spola opazovanih delfinov pritrjena tudi podvodna kamera.



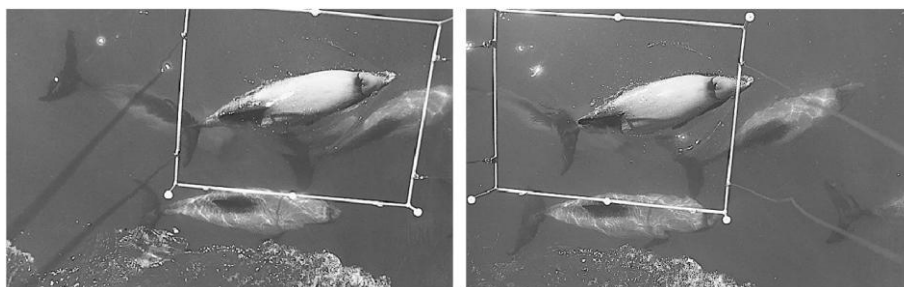
Slika 49: Raziskovalno plovilo, opremljeno za fotogrametrične meritve delfinov (Bräger, Chong, 1999, str. 507).

Še pred uporabo tega sistema v naravnem okolju delfinov je bilo seveda potrebno oba uporabljena fotoaparata na osnovi testnega polja kalibrirati. Delovanje sistema so testirali (z namenom oceniti vpliv valov in premikajočega se plovila na točnost meritev) na kopnem in na vodni gladini (slika 50), saj se delfini v trenutku fotografiranja najpogosteje nahajajo na ali pod vodno gladino.



Slika 50: Testiranje sistema na kopnem (levo) in na vodni gladini (desno) (Bräger, Chong, 1999, str. 510).

Na osnovi koordinat  $X, Y$  in  $Z$  v lokalnem prostorskem koordinatnem sistemu, ki ga določa okvir, je bila določena razdalja med delfinovo odprtino za izdihavanje in zadnjim koncem hrbtnih plavuti. Zaradi slabega kontrasta zaradi vode in gibajočih se živali je bil stereoskopski pogled (slika 51) edini, ki je lahko zagotovil natančno definiranje karakterističnih točk, potrebnih za izračun razdalje. Spol je bil določen na osnovi posnetkov podvodne kamere. Oba podatka sta zagotovila pomembne informacije o velikostni, spolni ter starostni sestavi proučevane skupine delfinov.



Slika 51: Stereopar dveh posnetkov delfina in kontrolnega okvirja (Bräger, Chong, 1999, str. 513).

Za pridobivanje časovno in numerično natančnih podatkov o divjih živalih (predvsem o plavutonožcih in morskih pticah) je bil na področju bližnjefotogrametrije razvit sistem **SLiDAP** (ang. *Satellite-linked Data Acquisition and Photogrammetry*). Gre za vzpostavitev lokalnega brezžičnega omrežja večih fiksno stacioniranih fotoaparátov. Le-ti so preko satelitske povezave povezani z laboratoriji. Podatki (posnetki živali) se s fotoaparátov preko satelitske povezave prenesejo v laboratorij, kjer se na osnovi posnetkov s pomočjo ustrezne strojne in programske opreme (Eos' PhotoModeler) prešteje živali, oceni se položaj ter njihovo starost, izmeri se njeno dolžino ter določi volumen in maso živali (glej točko 3.4.). Vzpostavljenemu lokalnemu omrežju kamer oziroma fotoaparátov se lahko doda IR fotoaparate (točka 4.1.3), s čimer se zagotovi še več podatkov o proučevani živali (povzeto po spletnih straneh Oregon State University in PhotoModeler).



### 3.4 Teodoliti

Harzen (2002) navaja, da je Roger Payne s sodelavci leta 1970 razvil tehniko slednja delfinom s teodolitom. Od tega leta se teodoliti po vsem svetu uspešno uporabljajo na področju proučevanja morskih živali - pretežno kitov, delfinov in ostalih podobnih vrst. Prednost spremljanja živali s teodolitom oz. teodoliti je neinvazivnost (spremljanje živali na daljavo), hkrati pa so podatki o položajih živali (predvsem kitov in delfinov) na vodni gladini relativno natančni, saj teodoliti omogočajo zelo natančne meritve kotov. Prav tako so podatki, pridobljeni s pomočjo teodolitov, zelo olajšali analiziranje in interpretacijo zvočnih signalov, ki jih proizvajajo nekatere morske živali, olajšano je tudi pridobivanje informacij o hitrosti pomikanja živali in pogostosti pojavljanja živali na vodni gladini (Harzen, 2002). Težavo lahko predstavlja predvsem domet. Nekaj kilometrov je za precej raziskav o prosto živečih živalih občutno premalo. Kljub vsemu pa se v nekaterih primerih tudi na tem področju klasična geodetska oprema lahko izkaže za uporabno. Tudi slovensko Društvo za raziskovanje in zaščito morskih sesalcev Morigenos je pred nedavnim začelo delfinom, ki se zadržujejo v našem morju, slediti tudi s kopnega s pomočjo teodolita.

#### 3.4.1 Osnovni princip

Gre za neinvaziven pristop, za slednje živalim s kopnega. Osnova za določitev položajev (x,y) živali so (Bailey, Lusseau, 2004; Würsig et al., 1991; Barr, Slooten, 1999; Harzen, 2002):

- položaj stojiščne točke teodolita in višina teodolita nad morsko gladino (upoštevano plimovanje),
- horizontalni položaj referenčne točke (ta mora biti od stojišča teodolita dovolj oddaljena; v ta namen se lahko uporabi svetilnik, vrh gore, radijski drog ipd., lahko pa se kot referenčno smer uporabi tudi smer magnetnega ali pravega severa) in
- meritve horizontalnih ter vertikalnih kotov proti živalim.

Položaj (vključno z višino) stojiščne in referenčne točke je dandanes z metodami GNSS relativno enostavno določiti z visoko natančnostjo in točnostjo. Z metodo DGPS je možno doseči metrsko natančnost, z VRS (*ang. Virtual Reference Stations*) in PPP (*ang. Precize Point Positioning*) centimetrsko, z relativno metodo izmere pa se lahko doseže tudi milimetrsko natančnost. Horizontalni položaj stojiščne in referenčne točke bi lahko za potrebe

spremljanja živali s teodoliti pridobili tudi z ortogonalno ali pa polarno metodo izmere, za kar bi potrebovali elektronski tahimeter in prizmo. Za določitev vertikalnega položaja točke bi lahko uporabili denimo trigonometrično višinomerstvo.

Položaje se določa za posamezno žival ali pa za celotno skupino živali. Kadar se spremlja npr. jato delfinov, se dejansko določa položaj vodilnega delfina v jati ali pa približni položaj središča jate (Harzen, 2002).

Meritve in ostali vhodni podatki se v enem izmed številnih obstoječih programov preračunajo v položaje spremljanih živali, izračunajo se lahko tudi njihove oddaljenosti od obale (ali drugih objektov – ladij ipd.), hitrost pomikanja itd. V izračunih se upošteva tudi plimovanje (podatke o plimovanju je možno pridobiti s posebnimi programi za predvidevanje plimovanja ali pa npr. z odčitavanjem sprememb v višini vodne gladine na vertikalnih označbah, ki se nahajajo nasproti teodolita, t.j. pred njim). Izračuni se lahko izvedejo že na terenu - če je elektronski teodolit povezan z računalnikom oz. če se meritve že na terenu sproti vnašajo v program. Ustrezen program za izračunavanje položajev živali si lahko vsak raziskovalec glede na potrebe ustvari sam, če le ima dovolj strokovnega in programerskega znanja. Nekateri programi (npr. Cyclops) v kombinaciji z digitalnim(i) teodolitom(i) omogočajo sprotno izrisovanje poti gibanja spremljane živali že na terenu. V splošnem velja, da je sledenje morskim živalim s teodolitom omejeno na območja z visokim terenom ob obali (npr. klifi) in na živalske vrste, ki se pretežno zadržujejo dovolj blizu obale. Čim večja kot je oddaljenost živali od teodolita (od obale), tem višje mora biti postavljen teodolit, da se zagotovi ustrezna natančnost in točnost. V splošnem velja, da mora biti za spremljanje 5 km oddaljenih delfinov stojišče teodolita vsaj 20 m višje od morske gladine. Če je glede na oddaljenost živali stojišče teodolita postavljeno prenizko, bo napaka merjenih vertikalnih kotov zaradi atmosfere refrakcije prevelika (Würsig et al., 1991; Harzen, 2002).

### **3.4.2 Določitev višine teodolita nad morsko gladino**

Višino teodolita nad vodno gladino je potrebno določiti kar se da natančno, saj napaka v višini bistveno vpliva na končno natančnost položajev živali. Kadar se npr. živali opazuje z enega samega stojišča, ki se nahaja manj kot 45 m visoko nad vodno gladino in so opazovane živali

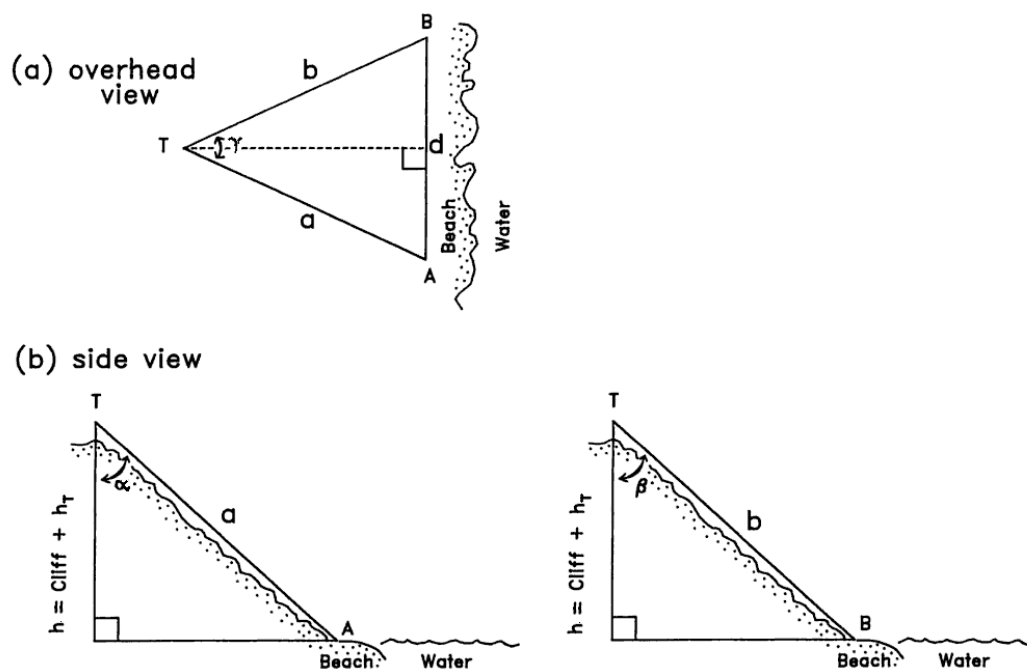
oddaljene od obale več kot 0,5 km, je potrebna natančnost določitve višine teodolita nad vodno gladino  $\pm 10$  cm ali boljša (Würsig et al., 1991, str. 83).

Znanih je več metod določitve višine stojišča teodolita nad morskó gladino. Eno možnost so Würsig in ostali predstavili pred dvajsetimi leti. S teodolitom, postavljenim na neki višini ( $h$ ) nad obalo, se čim bližje vodni gladini (upoštevanje plimovanja) vzpostavita dve točki (A, B). Vertikalni kot proti obema točkama naj bo enak ( $\alpha = \beta$ ), prav tako naj bosta oddaljenosti obeh točk od teodolita enaki ( $a = b$ ) (slika 53). Sledi določitev središčne točke (med vzpostavljenima točkama na višini morske gladine oz. čim bližje njej –  $\frac{1}{2}d$ ), nato pa iz trigonometričnih pravil še izračun višine stojišča teodolita nad morskó gladino:

$$b = \frac{\frac{1}{2}d}{\sin(\frac{1}{2}\gamma)} \rightarrow h = b \cdot \cos \beta \quad (5)$$

$$a = \frac{\frac{1}{2}d}{\sin(\frac{1}{2}\gamma)} \rightarrow h = a \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

$\gamma$  je kot, ki se ga pridobi iz meritev horizontalnih kotov.



Slika 53: Shematični prikaz določitve višine teodolita nad vodno gladino. a) Florisni pogled in b) stranski pogled (privzeto iz Würsig et al., 1991, str. 84 in prirejeno po Bailey, Lusseau, 2004, str. 881).



Včasih pa konfiguracija terena ob obali in/ali orientiranost obalnega dela ne omogočata vzpostavitve točk (A, B), ki bi bili enako oddaljeni od teodolita in imeli enak vertikalni kot. To pomeni, da  $a \neq b$ , zato trikotnik ATB ni enakokrak in je postopek izračuna višine teodolita nad vodno gladino, nekoliko drugačen (Bailey, Lusseau, 2004, str. 882):

$$d^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \quad \left( a = \frac{h}{\cos \alpha}, b = \frac{h}{\cos \beta} \right) \quad (7)$$

$$h = \sqrt{\frac{d}{\left(\frac{1}{\cos^2 \alpha}\right) + \left(\frac{1}{\cos^2 \beta}\right) - \left(\frac{2 \cos \gamma}{\cos \alpha \cos \beta}\right)}} \quad (8)$$

Ta način določitve višine teodolita nad vodno gladino je v splošnem boljši, saj omogoča doseganje večjih natančnosti (tudi na večjih oddaljenostih), pa tudi enostavnejši je za uporabo. Z vzpostavitvijo enako oddaljenih točk z istim vertikalnim kotom je namreč lahko na zahtevnejših terenih potrebnega veliko več truda in časa (Bailey, Lusseau, 2004).

Kadar ob obali ni prisotne nobene ustrezne izhodiščne točke, od koder bi bilo možno ustrezno opraviti meritve, je najbolje uporabiti metodo triangulacije. Prednost te metode je, da višine nad vodno gladino, s katere se opazuje, za ustrezno končno natančnost ni potrebno natančno poznati. Objekt v vodi se opazuje hkrati z dveh točk (dva teodolita na dveh stojiščih). Za optimalno razdaljo med teodolitoma velja tista, pri kateri je kot med stojiščema teodolitov in opazovanim objektom v vodi približno 45 stopinj. Referenčne točke v okolici niso potrebne, saj se lahko navežemo kar na enega od teodolitov - en teodolit lahko predstavlja referenco drugemu. Ker gre za opazovanje z dveh stojišč hkrati, je terensko delo nekoliko zahtevnejše – predvsem je treba paziti na usklajenost obeh operaterjev. (Würsig et al., 1991, str. 85; Harzen, 2002, str. 254).

Višino teodolita nad morsko gladino se lahko določi tudi tako, kot so jo v eni od raziskav določili Culik in ostali (2001). Ker je bilo plimovanje na proučevanem območju zelo izrazito (velika razlika med višino vode ob plimi in oseki), so na obalo nasproti teodolita postavili navpično označbo (za ta namen so uporabili vrv). Na vsakih 30 minut so proti presečišču

vodne gladine z navpično označbo izmerili kot in dolžino (z vgrajenim laserjem). Višino teodolita nad morsko gladino so določili na osnovi linearne interpolacije meritev, opravljenih vsake pol ure. Navpična označba na nasprotnem bregu jim je služila tudi kot ničelna referenčna smer za meritve proti delfinom.

Z geodetskega stališča metode določitve višine teodolita nad vodno gladino, ki so predstavljene v tej točki, niso najboljše. Kot sem omenila že v točki 3.4.1, obstaja več boljših metod za določitev položaja stojiščne točke teodolita, vključno z določitvijo višine stojišča (npr. VRS, PPP, relativna metoda izmere, trigonometrično višinomerstvo).

### **3.4.3 Točnost in natančnost položajev (x, y) spremljanih živali**

Končna točnost (t.j. točnost položajev x in y spremljanih živali) je odvisna predvsem od karakteristik teodolita, točnosti določitve višine nad morsko gladino, na kateri se nahaja teodolit in od točnosti, s katero sta določeni stojiščna in referenčna točka (Bailey, Lusseau, 2004; Würsig et al., 1991). Informacijo o točnosti položajev, določenih s teodolitom, se lahko pridobi npr. s primerjavo položajev plovila (ali kakšnega drugega predmeta), katerega položaj se določi s teodolitom in hkrati še z eno od drugih (natančnejših) metod, npr. z DGPS (Hastie et al., 2004; Mendes et al., 2002). Glede na predelano literaturo gre običajno za nekaj metrsko točnost. Ob uporabi natančnejših metod za določitev horizontalnega položaja in višine stojiščne točke teodolita (npr. VRS, PPP, trigonometrično višinomerstvo) bi lahko dosegli večjo končno točnost (položajev živali).

Za potrebe spremljanja vodnih živali mora teodolit omogočati meritve kotov v horizontalni in vertikalni ravnini s točnostjo 20 sekund ali boljše (Würsig et al., 1991, str. 81). Z geodetskega stališča na tem področju ne gre za visoko natančne meritve in položaje živali kot končnih rezultatov. Kljub temu pa so za raziskovalce podatki, ki jih pridobijo z opazovanjem s teodoliti, zelo koristni. Poznavanje dokaj natančnih položajev živali ob sočasnem opazovanju živali (z daljnogledi, iz čolnov ipd.) omogoča pridobivanje odgovorov na številna vedenjska, ekološka in druga vprašanja.

Natančnost položajev, določenih preko meritev s teodolitom, je v premem sorazmerju z višino teodolita nad morsko gladino in v obratnem sorazmerju z oddaljenostjo opazovane točke od teodolita (Bejder, Dawson, 1999).

#### 3.4.4 Uporabnost in primeri uporabe

V eni od raziskav (Bailey, Thompson, 2006) so delfinom s teodolitom sledili z namenom, da bi ugotovili njihove prehranjevalne navade. Iz meritev s teodolitom so določili točne položaje posamezne skupine živali (zanimalo jih je središče jate delfinov). Položaj so izmerili vsakič, ko je bilo to možno. Za potrebe identificiranja (da so se prepričali o tem, ali ves čas spremljajo eno in isto skupino delfinov) so uporabili fotoaparata in video kamero, posebej za ta namen so si priskrbeli še enega dodatnega opazovalca. Pridobljene podatke so obdelali v programu ArcView. Pred meritvami so testirali teodolit tako, da so več točk na proučevanem območju hkrati opazovali s teodolitom in z enoto DGPS (z znano točnostjo). Na tak način so pridobili podatke o velikosti položajnih pogreškov na različnih oddaljenostih od teodolita.

V neki drugi študiji (Barr, Slooten, 1999) so na Novi Zelandiji (v kraju Kaikoura) preko sledenja jatom delfinov s teodolitom ugotavljali vpliv turizma (turistične in druge ladje ter kopalci) na vedênje teh živali. Glede na izsledke raziskave so želeli uvesti ustrezne določbe, ki bi pripomogle k zaščiti in ohranjanju delfinov na tem področju. S kopnega so z digitalnim teodolitom, povezanim z računalnikom, opazovali jate delfinov in ladje. Podatki so se na terenu sproti beležili in shranjevali na računalnik. Izhodiščno smer proti horizontalni referenčni točki so preverjali večkrat dnevno. Položaje ( $x$ ,  $y$ ) ladij in skupin delfinov so pridobili s programom TTrak (*ang. Theodolite-Tracking data analysis program*). Točnost položajev je ob dobri vidljivosti in ne preveliki oddaljenosti (do 5 km) skupine delfinov od stojišča teodolita znašala 5 m ali manj (uporabljen je bil Leitz-Sokkisha elektronski digitalni teodolit s 30-kratno povečavo). Iz zaporednih meritev položajev so izračunali hitrost in smer pomikanja delfinov, oddaljenosti delfinov in ladij od obale, razdalje med delfini in ladjami ter spremembe v orientaciji. Vse podatke so analizirali s statističnimi programskimi orodji. Podatkom o položajih so dodali še podatke o velikosti skupin delfinov, njihovi razpršenosti, aktivnosti ipd. Na tak način so ugotovili, kakšen je vpliv ladij in turizma na delfine (Barr,

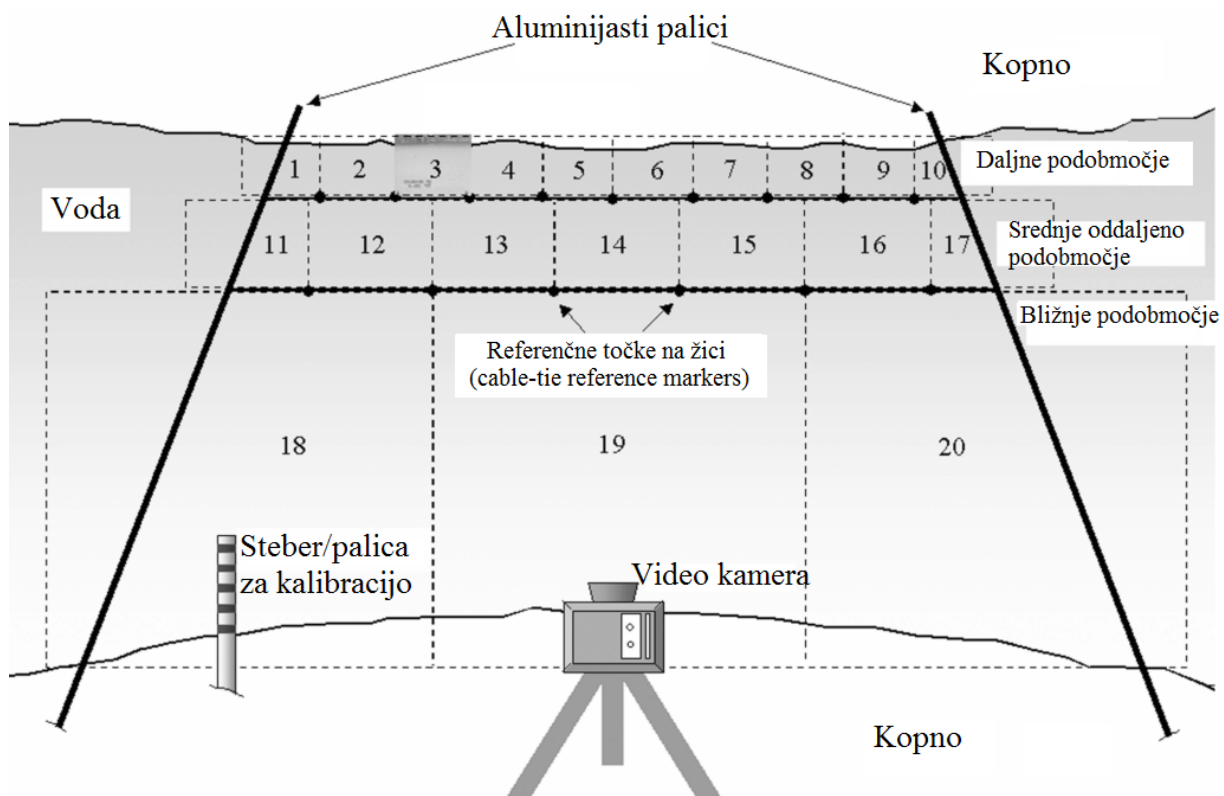
Slooten, 1999). Podobna raziskava je bila opravljena tudi v zalivu Porpoise bay na Novi Zelandiji (Bejder, Dawson, 1999).

V začetku tega tisočletja so v Kanadi s pomočjo teodolita proučevali vpliv plovil na vedenje kitov (Williams, 2002). Ekipo, ki je sledila kitom, so sestavljali trije raziskovalci. Eden je opazoval dogajanje na morski gladini in druga dva o tem sproti obveščal, poleg tega je na vsakih 15 minut zabeležil višino morske gladine (plimovanje). Operater pri teodolitu je izmeril vertikalni in horizontalni kot proti točki, kjer se je na vodni gladini pojavil kit. Teodolit je bil povezan z računalnikom, tako da je računalnik zabeležil trenutek izvedenih meritev. Operater za računalnikom je za vsak registriran položaj v računalnik vnesel še podatke o kitovem dihanju, udarjanju s plavutmi po vodni gladini, skokih iz vode ipd.

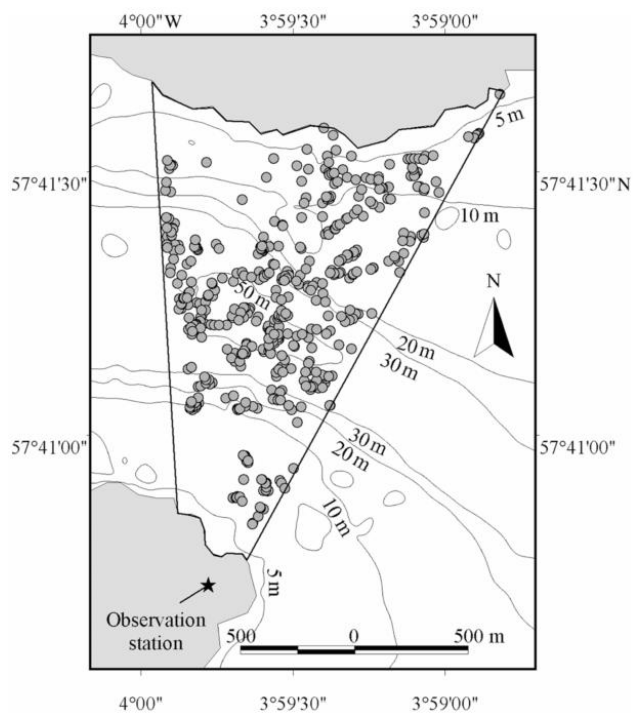
Spremljanje živali s teodolitom se pogosto kombinira z opazovanji z daljnogledom (s kopnega ali pa s plovila). Daljnogledi so uporabni predvsem za iskanje delfinov in za opazovanje (npr. vedenja) teh živali, kadar se nahajajo dovolj blizu obali oziroma plovilu. Teodolit pa omogoča spremljanje in opazovanje živali na nekoliko večjih oddaljenostih. Poleg določevanja položajev živali s teodolitom (smeri proti delfinu se običajno odčitajo takrat, ko priplava na površje) se lahko za določitev položaja uporabi tudi triangulacija na osnovi meritev s kompasom. Za identifikacijo posameznih osebkov se običajno uporabljajo fotoaparati (Harzen, 1998; Barr, Slooten, 1999; Bailey, Thompson, 2006).

Elektronski teodolit se lahko koristno uporabi tudi v raziskavah, kjer je sicer osnovni namen pridobiti položaje živali (delfinov) na osnovi video posnetkov. V eni od takšnih raziskav je spremljanje delfinov potekalo na sledeč način (sliki 54 in 55). Na obalo je bila postavljena video kamera visoke ločljivosti, s katero so snemali dogajanje na vnaprej določenem in označenem območju na morju. Območje, ki so ga s kamero snemali vsakič z istega stojišča, so z aluminijastima palicama in žicami razdelili na 20 podobmočij – 10 območij na najbolj oddaljenem pasu, 7 območij na srednje oddaljenem pasu od stojišča kamere in 3 območja na najbližjem pasu (slika 54). Vsako izmed dvajsetih območij so na vsako uro po eno minuto snemali s kamero. Vrtni red snemanja podobmočij je bil vsako uro drugačen (z naključnim določanjem zaporedja snemanja dvajsetih območij so zagotovili neodvisnost vzorcev). Da so lahko posamezne posnetke podobmočij združili v celoto, so v vidnem polju kamere

potrebovali ustrezno število referenčnih točk. Zagotovili so jih z gridno strukturo aluminijastih palic in žic (slika 54). Snemali so le ob ugodnih vremenskih razmerah. Ob začetku vsakega snemanja so se zabeležili tudi podatki o razmerah v okolju. V sklopu analize so si posamezne posnetke podobmočij pozorno ogledali po dvakrat in prešteli pojavljanje delfinov na morski gladini. Položaje pojavljanj delfinov na morski gladini so izračunali na osnovi treh znanih parametrov – goriščne razdalje kamere in njene višine nad morsko gladino ter položaja referenčnega objekta oz. več njih (relativno glede na kamero). Goriščno razdaljo so kalibrirali na osnovi opazovanja stebra za kalibracijo (z znanimi dimenzijami), postavljenega na znani oddaljenosti od kamere (steber so posneli ob vsakem snemanju posameznega podobmočja, ne da bi spremenili goriščno razdaljo kamere). Višino kamere nad morsko gladino so preračunali glede na višino triangulacijske točke, pri čemer so uporabili elektronski teodolit Leica T460. Upoštevali so tudi plimovanje (uporabili so programsko opremo, ki predvidi plimovanje). Elektronski teodolit so uporabili tudi za določitev položaja objektov na obali nasproti kamere (srednja napaka določitve teh točk z uporabljenim teodolitom je na razdalji do 2 km znašala 2.8 m). Glede na znane položaje teh objektov, kalibrirano goriščno razdaljo in višino kamere nad morsko gladino so za najbolj oddaljen pas (slika 54) izračunali položaje mest, kjer so se delfini z različnimi deli teles pojavljali na vodni gladini. Za sredinski in najbližji pas referenčnih točk na nasprotni obali, katerih položaj je bil določen s teodolitom, ni bilo možno uporabiti. Zato so si pri izračunu položajev na območju teh dveh pasov pomagali s presečišči gridne mreže (njihove položaje so določili posredno glede na s teodolitom določene položaje referenčnih točk na obali nasproti kamere). Vsi izračunani položaji mest, kjer so se na vodni gladini pojavljali delfini, so se uvozili v program GIS in se tam nadalje obdelali. Na koncu se je izdelala karta pridobljenih položajev (slika 55). Da bi ugotovili točnost te metode, so položaje ladje, ki je prav za ta namen plula po proučevanem območju, določili iz video posnetkov in s teodolitom (razlike so bile največje v najbližjem pasu in najmanjše na področju sredinskega podobmočja). Predstavljena metoda, kjer se kombinira opazovanja z video kamero in s teodolitom, omogoča spremljanje in proučevanje delfinov na območjih blizu kopnega z relativno visoko prostorsko točnostjo (v omenjeni študiji je srednji pogrešek na razdalji do 2 km znašal 6.42 m). Poleg tega je predstavljena metoda relativno poceni in jo je možno enostavno vključiti v ostale podobne raziskave tako vodnih kot tudi kopenskih živali (Hastie et al., 2003).



Slika 54: Spremljanje delfinov z video kamero (Hastie et al., 2003, str. 471).



Slika 55: Karta položajev delfinov na vodni gladini (Hastie et al., 2003, str. 475).

Teodoliti so bili poleg že omenjenih raziskav uporabljeni še v raziskavah o vplivu zvočnih alarmov na delfine, o vplivu morskih tokov, plimovanja in podvodne topografije na njihovo gibanje, o izrabi habitata, v raziskavah o njihovem vedênju, migracijah, interakcijah s plovili in plavalci itd. (Culik et al., 2001; Harzen, 1998; Harzen, 2002; Hastle, 2003).

### 3.5 Načrtovanje neinvazivne raziskave

Še pred izvedbo raziskave si je treba razjasniti sledeče (Long et al., 2008):

- cilji raziskave,
- okoliščine (dostopnost proučevanega območja – dostopno z vozilom ali le peš?, stanje živalske populacije, topografija, letni čas, vegetacija,...),
- kolikšen vzorec je potreben in na kakšen način se bo vzorčilo,
- časovna in prostorska definicija izvedbe raziskave,
- razpoložljiva (tudi glede na ceno) in dostopna oprema (vozila, gorivo, smuči, GPS enota, terenski ter namizni računalnik in tiskalnik, kamera, fotoaparati, programska oprema,...),
- katera metoda ali kombinacija metod bo uporabljena (raziskovanje iz zraka ali terestrično raziskovanje, postavitve postaj za dokumentiranje raznovrstnih živalskih sledi, triangulacija, bližnje-slikovna fotogrametrija ali pa kaj čisto drugega),
- metode obdelave in analiziranja dokumentiranih podatkov,
- finančne in časovne omejitve,
- zagotovitev ustrezno usposobljenega osebja,
- morebitni negativni vplivi uporabljene opreme in metod na proučevane živali,
- in drugo.

### 3.6 Povezovanje neinvazivnih metod

Nobena od neinvazivnih metod ni primerna v vseh okoliščinah in v vsakem okolju. Vsaka ima svoje prednosti in pomanjkljivosti. Kadar z eno samo metodo ni možno priti do ustreznih rezultatov, se lahko (oz. je to celo dobrodošlo) v sklopu ene raziskave hkrati uporabi več metod. Z združevanjem več različnih metod se (lahko) poveča verjetnost, da bo žival zaznana, zaradi česar bodo rezultati boljše ocenjeni. Poleg tega je ob koncu raziskave z več različnimi uporabljenimi metodami možno priti do več zaključkov kot v primeru, če bi bila uporabljena

ena sama metoda, hkrati pa se lahko skrajša potreben čas trajanja raziskave, posledica česar je lahko zmanjšanje finančnih stroškov. Vendar pa kljub številnim prednostim uporaba več različnih metod hkrati v eni študiji ni vedno upravičena. Odločitev o uporabi ene ali več metod je potrebno pretehtati in sprejeti že v fazi načrtovanja raziskave. Odločitev je odvisna od več dejavnikov – prednosti, slabosti in uporabnosti posamezne metode v konkretni raziskavi, ciljev raziskave, karakteristik proučevane živalske vrste, razmer v okolju itd.

### **3.7 Obdelava in analiziranje podatkov (meritev) ter analiza in predstavitev rezultatov**

V točki 2.6 (obdelava in analiziranje pridobljenih podatkov v sklopu invazivnih metod) so že opredeljeni namen, pomen in način obdelave ter analiziranja podatkov oziroma meritev. Večina tam zapisanih priporočil in dejstev velja tudi na področju spremljanja in proučevanja živali z neinvazivnimi metodami.

Načrtovanju raziskave in njeni praktični izvedbi (pridobivanju vseh potrebnih podatkov z eno od predstavljenih metod) sledi faza analiziranja in obdelave zbranih podatkov oziroma meritev ter analiziranje in predstavitev rezultatov raziskave v čim bolj pregledni obliki. Radarske, lidarske in fotogrametrične podatke ter podatke, pridobljene z IR ali toplotnimi kamerami in teodoliti, se analizira in obdela s pomočjo ustrezne programske opreme (npr. GIS in fotogrametrične programske opreme) ter matematičnih in statističnih postopkov. Možnosti obdelave podatkov in predstavitve rezultatov so številne, katerih postopkov in programske opreme se bomo posluževali, pa je odvisno od same raziskave.



#### 4 ZAKLJUČEK

Glede na dostopno literaturo in ostale vire informacij lahko zaključim, da so predstavljene metode s področja geodezije na področju spremljanja, proučevanja in zaščite živali lahko zelo uporabne in so tudi pogosto uporabljane, predvsem v tujini. V Sloveniji je na tem področju v primerjavi s tujino še precej neizkoriščenega potenciala. Glede na majhnost naše države in glede na dejstvo, da je za uspešno vključitev večine od predstavljenih metod na področje zoologije potrebnih precej finančnih sredstev in dovolj usposobljenega kadra, to pravzaprav niti ni tako presenetljivo. Kljub vsemu pa se tudi pri nas vse več (predstavljenih) metod s področja geodezije uporablja na vse več področjih zoologije. Tako kot v tujini tudi pri nas prevladujeta satelitska in radijska telemetrija. Na območju Slovenije so z radijsko oziroma satelitsko telemetrijo z različnimi nameni že sledili ježem, koscem, domačim mačkam, risom, medvedom, volkovom, zajcem, pticam, divjadi itd. Primerov proučevanja divjih živali s fotogrametričnimi metodami in z metodami daljinskega zaznavanja na področju naše države nisem zasledila, v tujini pa je bilo že precej raziskav opravljenih tudi s tovrstnimi metodami.

Ocenjujem, da je to diplomsko delo lahko uporabno tako za strokovnjake (in študente) s področja geodezije, ki jih zanima področje spremljanja, proučevanja ter zaščite divjih živali kot tudi za strokovnjake s področja biologije in zoologije ter s še kakšnega drugega naravoslovnega področja. Glede na to, da je večina slovenskih raziskav s področja spremljanja živali opravljena pod okriljem Biotehniške fakultete v Ljubljani, Nacionalnega inštituta za biologijo in Gozdarskega inštituta Slovenije, je oziroma bo lahko ta diplomatska naloga verjetno zanimiva tudi zanje.

Ker se tehnologija (tudi na tem področju) ves čas razvija in izboljšuje in se za potrebe posameznih raziskav razvijajo novi in dodelujejo ter dopolnjujejo že obstoječi algoritmi za obdelavo in predstavitev podatkov, vsebina te diplomske naloge verjetno ne bo prav dolgo tako zelo aktualna kot je v tem trenutku. Vsekakor bo potrebno sproti slediti trendom, spremembam, izboljšavam, novim dognanjem ter najnovejšim raziskavam (tujim in domačim) na tem področju. Vsebina tega diplomskega dela je skoncentrirana predvsem na sedanje (zadnja leta) stanje na tem področju. V slovenskem prostoru je to eno od prvih del, ki

povezuje področje geodezije z zoologijo na način kot je predstavljen v glavnem delu te diplomske naloge. Možnosti izboljšav ter dopolnitev vsebine te diplomske naloge v prihodnosti so precejšnje. Lahko se jo razširi s podrobnejšo obravnavo obstoječih tehnoloških rešitev na tem področju, z detajlneje predstavljenimi postopki obdelav in analiz podatkov, z novimi primeri uporabe, s praktičnimi primeri itd.

Možnosti vpeljave oziroma vključitve različnih metod s področja geodezije na področje spremljanja in proučevanja divjih živali so po zaslugi napredne tehnologije teoretično in tudi praktično neomejene. Praktično se sicer srečamo z nekaterimi omejitvami kot so negativni vplivi uporabljene opreme na žival, razpoložljiva finančna sredstva ipd., vendar je uporabnost različnih metod s področja geodezije za spremljanje in proučevanje prosto živečih živali kljub temu velika in se bo v prihodnosti najverjetneje še povečala. Minimiziranje velikosti in teže naprav za sledenje živalim in ostale tehnološke izboljšave v preteklem obdobju so privedle do tega, da lahko brez večjih težav spremljamo skoraj vse živalske vrste – od zelo majhnih pa do zelo velikih, od tistih, ki se večinoma zadržujejo na manjših in lahko dostopnih območjih pa do tistih, ki poseljujejo odročne in negostoljubne predele ter daleč migrirajo. To dejstvo pa samo po sebi nikakor ne pomeni uspešne raziskave. Da v študije o divjih živalih uspešno vpeljemo metode s področja geodezije (da bomo torej prišli do ustreznih zaključkov in bo izkoristek uporabljene metode čim večji), potrebujemo specifična znanja tako s področja geodezije in zoologije, geografskih informacijskih sistemov, programiranja, matematičnih in statističnih postopkov itd. Spekter znanja, ki je potreben za uspešno izvedbo raziskav, je torej kar velik. Ob vsem tem moramo upoštevati dosedanja dognanja z vseh teh področij, predvsem pa ne smemo pozabiti na dobrobit živali, ki mora biti vedno na prvem mestu. Prav je, da smo kritični tako pri načrtovanju in izvedbi študije na terenu kot tudi pri obdelavi in analizi rezultatov.

## 5 VIRI

Ajanović, I. (ur.), Bidjin, D. (ur.), Bogdanov, N. (ur.) et al. 1977. Opča enciklopedija Jugoslavenskog leksikografskog zavoda: Foc-Iw.

A new service for archival tag data processing & underwater geolocation. Track&Loc, CLS Services. 2009.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/brochures/cls\\_track\\_and\\_loc\\_services.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/brochures/cls_track_and_loc_services.pdf) (pridobljeno 15.5.2010).

Anderson, D.M. 2001. Virtual fencing – a prescription range animal management tool for the 21st century. An international conference. Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 85-90.

[http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps\\_abstract\\_2001.pdf](http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps_abstract_2001.pdf) (pridobljeno 20. 5. 2011).

Argos Flash, #17 02/2010: 1.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos\\_flash\\_17.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos_flash_17.pdf) (pridobljeno 5. 6. 2010).

Argos Flash, #14 10/2008: 1-2.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos\\_flash\\_14.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos_flash_14.pdf) (pridobljeno 5. 6. 2010).

Argos Flash, #12 03/2008: 1-3.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos\\_flash\\_12.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos_flash_12.pdf) (pridobljeno 5. 6. 2010).

Argos Flash, #10 02/2007: 1-2.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos\\_flash\\_10.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/flash/argos_flash_10.pdf) (pridobljeno 5. 6. 2010).

Argos Forum, #68 10/2009.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_68.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_68.pdf)

(pridobljeno 9. 6. 2010).

Argos Forum, #66 06/2008.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_66.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_66.pdf)

(pridobljeno 11. 6. 2010).

Argos Forum, #63 09/2006.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_63.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_63.pdf)

(pridobljeno 19. 6. 2010).

Argos Forum, #61 10/2004, str. 8-13.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_61.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_61.pdf)

(pridobljeno 20. 6. 2010).

Argos Forum, #60 07/2003, str. 8-11.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_60.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_60.pdf)

(pridobljeno 21. 6. 2010).

Argos newsletter, 58, september 2001, str. 7, 13, 15.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_58.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_58.pdf)

(pridobljeno 22. 6. 2010).

Argos newsletter, 56, februar 2000, str. 3-7 in 13-15.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_56.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_56.pdf)

(pridobljeno 22. 6. 2010).

Argos newsletter, 54, april 1999, str. 11.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl\\_54.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/anl_54.pdf)

(pridobljeno 25. 6. 2010).

Argos newsletter, 53, avgust 1998, str. 1.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan53/ntt\\_en.html](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan53/ntt_en.html)

(pridobljeno 25. 6. 2010).

Argos newsletter, 51, avgust 1996, str. 1.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan51/male\\_japanese\\_monkeys\\_en.html](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan51/male_japanese_monkeys_en.html)

(pridobljeno 25. 6. 2010).

Argos newsletter, 48, avgust 1994, str. 1-2.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan48/black\\_bears\\_en.html](http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan48/black_bears_en.html)

(pridobljeno 25. 6. 2010).

Argos User's Manual. 2007-2008 CLS.

[http://www.argos-system.org/documents/userarea/argos\\_manual\\_en.pdf](http://www.argos-system.org/documents/userarea/argos_manual_en.pdf)

(pridobljeno 9. 5. 2010).

Argos User's Manual. 2007-2011 CLS.

[http://www.argos-system.org/documents/userarea/argos\\_manual\\_en.pdf](http://www.argos-system.org/documents/userarea/argos_manual_en.pdf)

(pridobljeno 24. 3. 2011).

Argos - Worldwide tracking and environmental monitoring by satellite.

[http://www.argos-system.org/welcome\\_en.html?nocache=0.18587834493718103](http://www.argos-system.org/welcome_en.html?nocache=0.18587834493718103)

(pridobljeno 5. 5. 2010).

Bailey, H., Lusseau, D. 2004. Increasing the precision of the theodolite tracking: modified technique to calculate the altitude of land-based observation sites. *Marine Mammal Science* 20, 4: 880-885.

<http://www.abdn.ac.uk/lighthouse/documents/Baileylusseau2004.pdf>

(pridobljeno 29. 4. 2011).

Bailey, H., Thompson, P. 2006. Quantitative analysis of bottlenose dolphin movement patterns and their relationship with foraging. *Journal of Animal Ecology* 75, 2: 456-465.

[http://www.seaturtle.org/PDF/Bailey\\_2006\\_JAnimEcol.pdf](http://www.seaturtle.org/PDF/Bailey_2006_JAnimEcol.pdf) (pridobljeno 31. 5. 2011).

Barr, K., Slooten, E. 1999. Effects of tourism on dusky dolphins at Kaikoura. Department of Conservation, Wellington, New Zealand.

<http://www.doc.govt.nz/upload/documents/science-and-technical/casn229.pdf>

(pridobljeno 1. 6. 2011).

Bächler, E., Hahn, S., Schaub, M., Arlettaz, R., Jenni, L., Fox, J. W., Afanasyev, V., Liechti, F. 2010. Year-Round Tracking of Small Trans-Saharan Migrants Using Light-Level Geolocators. *Plos ONE* 5, 3: e9566.

Beason, R.C., Humphrey, J.S., Myers, N.E., Avery, M.L. 2010. Synchronous monitoring of vulture movements with satellite telemetry and avian radar. *Journal of Zoology* 282, 3: 157-162.

Bejder, L., Dawson, S.M. 1999. Responses by Hector's dolphins to boats and swimmers in Porpoise Bay, New Zealand. *Marine Mammal Science* 15, 3: 738-750.

Bindi, T. 2007. An assessment of satellite tracking technologies to conserve wildlife: A case study approach. Research proposal for partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctorate of Philosophy in Natural Resource Management. Massey University, Wellington, New Zealand.

Biology Blog: Remote Sensing Tools To Predict Bird Species Richness. 2011.

<http://www.biology-blog.com/blogs/permalinks/5-2007/tools-to-predict-bird-species-richness.html> (pridobljeno 17. 2. 2011).

Boyce, M.S., Pitt, J., Northrup, J.M., Morehouse, A.T., Knopff, K.H., Cristescu, B., Stenhouse, G.B. 2010. Temporal autocorrelation functions for movement rates from global positioning system radiotelemetry data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 1550: 2213-2219.

Bräger, S., Chong, A.K. 1999. An application of close range photogrammetry in dolphin studies. *Photogrammetric Record* 16, 93: 503-517.

Brydegaard, M., Lundin, P., Guan, Z., Runemark, A., Åkesson, S., Svanberg, S. 2010. Feasibility study: fluorescence lidar for remote bird classification. *Applied Optics* 49, 24: 4531-4544.

Cagnacci, F., Boitani, L., Powell, R.A., Boyce, M.S. 2010. Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 1550: 2157-2162.

Casper, R.M. 2009. Guidelines for the instrumentation of wild birds and mammals. *Animal Behaviour* 78, 6: 1477-1483.

Childress, M., Demmou, M.C. 2006. Argos-3, The new generation.

[http://www.argos-system.org/documents/publications/brochures/argos3\\_metop\\_en.pdf](http://www.argos-system.org/documents/publications/brochures/argos3_metop_en.pdf)

(pridobljeno 12. 5. 2010).

Coyne, M.S., Godley, B.J. 2005. Satellite Tracking and Analysis Tool (STAT): an integrated system for archiving, analyzing and mapping animal tracking data. *Marine Ecology Progress Series* 301, 1-7.

<http://www.int-res.com/articles/feature/m301p001.pdf> (pridobljeno 26. 1. 2011).

Cubbage, J. C., Calambokidis, J. 1987. Size-class segregation of bowhead whales discerned through aerial stereophotogrammetry. *3, 2: 179-185.*

Culik, B.M., Koschinski, S., Tregenza, N., Ellis, G.M. 2001. Reactions of harbor porpoises *Phocoena phocoena* and herring *Clupea harengus* to acoustic alarms. *Marine Ecology Progress Series* 211, februar 14: 255-260.

<http://www.int-res.com/articles/meps/211/m211p255.pdf> (pridobljeno 1. 6. 2011).

Dobričič, L., Kosmatin Fras, M. 2006. Izdelava metričnih modelov stavb z nizkocenovnim orodjem. *Geodetski vestnik* 50, 1: 25-36.

Dokter, A.M., Liechti, F., Stark, H., Delobbe, L., Tabary, P., Holleman, I. 2010. Bird migration flight altitudes studied by a network of operational weather radars. *Journal of the Royal Society: Interface* 8, 54: 1-15.

Dubinin, M., Lushchekina, A., Radeloff, V.C. 2010. Performance and accuracy of Argos transmitters for wildlife monitoring in Southern Russia. *European Journal of Wildlife Research* 56, 3: 459-463.

Edrén, S.M.C., Wisz, M.S., Teilmann, J., Dietz, R., Söderkvist, J. 2010. Modelling spatial patterns in harbour porpoise satellite telemetry data using maximum entropy. *Ecography* 33, 4: 698-708.

Environmental Studies, GPS-GSM collars. 2006.

[http://www.environmental-studies.de/products/02/gps-gsm\\_collars.html](http://www.environmental-studies.de/products/02/gps-gsm_collars.html)

(pridobljeno 26. 1. 2011).

Fancy S.G., Pank L.F., Douglas D.C., Curby C.H., Garner G.W., Amstrup S.C., Regelin W.L. 1988. *Satellite Telemetry: A New Tool for Wildlife Research and Management*. United States, Fish and Wildlife Service.

Frair, J.L., Fieberg, J., Hebblewhite, M., Cagnacci, F., DeCesare, N.J., Pedrotti, L. 2010. Resolving issues of imprecise and habitat-biased locations in ecological analyses using GPS telemetry data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 1550: 2187-2200.



Fras, M. 2008. Projekt aerotriangulacije. Zapiski s predavanj pri predmetu Fotogrametrija 3.

Gordon, I.J. Tracking animals with GPS, an international conference held at the Macaulay land use research institute Aberdeen, 12-13 March 2001.

[http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps\\_abstract\\_2001.pdf](http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps_abstract_2001.pdf) (pridobljeno 20. 5. 2011).

Gorjup, Z. 1985. Fotogrametrija. Ljubljana, Zavod SR Slovenije za šolstvo.

Grambo, R.L. 2005. WOLF – Legend, Enemy, Icon. Canada, Firefly Books: 159 str.

Hace, A. (Morigenos). 23. april 2011. Osebna komunikacija.

Harzen, S. 1998. Habitat use by the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Sado estuary, Portugal. *Aquatic Mammals* 24, 3: 117-128.

[http://www.taras.org/PDF/Aquatic\\_Mammals\\_1998\\_001.pdf](http://www.taras.org/PDF/Aquatic_Mammals_1998_001.pdf) (pridobljeno 2. 6. 2011).

Harzen, S. 2002. Use of an electronic theodolite in the study of movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Sado Estuary, Portugal. *Aquatic Mammals* 28, 3: 251-260.

[http://www.taras.org/PDF/Aquatic\\_Mammals\\_2002\\_001.pdf](http://www.taras.org/PDF/Aquatic_Mammals_2002_001.pdf) (pridobljeno 2. 6. 2011).

Hastie, G.D., Wilson, B., Wilson, L.J., Parsons, K.M., Thompson, P.M. 2004. Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for bottlenose dolphins are linked to foraging. *Marine Biology* 144, 2: 397-403.

Hastie, G.D., Wilson, B., Thompson, P.M. 2003. Fine-scale habitat selection by coastal bottlenose dolphins: application of a new land-based video-montage technique. *Canadian Journal of Zoology* 81, 3: 469-478.

Havens, K.J., Sharp, E.J. 1998. Using thermal imagery in the aerial survey of animals. *Wildlife Society Bulletin* 26, 1: 17-23.

<http://www.jstor.org/pss/3783795> (pridobljeno 23. 2. 2011).

Hays, G.C., Akesson, S., Godley, B.J., Luschi, P., Santidrian, P. 2001. The implications for the interpretation of satellite-tracking data. *Animal Behaviour* 61, 5: 1035-1040.

[http://www.seaturtle.org/mtrg/pubs/hays\\_anbeh2001.pdf](http://www.seaturtle.org/mtrg/pubs/hays_anbeh2001.pdf) (pridobljeno 20. 1. 2011).

Hebblewhite, M., Haydon, D.T. 2010. Distinguishing technology from biology: a critical review of the use of GPS telemetry data in ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 1550: 2303-2312.

Hilgerloh, G., Caprano, T., Griebeler, E.M. 2010. Calibrating the Operational Beam Width and Maximum Range of a Ship Radar Used for Bird Observations. *The Journal of Navigation* 63, 2: 363-371.

Huber, Đ. 2003. Prvi medvjed sa satelitskom ogrlicom. *Lovački vjesnik* 112, 12: 27.

<http://bib.irb.hr/mzos/prikazi-rad?&rad=160035> (pridobljeno 26. 1. 2011).

Hulbert, I.A.R. 2001. GPS and its use in animal telemetry: the next five years. V: Gordon, I.J. (ur.). *An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen*, 12. – 13. March 2001: str. 51-60.

Hulbert, I.A.R., French, J. 2001. The accuracy of GPS for wildlife telemetry and habitat mapping. *Journal of Applied* 38, 4: 869-878.

[http://www.seaturtle.org/PDF/Hulbert\\_2001\\_JAppEcol.pdf](http://www.seaturtle.org/PDF/Hulbert_2001_JAppEcol.pdf) (pridobljeno 21. 1. 2011).

Hünerbein, K., Rüter, E. 2001. A very lightweight flight recorder for homing pigeons based on GPS. V: Gordon, I.J. (ur.). *An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen*, 12. – 13. March 2001: str. 95-101.

International Laser Ranging Service, SARAL Satellite Information. 2011.

[http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite\\_missions/list\\_of\\_satellites/sara\\_general.html](http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/sara_general.html)

(pridobljeno 13. 5. 2011).

Introduction to Tracking Technology – GPS and GIS, facilitated by Technologies for conservation and development.

[www.docstoc.com/docs/34650634/wildlife-Tracking](http://www.docstoc.com/docs/34650634/wildlife-Tracking) (pridobljeno 25. 1. 2011).

Janeau, G., Adrados, C., Girard, I. 2001. Is it still necessary to use GPS in differential mode since the elimination of selective availability? V: Gordon, I.J. (ur.). An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 73-75.

Janeau, G., Adrados, C., Joachim, J., Pépin, D. 2001. GPS performance in a temperate forest environment. V: Gordon, I.J. (ur.). An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 69-72.

Javed, S., Higuchi, H., Nagendran, M., Takekawa, J.Y. 2003. Satellite telemetry and wildlife studies in India: Advantages, options and challenges. *Current Science* 85, 10: 1439-1443.

<http://www.ias.ac.in/currsci/nov252003/1439.pdf> (pridobljeno 19. 1. 2011).

Kladnik, R. 1996. Pot k maturi iz fizike. Ljubljana, DZS: 167 str.

Kosmatin Fras, M. Arhitekturna fotogrametrija v spomeniškem varstvu – opis strokovnih metod in izdelkov za uporabnike. Fotogrametrija kot metoda dokumentiranja kulturne dediščine: sodobne tehnologije. *Vestnik* 1996, XV: 19-29.

Long, R.A., MacKay, P., Zielinski, W.J., Ray, J.C. 2008. *Noninvasive Survey Methods for Carnivores*. Washington, Island Press.

Lund University. Fluorescence LIDAR. 2010.

[http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied\\_molecular\\_spectroscopy\\_and\\_remote\\_sensing/research\\_overview/fluorescence\\_lidar/](http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied_molecular_spectroscopy_and_remote_sensing/research_overview/fluorescence_lidar/) (pridobljeno 22. 5. 2011).

MaFiRaWiki – Dopplerjev pojav. 2007.

[http://wiki.fmf.uni-lj.si/wiki/Dopplerjev\\_pojav](http://wiki.fmf.uni-lj.si/wiki/Dopplerjev_pojav) (pridobljeno 9. 5. 2010).

Mateos, M., Arroyo, G.M., Rodríguez, A., Cuenca, D., de la Cruz, A. 2010. Calibration of visually estimated distances to migrating seabirds with radar measurements. *Journal of Field Ornithology* 81, 3: 302-309.

Mendes, S., Turrell, W., Lütkebohle, T., Thompson, P. 2002. Influence of the tidal cycle and a tidal intrusion front on the spatio-temporal distribution of coastal bottlenose dolphins. *Marine Ecology Progress Series* 239: 221-229.

Mežnar, M. 2004. Lidar. Seminarska naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko.

[http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2004\\_2005/Lidar\\_krajse.pdf](http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2004_2005/Lidar_krajse.pdf) (pridobljeno 22. 5. 2011).

Millspaugh, J.J., Marzluff J.M. 2001. *Radio Tracking and Animal Populations*. California, London, Academic Press.

New, S., Peters, R. 2010. A framework for quantifying properties of 3-dimensional movement-based signals. *Current Zoology* 56, 3: 327-336.

Ohranitev velikih zveri v Sloveniji, Projekt Rjavi Medved, Zavod za gozdove Slovenije.

[http://www.life.zgs.gov.si/content.php?menu=30,3,0&content=33#m\\_35](http://www.life.zgs.gov.si/content.php?menu=30,3,0&content=33#m_35)

(pridobljeno 24. 4. 2010).

Oregon State University: Remote infrared thermography of homeotherm animals. 2011.

<http://mmi.oregonstate.edu/pearl/research/infrared-summary> (pridobljeno 23. 2. 2011).

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU: str. 42, 73-75, 218.

Pennisi, E. 2011. Researchers Use Weather Radar to Track Bat Movements. *Science* 331, 6020: 998.

<http://www.sciencemag.org/content/331/6020/998.summary?sid=c55c4a18-d29d-42b0-b498-f6cfa1304c73> (pridobljeno 26. 2. 2011).

Pfuhl, G., Tjelmeland, H., Biegler, R. 2010. Precision and Reliability in Animal Navigation. Society for Mathematical Biology. Online – SpringerLink: 22 May 2010.

PhotoModeler: SLiDAP. 2001.

[http://www.photomodeler.com/about\\_us/newsreleases/01-11-13.htm](http://www.photomodeler.com/about_us/newsreleases/01-11-13.htm)

(pridobljeno 23. 2. 2011).

Priede, I.G., Swift, S.M., 1992. Wildlife telemetry: Remote monitoring and tracking of animals. England, Chichester, Ellis horwood limited.

Ratnaswamy, M.J., Winn, H.E. 1993. Photogrammetric Estimates of Allometry and Calf Production in Fin Whales, *Balaenoptera phisalus*. Journal of Mammalogy 74, 2: 323-330.

Riding, T.A.C., Dennis, T.E., Stewart, C.L., Walker, M.M., Montgomery, J.C. 2009. Tracking fish using 'buoy-based' GPS telemetry. Marine Ecology Progress Series 377, 255-262.

Rodgers, A.R. 2001. Tracking animals with GPS: the first 10 years. V: Gordon, I.J. (ur.). An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 1-10.

Rodgers, A.R., Carr, A.P. 2001. HRE: The Home Range extension for ArcWiew™. V: Gordon, I.J. (ur.). An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 83-84.

Ropert-Coudert, Y., Wilson, R.P. 2005. Trends and perspectives in animal-attached remote sensing. Frontiers in Ecology and the Environment 3, 8: 437-444.

Rumble, M.A., Benkobi, L., Lindzey, F., Gamo, R.S. 2001. Evaluating elk habitat interactions with GPS collars. V: Gordon, I.J. (ur.). An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 11-17.

Schulte, R., Fielitz, U. 2001. High performance GPS collars, use of the latest available technology. V: Gordon, I.J. (ur.). An international conference, Macaulay land use research institute Aberdeen, 12. – 13. March 2001: str. 97-101.

[http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps\\_abstract\\_2001.pdf](http://www.macaulay.ac.uk/gps/gps_abstract_2001.pdf) (pridobljeno 20. 5. 2011).

Seney, E.E., Higgins, B.M., Landry, A.M. 2010. Satellite transmitter attachment techniques for small juvenile sea turtles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 384, 1-2: 61-67.

Shpak, O.V., Andrews, R.D., Glazov, D.M., Litovka, D.I., Hobbs, R.C., Mukhametov, L.M. 2010. Seasonal Migrations of Sea of Okhotsk Beluga Whales (*Delphinapterus leucas*) of the Sakhalin – Amur Summer Aggregation. *Russian Journal of Marine Biology* 36, 1: 56-62.

Smouse, P.E., Focardi, S., Moorcroft, P.R., Kie, J.G., Forester, J.D., Morales, J.M. 2010. Stochastic modelling of animal movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 1550: 2201-2211.

Southwest Fisheries Science Center. Photogrammetry – introduction. 2009.

<http://swfsc.noaa.gov/textblock.aspx?Division=PRD&ParentMenuId=211&id=1230>

(pridobljeno 23. 2. 2011).

Straw, A.D., Branson, K., Neumann, T.R., Dickinson, M.H. 2010. Multi-camera real-time three-dimensional tracking of multiple flying animals. *Journal of the Royal Society: Interface* 56, 8: 395-409.

Tehnični pravilnik SK-AT-OF, verzija 3. 2003. Ljubljana: Geodetska uprava Republike Slovenije: str. 11-17.

Tomkiewicz, S.M., Fuller, M.R., Kie, J.G., Bates, K.K. 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 1550: 2163-2176.

Triglav, J. 2010. Natančno satelitsko geolociranje za vsakogar!? Geodetski vestnik 54, 2: 320-325.

Univerza v Novi Gorici, Lidar na Otlici. 2011.

<http://www.ung.si/si/raziskave/raziskave-atmosfere/otlica/lidar-otlica/>

(pridobljeno 22. 5. 2011).

Urbano, F., Cagnacci, F., Calenge, C., Dettki, H., Cameron, A., Neteler, M. 2010. Wildlife tracking data management: a new vision. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365, 1550: 2177-2185.

Waite, J. N. 2000. Three-dimensional photogrammetry as a tool for assessing morphometrics and estimating body mass of steller sea lions. M. Sc. Thesis. Texas A&M University.

[http://www.alaskasealife.org/New/Contribute/pdf/Waite\\_thesis\\_2000.pdf](http://www.alaskasealife.org/New/Contribute/pdf/Waite_thesis_2000.pdf)

(pridobljeno 22. 5. 2011).

Wake Forest University, Albatross Project. 2010.

<http://www.wfu.edu/biology/albatross/deutsch/images/argos.jpg> (pridobljeno 5. 6. 2010).

Wikipedija – telemetrija. 2010.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Telemetry/> (pridobljeno 24. 4. 2010).

Wikipedija – radar. 2011.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Radar> (pridobljeno 13. 2. 2011).

Williams, R., Bain, D.E., Ford, J.K.B., Trites, A.W. 2002. Behavioural responses of male killer whales to a 'leapfrogging' vessel. Journal of Cetacean Research and Management. 4, 3: 305-310.

[http://www.nwfsc.noaa.gov/research/divisions/cbd/marine\\_mammal/kworkshops/boatpubs/leapfrogging\\_williamsetal.pdf](http://www.nwfsc.noaa.gov/research/divisions/cbd/marine_mammal/kworkshops/boatpubs/leapfrogging_williamsetal.pdf) (pridobljeno 4. 6. 2011).

Witt, M.J., Åkesson, S., Broderick, A.C., Coyne, M.S., Ellick, J., Formia, A., Hays, G.C., Luschi, P., Stroud, S., Godley, B.J. 2010. Assessing accuracy and utility of satellite-tracking data using Argos-linked Fastloc-GPS. *Animal Behaviour* 80, 3: 571-581.

Würsig, B., Cipriano, F., Würsig, M. 1991. Dolphin movement patterns: Information from radio and theodolite tracking studies. California, Berkeley and Los Angeles, University of California Press: str. 79-111.

[http://www.google.com/books?hl=sl&lr=&id=yPIKzPGFUvwC&oi=fnd&pg=PA79&dq=Dolphin+movement+patterns:+Information&ots=Er15\\_jdwtY&sig=ItcChuzMyRegwHlaqFH0cHVjRew#v=onepage&q=Dolphin%20movement%20patterns%3A%20Information&f=false](http://www.google.com/books?hl=sl&lr=&id=yPIKzPGFUvwC&oi=fnd&pg=PA79&dq=Dolphin+movement+patterns:+Information&ots=Er15_jdwtY&sig=ItcChuzMyRegwHlaqFH0cHVjRew#v=onepage&q=Dolphin%20movement%20patterns%3A%20Information&f=false)

(pridobljeno 29. 4. 2011).

### **Ostali viri**

Slovar medicinskih izrazov. 2010.

[http://med.over.net/za\\_bolnike/slovarcek\\_tujk/](http://med.over.net/za_bolnike/slovarcek_tujk/) (pridobljeno 23. 4. 2010).

Landsat. 2011.

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/> (pridobljeno 9. 5. 2011).