

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Avguštin, M., 2014. Evidentiranje nevarnih skal na območju Straže v Občini Straža. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Koler, B., somentor Urbančič, T.): 20 str.

Datum arhiviranja: 03-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Avguštin, M., 2014. Evidentiranje nevarnih skal na območju Straže v Občini Straža. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Koler, B., co-supervisor Urbančič, T.): 20 pp.

Archiving Date: 03-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GEODEZIJA IN  
GEOINFORMATIKA

Kandidat:

**MARTIN AVGUŠTIN**

**EVIDENTIRANJE NEVARNIH SKAL NA OBMOČJU  
STRAŽE V OBČINI STRAŽA**

Diplomska naloga št.: 65/GIG

**RECORDING OF ROCK FALL HAZARDS IN THE AREA  
OF STRAŽA IN THE MUNICIPALITY OF STAŽA**

Graduation thesis No.: 65/GIG

**Mentor:**  
doc. dr. Božo Koler

**Predsednik komisije:**  
prof. dr. Bojan Stopar

**Somentor:**  
asist. Tilen Urbančič

Ljubljana, 18. 09. 2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



**MARTIN AVGUŠTIN**

**EVIDENTIRANJE NEVARNIH SKAL  
NA OBMOČJU STRAŽE V OBČINI STRAŽA**

**DIPLOMSKA NALOGA**

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

Ljubljana, 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**Izjava**

Podpisani **MARTIN AVGUŠTIN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
»EVIDENTIRANJE NEVARNIH SKAL NA OBMOČJU STRAŽE V OBČINI STRAŽA«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Dol. Toplice, 3. 9. 2014

Martin Avguštin

## **BIBLIOGRASKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK</b>	528.3/.4:624.17(497.4)(043.2)
<b>Avtor</b>	Martin Avguštin
<b>Mentor</b>	doc. dr. Božo Koler
<b>Somentor</b>	asist. Tilen Urbančič
<b>Naslov</b>	Evidentiranje nevarnih skal na območju Straže v občini Straža
<b>Tip dokumenta:</b>	Diplomska naloga - univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema</b>	20 strani, 2 preglednici, 19 slik, 14 enačb
<b>Ključne besede</b>	polarna metoda, nevarne skale, občina Straža

### **Izvelek**

V diplomski nalogi je predstavljen problem nevarnih skal v občini Straža. S polarno metodo izmere so bile na terenu določene nevarne skale ter izračunana povprečna položajna natančnost posnetih detajlnih točk. Diplomaska naloga vsebuje tudi različne prikaze skal ter prečne profile terena. Izvedena je tudi RockfallNET analiza, ki podaja vpliv gozda na padajoče skale.

**BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	528.3/.4:624.17(497.4)(043.2)
<b>Author:</b>	Martin Avguštin
<b>Supervisor:</b>	Assist. prof. Božo Koler, Ph.D.
<b>Co-supervisor:</b>	Assist. Tilen Urbančič
<b>Title:</b>	Recording of rock fall hazards in the area of Straža in the municipality of Straža
<b>Document type:</b>	Graduation Thesis – University studies
<b>Notes:</b>	20 p., 2 tab., 19 fig., 14 eq.
<b>Key words:</b>	polar method, dangerous rocks, municipality Straža

**Abstract**

The aim of this diploma thesis is to presents the problem of dangerous rocks in municipality Straža. The rocks were set by the polar method of surveying and calculated the average positional accuracy of the detailed points. The thesis also contains various displays of rocks and the transverse profile of the terrain. An analysis was done with program RockfallNET, which gives as result protection of forest against falling rocks.

## **Zahvala**

Za pomoč in nasvete se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Božu Kolerju ter somentorju asist. Tilnu Urbančiču.

Zahvaljujem se svoji družini ter Nuši za podporo, pomoč in zaupanje.

Hvala tudi vsem sošolcem za nepozabne izkušnje.



**Kazalo vsebine**

1 UVOD .....	1
2 POTEK PADAJOČIH SKAL .....	2
3 DOLOČITEV POLOŽAJEV SKAL .....	3
3.1 Uporabljena oprema in instrumentarji.....	3
3.2 Polarna metoda izmere .....	4
3.3 Polarna izmera s prostega stojišča.....	6
3.4 Ocena natančnosti določitve položaja detajlne točke v izbranem koordinatnem sistemu..	7
4 OPIS TERENA.....	9
5 OPIS IZVEDBE MERITEV TER OBDELAVA PODATKOV.....	10
5.1 Obdelava podatkov .....	11
5.2 Obdelava .....	12
6 PREDSTAVITEV REZULTATOV IN NJIHOVA ANALIZA.....	13
6.1 Polarna metoda izmere .....	13
6.2 Analize rezultatov v programu ArcMap.....	14
6.3 Analiza rezultatov programa RockforNET .....	17
7 ZAKLJUČEK.....	19
VIRI.....	20

## **Kazalo preglednic**

Preglednica 1: Tehnični podatki inštrumenta (Leica FlexLine, 2014).....	3
Preglednica 2: Koordinate navezovalnih točk.....	10

**Kazalo slik**

Slika 1: Načini padanja skal (Štampe, 2006).....	2
Slika 2: LeicaFlexLine TS06 (LeicaFlexLine, 2014).....	3
Slika 3: LeicaFlexLine TS06 (LeicaFlexLine, 2014).....	4
Slika 4: Polarna metoda izmere (Berdajs, Ulbl, 2010) .....	4
Slika 5: Prosta izbira stojišča (Breznikar, Koler, 2009) .....	6
Slika 6: Grafični prikaz pogreška pri polarni metodi.....	7
Slika 7: Potek ceste ter gozdne poti (GURS).....	9
Slika 8: 3D pogled terena.....	9
Slika 9: Predvideni princip oštevilčevanja skal (GURS).....	10
Slika 10: Prikaz položaja stojišča, ter dane točke (GURS) .....	11
Slika 11: Predstavitev obdelave podatkov.....	11
Slika 12: Prečni profil terena .....	14
Slika 13: Prečni profil s skalami.....	14
Slika 14: Prikaz položaja skal (GURS) .....	15
Slika 15: Prikaz ogroženih območji (GURS).....	15
Slika 16: Približen potek skal (GURS) .....	16
Slika 17: Skala.....	17
Slika 18: Graf dejanske in teoretično boljše poraslosti (Berger, Dorren, 2013) .....	18
Slika 19: Podajno lovilna ograja (rejda.si, 2014).....	19

## 1 UVOD

Potrebno se je zavedati o minljivosti življenja in zaščititi vsakega posameznika, saj nikoli ne veš, kdaj lahko neka skalna gmota konča v tvoji dnevni sobi. Dokler se zgodi le materialna škoda lahko menimo, da smo imeli srečo.

Padajoče kamenje je naravni proces, ki ga težko predvidimo, lahko pa se pred njim učinkovito zaščitimo. Vzroki za sprožitev kamenja so različni, od tega da je zanj kriv človek z različnim poseganjem v naravo, do različnih vremenskih vplivov ter potresov. Veliko je teh vzrokov za sprožitev kamenja in zato ni in ne more obstajati znanost, ki bi nam zagotavljala popolno varnost pred padajočim kamenjem. Vendar pa se lahko, s pravilnimi ukrepi ter predvsem dovolj zgodnimi odločitvami, zaščitimo pred tovrstnimi nesrečami in tako zmanjšamo materialno škodo ali celo rešimo življenje. K problemu je potrebno pristopiti celostno ter vanj vključiti različne inženirske stroke (gradbenike, geologe, geodete, gozdarje...) in skupaj poiskati rešitev, ki je za dano območje najbolj primerna.

V diplomski nalogi obravnavam problem nevarnih skal v občini Straža in poskušam prispevati razmišljanje iz geodetske stroke. Straža je večje naselje, ki leži zahodno od Novega mesta. Nevarne skale se nahajajo nad Stražo, in sicer ležijo na pobočju Straške gore z nadmorsko višino 464 m. Površina nevarnega območja znaša približno 70 Ha z naklonom pobočja do 45°. Skale na tem območju resno ogrožajo spodaj stanujoče. V času izmere smo se pogovarjali z vaščanom, ki je dejal, da je pred desetletji po pobočju drvela skalna gmota velikosti avta. Bil je tudi mnenja, da bi moralo biti to že zdavnaj zaščiteno in urejeno.

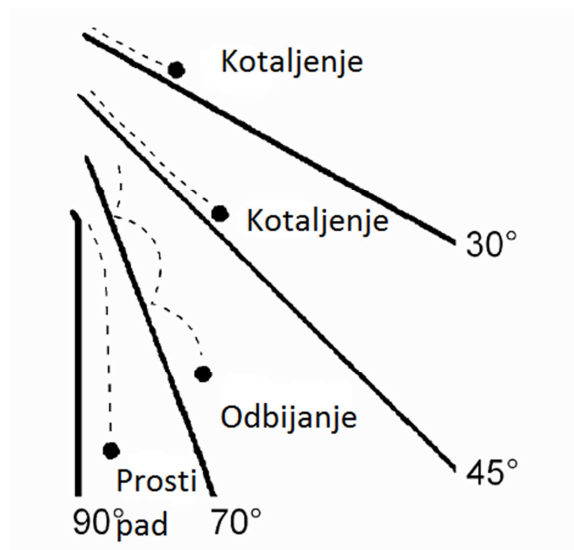
Cilj diplomske naloge je, da prikažem položaj skal na študijskem območju, ki pa je le del celotnega območja, saj vse skupaj presega obseg diplomske naloge. Izvedli smo geodetsko izmero z namenom, da določimo položaj skal v prostoru in ocenimo njihovo položajno natančnost. Izmero smo izvedli po polarni metodi s prostega stojišča. V grafični obliki so predstavljeni prečni prerezi terena ter načrti položaja skal. V nalogi bom poskušal na kratko predstaviti tudi teorijo kotaljenja skal. Diplomaska naloga je del obsežnejšega projekta, ki je vključeval več geodetskih del.

Diplomska naloga je sestavljena iz treh delov. Prvi del je teoretično usmerjen in opisuje teorijo padanja skal ter postopke, ki sem jih uporabil pri izračunu. V drugem delu opisujem potek terenskega dela in uporabljen instrumentarij. V drugi del sem tudi vključil postopek uvoza podatkov ter same obdelave le-teh. V zadnjem delu so predstavljeni rezultati, ki smo jih dobili po obdelavi.

## 2 POTEK PADAJOČIH SKAL

Skala lahko po brežini pada na različne načine, lahko gre za prosti pad, kotaljenje ali odbijanje oz. "skakanje". Tako deljenje gibanja skal je pomembno za nadaljnje modeliranje poti skale, ki bi jo po morebitni sprožitvi zavzela.

Definicija prostega pada je, da telo, ki pada, pada ves čas nemoteno. Prosti pad se pojavi na zelo strmih pobočjih, nekateri ocenjujejo, da je meja prostega pada nekje do  $70^\circ$  naklonu brežine, kot je prikazano na sliki 1 (Štampe, 2006). Tako padanje je enostavno zapisati z fizikalnimi enačbami za prosti pat.



Slika 1: Načini padanja skal (Štampe, 2006)

Skala, ki se kotali po pobočju, se bo prej ali slej začela odbijati zaradi njene nepravilne oblike in oblike terena. Lahko pa pride tudi do tega, da po prostem padu skala trči ob dno brežine in se nato začne odbijati naprej. Ob tem se lahko skala razleti, če ni dovolj kompaktna. Ne glede na to, ali se skala razleti, se 75 % – 86 % energije, ki je bila pridobljena z začetnim padanjem, izgubi (Štampe, 2006). Odbijanje običajno velja za manjše skale, pri večjih to ni tako opazno zaradi njihove mase.

Če se naklon brežine zmanjša pod  $45^\circ$ , se skala prične kotaliti (slika 1). Pri kotaljenju je skala ves čas v stiku s tlemi in sicer ima kontakt s tlemi največji radij skale. Center mase skale pa potuje po ravni liniji, saj tako izgubi najmanj energije in je potovanje najbolj učinkovito. Hitrost kotaljenja opišemo z energijskimi enačbami.

Ob koncu gibanja se skala zaradi izgube energije ustavi. Energijo izgublja zaradi trkov v različne ovire (drevesa, druge skale) ter trenja s tlemi. Sila trenja, ki deluje na premikajočo se skalo, ni odvisna le od oblike skale, temveč tudi od oblike terena. Običajno skala iz kotaljenja v statičen položaj ne preide takoj, ampak na koncu še nekoliko drsi. Drsenje se pojavi prav na začetku gibanja skale in na koncu.

### 3 DOLOČITEV POLOŽAJEV SKAL

Geodetsko izmero smo izvedli zato, da smo pridobili položaj skal. Ti podatki so bili uporabljeni za izris karte. Karta bo objavljena na spletu, tako bodo lahko domačini dostopali do podatkov in poskušali ugotoviti, katera skala ogroža njihovo premoženje.

Geodetska izmera za potrebe določitve položaja skal v prostoru je bila izvedena po polarni metodi. Zaradi razporeditve danih trigonometričnih in poligonskih točk v okolici delovišča smo koordinate stojišča določili po metodi proste izbire stojišča. S pomočjo dobljenih koordinat stojišča in merjenimi polarnimi elementi (dolžine ter smeri), smo lahko določili koordinate merjenih skal. Skalo smo izmerili kot točkovni objekt in točka v naravi predstavlja ocenjeno masno središče skale.

#### 3.1 Uporabljena oprema in instrumentarji

Za izmero smo uporabili elektronski tahimeter Leica FlexLine TS06 (sliki 2). Inštrument spada med srednje do visoko natančne instrumente in je v našem primeru zadovoljil potrebe po natančnosti. Tehnični podatki inštrumenta so podani v preglednici 1.



Slika 2: Leica FlexLine TS06 (Leica FlexLine, 2014)

Preglednica1: Tehnični podatki inštrumenta (Leica FlexLine, 2014)

$\sigma_{\text{ISO-THEO}}$	2" oz. 0,6 mgon
$\sigma_{\text{ISO-EDM}}$	1,5 mm $\pm$ 2 ppm
Največja merjenja dolžina z uporabo prizme	3500 m
Največja merjenja dolžina brez prizme	1000 m
Povečava teleskopa $\Gamma$	30x
Natančnost centriranja	1,5 mm pri postavitvi instrumenta na 1,5 m
Teža inštrumenta	5,1 kg
Temperaturni razpon v katerem inštrument še lahko dela	-20°C do + 50°C

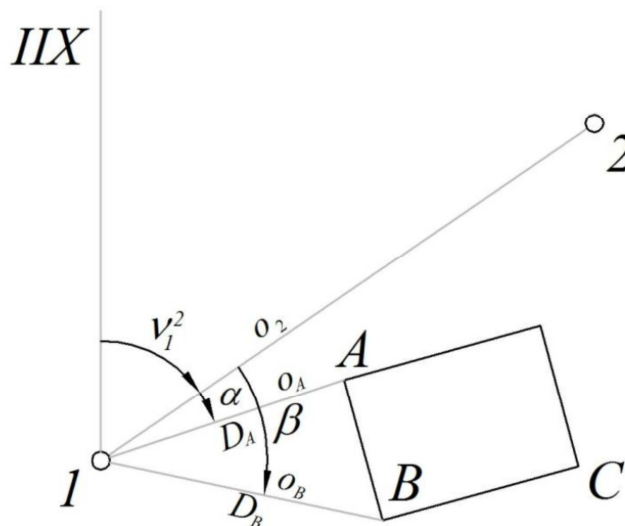
Poleg elektronskega tahimetra smo uporabili tudi prizmo GPR1 (sliki 3), ter stativ in togo grezilo.



Slika 3: Leica FlexLine TS06 (Leica FlexLine, 2014)

### 3.2 Polarna metoda izmere

Polarna metoda izmere je dokaj enostavna in v praksi najpogosteje uporabljena metoda izmere. Instrumenti imajo običajno vgrajen program, ki nam omogoča, da lahko na osnovi predhodno določenih koordinat in orientacije na dano točko, takoj pridobimo koordinate posnete detajlne točke. Pri polarni metodi izmerimo dolžino in horizontalno smer do detajla in se na podlagi tega izračunata koordinati detajla.



Slika 4: Polarna metoda izmere (Berdajs, Ulbl, 2010)

Slika 4 prikazuje polarno metodo izmere, pri čemer je točka 1 stojiščna točka, točka 2 pa orientacijska točka.  $o_2$  je orientacijska smer,  $o_A$  in  $o_B$  pa predstavljata odčitka na horizontalnem krogu. Iz teh merjenih horizontalnih smeri izračunamo kota  $\alpha$  in  $\beta$ . Do nove točke merimo tudi poševni dolžini  $D_A$  ter  $D_B$ , ki pa jih za nadaljnje računanje pretvorimo v horizontalne.

Najprej izračunamo smerni kot med stojiščno in orientacijsko točko, ki sta dani točki:

$$\tan v_1^2 = \frac{\Delta y_1^2}{\Delta x_1^2} \quad (1)$$

Nato izračunamo horizontalna kota  $\alpha$  in  $\beta$  po enostavni enačbi, ki jo lahko razberemo iz slike 2.

$$\alpha = o_A - o_2, \quad (2)$$

$$\beta = o_B - o_2$$

Izračunamo še smerna kota proti detajlni točki

$$v_1^A = v_1^2 + \alpha, \quad (3)$$

$$v_1^B = v_1^2 + \beta$$

Sledi izračun koordinatnih razlik med stojiščno točko (točka 1) ter detajlno točko

$$\Delta x_1^A = D_A * \cos v_1^A, \Delta y_1^A = D_A * \sin v_1^A \quad (4)$$

$$\Delta x_1^B = D_B * \cos v_1^B, \Delta y_1^B = D_B * \sin v_1^B$$

Koordinatne razlike prištejemo stojiščnim koordinatam in dobimo koordinate detajlne točke

$$x_A = x_1 + \Delta x_1^A, y_A = y_1 + \Delta y_1^A \quad (5)$$

$$x_B = x_1 + \Delta x_1^B, y_B = y_1 + \Delta y_1^B$$

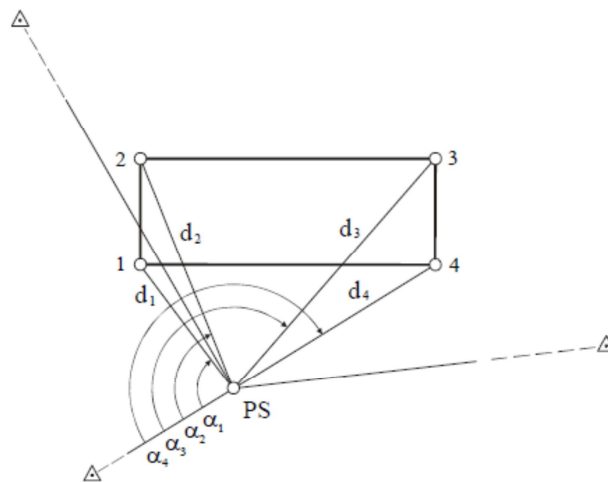
Na natančnost določitve koordinat točk s polarno metodo vpliva natančnost izmere kota  $\alpha$  ter  $\beta$  in merjenje dolžin. Izmero lahko izboljšamo s kakovostjo določitve smernega kota ( $v_1^2$ ). Natančnost izboljšamo tako, da izberemo orientacijsko smer, ki je daljša od detajla, tako se vpliv pogreška signalizacije zmanjša.

Najpogosteje pa merimo istočasno tudi zenitne razdalje in s pomočjo trigonometričnega višinomerstva izračunamo višino detajlne točke. Tako dobimo vse tri koordinate izmerjene točke.



### 3.3 Polarna izmera s prostega stojišča

Ta metoda se v povezavi s sodobnim elektronskim tahimetrom danes največkrat pojavlja v praksi, pri zakoličevanju ali določevanju koordinat detajlne točke. Najbolj pomembna prednost te metode je, da lahko stojišče izberemo poljubno, tako postavimo instrument tam, kjer je vidnih največ danih in detajlnih točk. To smo na terenu naredili tudi mi, saj so obstoječe dane točke stabilizirane tako, da ne omogočajo direktnih meritev na študijskem območju. Poleg tega v tej metodi ne nastopa pogrešek centriranja ter pogrešek merjenja višine inštrumenta, ki bi se prenesel na mejenje detajlnih točk. Koordinate stojišča so namreč določene v presečišču osi instrumenta (x ter y os). Koordinate prostega stojišča v projekcijski ravnini določimo na osnovi merjenih smeri in razdalj do najmanj dveh danih točk. Instrument pa lahko vseeno centriramo nad prej stabilizirano točko ter izmerimo višino, kar pomeni, da lahko točko uporabimo tudi kasneje in ne samo v času te izmere.



Slika 5: Prosta izbira stojišča (Breznikar, Koler, 2009)

Inštrument, ki smo ga uporabili, je omogočal naslednje kombinacije meritev za določitev prostega stojišča (Geoservis, 2009):

- horizontalne smeri in vertikalne kote (metoda ureza),
- horizontalne smeri in vertikalne kote vključno z razdaljami ter
- horizontalne smeri, vertikalne kote in razdalje na nekatere točke in na preostale točke samo horizontalne smeri in vertikalne kote.

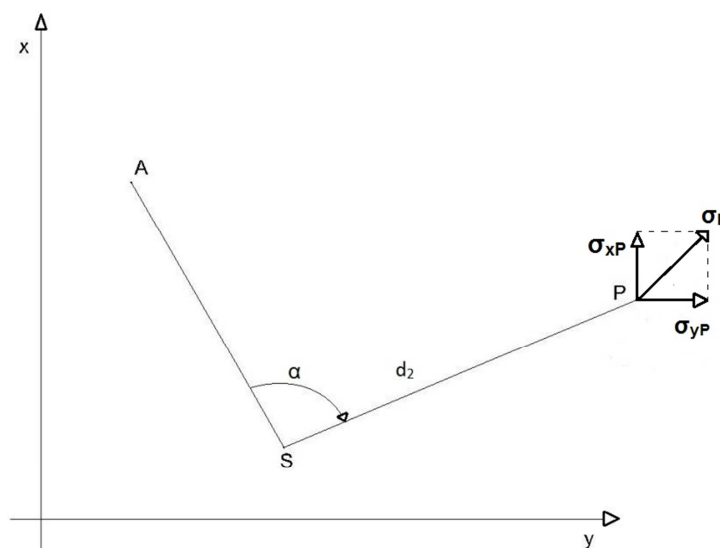
Postopek izračuna koordinat prostega stojišča je odvisen od vrste meritev, ki smo jih opravili. V primeru nadštevilnih opazovanj so koordinate določene na osnovi izravnave opazovanj po metodi najmanjših kvadratov. Rezultati izravnave so izravnane koordinate prosto izbranega stojišča z oceno natančnosti določitve položaja in srednja orientacijska smer s standardnim odklonom orientacijske smeri (Geoservis, 2009).

Za dobro določitev koordinat stojišča s prosto metodo je pomembno, da so dane točke enakomerno razporejene po celotnem horizontu in da so koordinate danih točk dobro določene.

### 3.4 Ocena natančnosti določitve položaja detajlne točke v izbranem koordinatnem sistemu

Ocena natančnosti polarne metode izmere je podobna kakor pri oceni natančnosti polarne metode zakoličevanja, le da na natančnost ne vpliva pogrešek centriranja. Na natančnost vplivajo naslednji vplivi (Breznikar, Koler, 2009):

- natančnost koordinat stojišča in navezovalnih točk  $\sigma_{xA}$ ,  $\sigma_{yA}$ ,  $\sigma_{xS}$ ,  $\sigma_{yS}$
- vpliv pogreška signaliziranja na merjen horizontalni kot  $\sigma_{Si}$
- vpliv pogreška viziranja  $\sigma_v$
- natančnost merjenja kota  $\sigma_\alpha$
- natančnost merjenja dolžin  $\sigma_d$



Slika 6: Grafični prikaz pogreška pri polarni metodi

Iz poglavja 3.2 dobimo enačbo za izračun koordinati detajlne točke:

$$x_P = x_A + d_2 * \cos(v_S^A + \alpha) \quad (6)$$

$$y_P = y_A + d_2 * \sin(v_S^A + \alpha) \quad (7)$$

Če hočemo ugotoviti, kaj vpliva na natančnost določitve koordinat merjene točke, je potrebno enačbi 6 in 7 parcialno odvajati. Dobimo naslednji enačbi:

$$\sigma_{xP}^2 = \sigma_{xA}^2 + (\cos(\alpha + v_S^A) * \sigma_{d_2})^2 + (-d_2 * \sin(\alpha + v_S^A) * \sigma_\alpha / \rho)^2 \quad (8)$$

$$\sigma_{yP}^2 = \sigma_{yA}^2 + (\sin(\alpha + v_S^A) * \sigma_{d_2})^2 + (d_2 * \cos(\alpha + v_S^A) * \sigma_\alpha / \rho)^2 \quad (9)$$

Upoštevamo še vpliv pogreška signaliziranja in viziranja:

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_e * d_2}{d_1 * \sqrt{2}} \quad (12)$$

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{ope}}{\Gamma} \quad (13)$$

kjer so:

$\sigma_e$  ... srednji pogrešek centriranja

$d_1$  ... dolžina od stojišča do navezovalne točke

$d_2$  ... dolžina, ki jo zakoličujemo

$\sigma_{ope}$  ... pogrešek operaterja, ki znaša za eno krožno lego 3,7 mgon(DIN 18724)

$\Gamma$  ... faktor povečave daljnogleda

Končno natančnost določitve položaja merjene detajlne točke izračunamo kot:

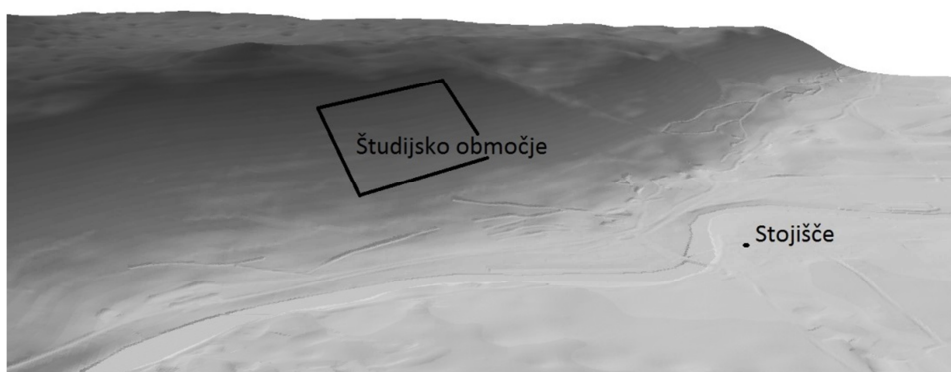
$$\sigma_P^2 = \sigma_{xP}^2 + \sigma_{yP}^2 + \sigma_{si}^2 + \sigma_v^2 \quad (14)$$

#### 4 OPIS TERENA

Območje, kjer se nahajajo nevarne skale, je zelo strmo in zahtevno ter nevarno za gibanje. Študijsko območje je poraščeno z gozdom in neprevozno. Pod gozdnim robom oz. spodnjim robom študijskega območja se nahajajo vikendi. Na sliki 8 je prikazan DMV terena. Pod gozdnim robom poteka cesta, ki se uporablja za dostop do vikendov (slika 9 polna črta). Gozdna pot pa je samo ena imenovana rimska pot (slika 9 črtkana črta), ki je prevozna le z gozdarskimi stroji.



Slika 7: Potek ceste ter gozdne poti (GURS)



Slika 8: 3D pogled terena

## 5 OPIS IZVEDBE MERITEV TER OBDELAVA PODATKOV

Meritve so potekale v dveh delovnih dnevih, 20. in 22. marca 2014. To je bil čas, ko gozd še ni ozelenel in je bila vidljivost skozi veje drevja mogoča. Stojišče instrumenta je bilo izbrano tako, da je bilo z njega možno izmeriti točke na celotnem študijskem območju (slika 7). Koordinate stojišča smo določili z metodo prostega stojišča z navezavo na točke 470Z, 470C, in 90223C (koordinate navezovalnih točk so zbrane v preglednici 2).

Preglednica2: Koordinate navezovalnih točk

Ime	X (m)	Y (m)	H (m)
470Z	505993,90	71372,79	251,92
470C	506149,59	71351,85	226,83
90223C	507088,21	72712,36	246,27
80375C	525043,98	68466,89	1261,48

Ekipo za delo na terenu so sestavljali še 4 člani, od katerih sta 2 iskala nevarne skale, tretji je opravljal delo figuranta, četrti pa označeval skale s številkami. Zaradi vej in gostega drevja je bilo viziranje na prizmo zelo težavno, zato smo si med delom pomagali z odsevnimi jopiči ter močno svetilko. Za komunikacijo smo uporabljali voki-toki-i.

Skale smo označevali z gozdarskim sprejem s šestmestno oznako. Prva številka predstavlja pas V-Z, na katerem leži skala, tretja številka predstavlja pas S-J, zadnje tri pa so zaporedna št. skale (slika 7). Tako je bilo zastavljeno pred terensko izmero, vendar zaradi nepoznavanja trenutnega položaja, nismo vedeli, v katerem prečnem pasu se nahaja skala. Zato smo pisali le prvo številko ter zadnje tri. Prva številka predstavlja en obhod. Naenkrat smo merili skale, ki so se nahajale na pasu širine 50 m, opravili pa smo 3 obhode.



Slika 9: Predvideni princip oštevilčevanja skal (GURS)



Slika 10: Prikaz položaja stojišča, ter dane točke (GURS)

Na sliki 8 je prikazano študijsko območje ter dane točke, ki so bile vključene v izmero prostega stojišča. Točka 470Z je stabilizirana na tleh, merili smo tudi dolžino, vse ostale točke so bili cerkveni zvoniki. Ker smo v izmero prostega stojišča vključili 4 dane točke, je bil položaj stojišča določen na osnovi nadštevilnih opazovanj z izravnavo.

### 5.1 Obdelava podatkov

Za obdelavo podatkov v programu ArcMap smo morali izvesti nekaj korakov predobdelave. Shematsko je ta postopek prikazan na sliki 9.



Slika 11: Predstavitev obdelave podatkov

Za obdelavo v programu ArcMap, ki prepoznava le datoteke s končnico \*.shp, smo morali datoteko s koordinatami točk zapisati v zahtevani obliki. Za izvedbo shp datoteke smo uporabili program GeoPro. V ArcMapu sem naredil prikaze območja, ter 3D analizo, ki mi je omogočila izris prečnih profilov terena. Za izris terena sem uporabil DMV5.

S 3D analizo sem lahko tudi prikazal približno pot krogle, če bi jo izpustili na določeni točki. S tem sem poskušal predstaviti potek gibanja skal, kar pa ni realno, saj je mnogo drugih faktorjev (drevesa, druge skale, nenatančnost dmv-ja...), ki vplivajo na samo pot skale.

## 5.2 Obdelava

Z obdelavo podatkov smo želeli dobiti prečne profile terena ter simulacijo gibanja skal. Zato smo obdelavo izvedli v dveh ločenih programih. Prečne profile ter vse prikaze smo izdelali v programu ArcMap. Simulacijo pa smo izvedli v spletni aplikaciji RockforNET.

V ArcMap-u smo za vir višin uporabili DMV5. Prečne profile terena smo izdelali z orodjem 3D Analytic. 3D Analytic je dodatek ArcMap-u, ki omogoča obdelavo s 3D podatki. S tem orodjem smo izdelali tudi približno pot skale. V programu ESRI smo z enostavnimi orodji, kot so *Clip*, *Draw...* izdelali načrte, ki služijo lažjemu razumevanju.

Drugo fazo obdelave smo izvedli v aplikaciji RockforNET. Najdemo jo na spletni strani ecorisq.org (<http://www.ecorisq.org/> pridobljeno 13.6.2014.). Stran je v lasti neprofitne organizacije s sedežem v Ženevi. Je globalno združenje, aktivno na področju naravnih nesreč. Njihov glavni cilj je spodbujanje trajne zaščite pred možnimi naravnimi nesrečami. To skušajo doseči s povezovanjem znanosti in prakse ter orodji za analizo različnih nesreč. Predsednik ter avtor orodij, ki jih ponuja stran, je Lucas Dorren. RockforNET je eno lažjih orodij za simulacijo in je na voljo vsem. To orodje poda delež varovanja gozda pred skalami. V splošnem program vzame gozd kot neko sito, skale pa so zrna. Na podlagi tega, kako gost je gozd ter kakšno je drevje v njem, nam izračuna faktor zaščite gozda pred padajočimi skalami. Orodje nam poda tudi nek teoretičen gozd, oz. v kolikšni meri bi morali zasajati drevesa, da bi nas ta bolje obvarovala.

## 6 PREDSTAVITEV REZULTATOV IN NJIHOVA ANALIZA

Predstavljena je ocena natančnosti določitve koordinat detajlnih točk, grafično prikazani prečni profil terena in posplošena pot skal.

### 6.1 Polarna metoda izmere

Natančnost meritev sem ocenil na osnovi enačb predstavljenih v poglavju 3.4. Natančnosti inštrumenta sem dobil iz tehničnih podatkov proizvajalca instrumenta in so zapisani v preglednici 1. Oceno natančnosti meritev nisem računal za vsako skalo posebej, ampak za povprečje vseh meritev. Tako smo izračunali povprečni kot med srednjo orientacijsko smerjo in smerni do izmerjenih skal  $\alpha = 28^{\circ}84'46,3''$ .

Za oceno natančnosti smo potrebovali še povprečno razdaljo  $d_2 = 829,881 \text{ m}$ , ki je izračunana kot povprečna vrednost vseh merjenih razdalj med stojiščem in detajlnimi točkami. Podobno sem izračunal tudi srednjo razdaljo do navezovalnih točk  $d_1 = 4606,46 \text{ m}$ .

Zaradi nadštevilnih opazovanj so koordinate stojišča določene z izravnavo. S tem je omogočena tudi ocena natančnosti določitve koordinat stojišča, ki znaša  $\sigma_{polozaj}^y = 12 \text{ mm}$  ter  $\sigma_{polozaj}^x = 15 \text{ mm}$ . Ta natančnost vpliva tudi na natančnost določitve koordinat merjenih skal. Natančnosti navezovalnih točk nisem imel, zato sem upošteval, da so kot dane točke, ki nimajo pogreškov.

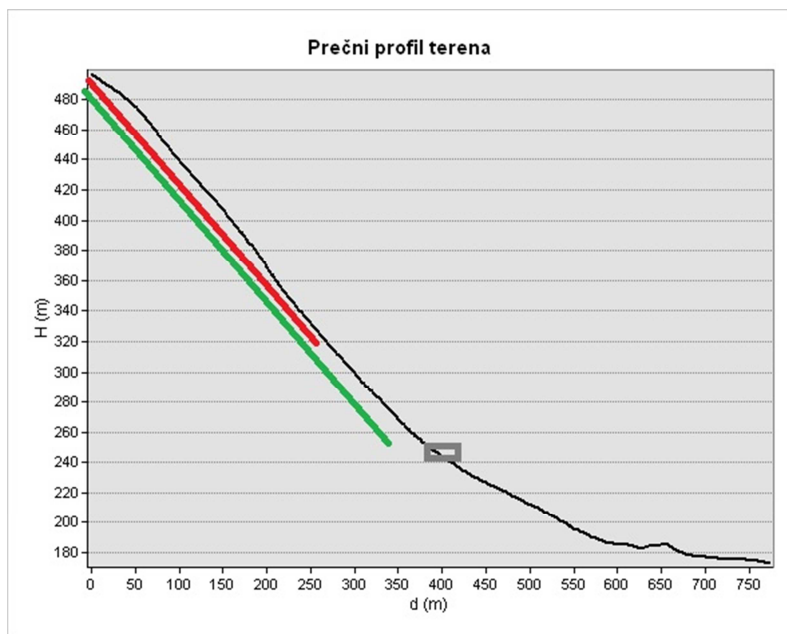
$$\sigma_p = 32.5 \text{ mm}$$

V največji meri na natančnost vpliva natančnost določitve stojišča, ki se direktno prenese na natančnost določitve koordinat merjenih detajlnih točk. Rezultat bi torej lahko izboljšali s krajšimi razdaljami do detajlov ter z boljše določenim položajem, saj navezovalne točke niso bile lepo razporejene po celotnem horizontu. Vsekakor bi bilo potrebno preveriti tudi kakovost danih točk. Sicer pa je rezultat, kjer je zahtevana natančnost nekaj 10 cm, zadovoljiv.



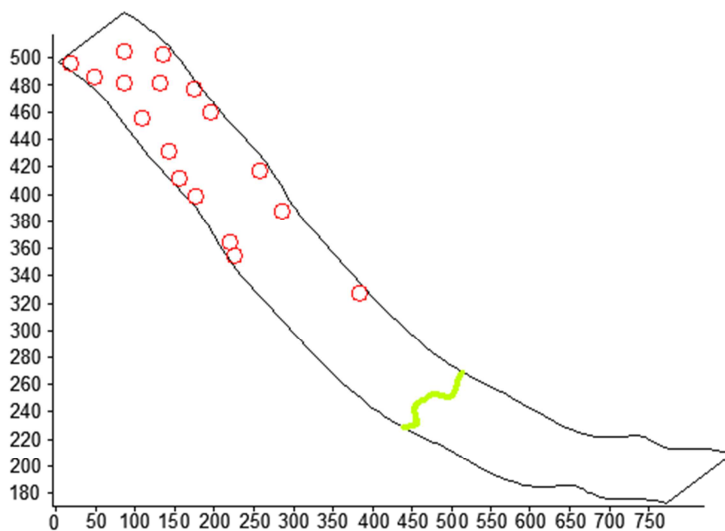
## 6.2 Analize rezultatov v programu ArcMap

Za lažjo predstavitev območja smo najprej izdelali prečne profile terena. Na sliki 13 je izris prečnega profila, ki ga poda, kot rezultata 3D analize, ArcMap. Največ skal se nahaja v pasu prikazanega z rdečo črto. Gozdni rob se konča na 350 m in je prikazan z zeleno črto. Najbližja asfaltirana cesta je prikazana s sivim kvadratom.



Slika 12: Prečni profil terena

Na sliki 14 je predstavljena gostota skal na študijskem območju. Predstavljen je pas širine 10 m, na njem pa so z rdečimi krogi nakazane skale. Iz slike lahko vidimo, da skale ležijo ena nad drugo in obstaja nevarnost verižne sprožitve skal, kar predstavlja še večjo nevarnost.



Slika 13: Prečni profil s skalami

Kot sem že omenil, je študijsko območje manjše, kot je dejansko območje, ki ogroža spodaj stanujoče. Na spodnji sliki so z belimi pikicami predstavljene vse izmerjene skale. Največ skal se nahaja na zgornji polovici hriba.



Slika 14: Prikaz položaja skal (GURS)

Na sliki 10 so prikazana območja, ki so najbolj ogrožena. Na področju številka 1 se nahajajo vikendi, ki so redno obiskani. Tam poseljenost ni tako gosta kakor nižje v samem centru Straže. Območje 2 je po mojem mnenju najbolj potrebno zaščiteno, saj se tam nahajajo bloki in je gostota poselitve sorazmerno visoka.



Slika 15: Prikaz ogroženih območji (GURS)

Slika 16 prikazuje pot nekaterih skal. Ta prikaz poti skal je zelo približen, saj ArcMap na podlagi DMV-ja izračuna pot krogle in ne omogoča izračuna poti dejanske skale. Slika prikazuje potek gibanja krogle, če bi jo izpustili na določeni točki. ArcMap v tem primeru ne upošteva hrapavosti tal, obliko, maso skale ter dreves, ki bi ovirale kroglo. Lahko rečemo, da za svoj izračun vzame idealne pogoje in prikaže najslabši možni scenarij.



Slika 16: Približen potek skal (GURS)

### 6.3 Analiza rezultatov programa RockforNET

S to enostavno spletno aplikacijo sem poskušal oceniti stopnjo varovanja, ki jo ponuja gozd. Aplikacija računa stopnjo ogroženosti območja na podlagi statističnih podatkov. V aplikacijo sem vnesel sledeče dejavnike:

- dimenzije skal,
- gostoto skal,
- obliko skal (diskasta, elipsoidna, trikotniška, koničasta),
- povprečni naklon brežine,
- višino pečine,
- dolžina pobočja pokritega z gozdom,
- dolžina pobočja, ki ni pokrita z gozdom,
- gostota dreves na ha,
- povprečni premer dreves merjen na višini prsi,
- podatki o vrsti gozda (odstotek iglastega ali listnatega gozda).

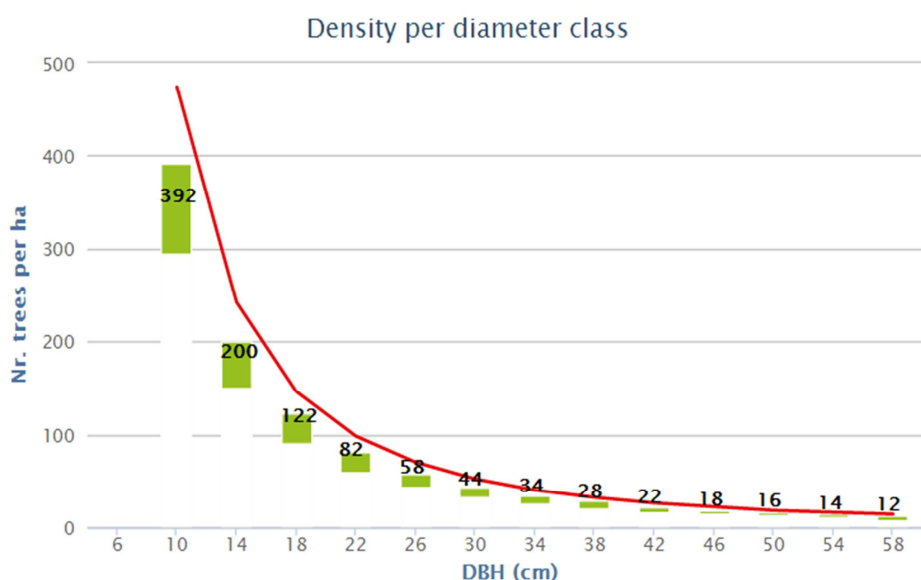
Za dimenzijo skal sem vnesel največjo skalo, ki je bila ocenjena na 1,5 x 1,5 x 1,5 m (slika 17). Skala je bila oblike elipse, njena zgradba pa je apnenčasta. Povprečna gostota apnenca znaša  $2600 \text{ kgm}^{-3}$ .



Slika 17: Skala

Srednjo vrednost naklona sem izračunal iz prečnih profilov pobočja, ki znaša 45°. Višina pečine je 0 m, ker so v mojem primeru bile skale že na tleh in v območju ni pečin. Pobočje, ki je poraščeno z gozdom, je dolgo 400 m, neporaščeni nimam. Od logarja, ki deluje na našem študijskem območju, sem dobil podatek: o povprečni poraščenosti (300 dreves na ha, upoštevana so drevesa debelejša od 8 cm, merjena na višini prsi); in povprečno debelino dreves (okoli 30 cm). Straški hrib je poraščen v večini z bukvami, sem ter tja se najde tudi kakšen iglavc in drugo listnato drevo. V analizi je upoštevano, da je na študijskem območju 70% bukev, 20% drugih listnatih dreves ter 10% iglavcev.

Spletna aplikacija poda, v kolikšni meri nas gozd ščiti pred nevarnostjo. Na študijskem območju je ta odstotek med 50% in 75% (slika 12). Ocenjujemo, da gozd relativno malo ščiti in bi z zaraščanjem lahko odstotek zaščite dvignili. Aplikacija podaja, da bi morala biti povprečna debelina dreves (na višini prsi) vsaj 43 cm. Rezultat bi se izboljšal tudi, če bi se povečala gostota dreves na ha (glej sliko 18).



Slika 18: Graf dejanske in teoretično boljše poraslosti (Berger, Dorren, 2013)

Na zgornjem grafu je z zeleno prikazana trenutna poraslost, z rdečo pa teoretična, ki bi dvignila procent varnosti. Za boljšo varnost bi morale biti na območju povprečno na ha 1040 dreves debeline med 8 in 12 cm, 650 dreves debeline 12-24 cm, 250 dreves debeline 24-36 cm ter 110 dreves debelejših od 36 cm. Takšna skala bi imela ob koncu 1900 kJ energije.

## 7 ZAKLJUČEK

Skale smo izmerili kot detaljne točke po polarni metodi izmere. Dosegli smo zadovoljivo natančnost določitve položaja skal. Zahtevana natančnost je bila nekje 10 cm, rezultat je bil sicer veliko boljši ( $\sigma^{pol} = 32.5mm$ ). Ocena natančnosti se nanaša na posneto detaljno točko in ne na masni center skale, saj nismo točno vedeli, kje naj definiramo masni center posamezne skale. Glavni cilj je bil določiti položaj skal, tako da se jih v gozdu da najti, ker so skale velike in dobro označene se jih zlahka opazi na terenu.

Za lažje predstavitev problema smo uporabili ArcMap, kjer smo izdelali različne prikaze ter profile terena. Iz slike 14 je moč razbrati, da gostota skal po pobočju narašča, razberemo lahko tudi glavne vire skalovja oz. manjša območja, kjer je skal največ. S tem prikazom lahko poiščemo glavne vire skalovja in zavarujemo skale že v samem začetku. Poleg prikaza položaja skal smo izdelali tudi prečne profile, s katerimi smo poskušali predstaviti gostoto tega skalovja na bolj nazoren način. ArcMap tudi omogoča prikaz poti krogle po pobočju, vendar je ta prikaz zelo vprašljiv in ni primeren za nadaljnjo analizo.

Analiza RockforNET pa je pokazala, da bi se s pogozdovanjem dalo območje še veliko bolj zavarovati pred padajočim kamenjem. Ta način bi bil po mojem mnenju najbolj primeren. S končno doseženo energijo kamenja, ki znaša 1900 kJ, bi lahko območje zaščitil tudi s podajno lovilnimi ograjami (slika 19). To je dražja rešitev, je pa tudi bolj učinkovita, v našem primeru bi bile zadovoljive mreže z vzdržljivostjo od 100 kJ do 3000 kJ. Tretja možnost je še prekrivanje skal z mrežami že ob izvoru in jim tako onemogočimo gibanje. Ta rešitev je po mojem mnenju najdražja, saj je potrebno poiskati vse izvore skalovja ter jih zaščiti. Ti izvori niso tako majhni in bi zanj potrebovali veliko površino mrež, da bi jih zaščitili.



Slika 19: Podajno lovilna ograja (rejda.si, 2014)

## VIRI

Berdajs A. Ulbl M. 2010. Inženirska geodezija. Zavod IRC, Ljubljana: 97 str.

Breznikar A. Koler B. 2009. Inženirska geodezija. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 68 str. [http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni\\_izpiti/msgeo/In\\_\\_enirska\\_geodezija\\_2009.pdf](http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/In__enirska_geodezija_2009.pdf) (Pridobljeno 16. 7. 2014.)

Koler, B. 2014. Prosojnice pri predmetu Geodezija v inženirstvu I.

Rebernik J. 2013. Proučevanje vpliva padajočega kamenja v varovalnem gozdu na Ljubelju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Rebernik): 78 str.

Štampe S. 2006. Analiza nevarnosti padajočega kamenja v vasi Brezno. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Štampe): 86 str.

Geoservis 2009. Leica FlexLine. Uporabna navodila: 58 str.

Rejda.si, 2014.

<http://www.rejda.si/index.php/si/> (Pridobljeno 10. 7. 2014.)