

# Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Preučevanje realnih vrtač</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Analitično modeliranje vrtač</b>	<b>12</b>
3.1	Elastomehanični model . . . . .	12
3.2	Boussinesqov približek . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Numerično modeliranje vrtač</b>	<b>13</b>
4.1	Model naključnih korozijskih točk . . . . .	13
4.2	Naključne korozijске točke na realni kamnini . . . . .	13
4.3	Preizkus modela korozijskih točk na geološki karti . . . . .	13

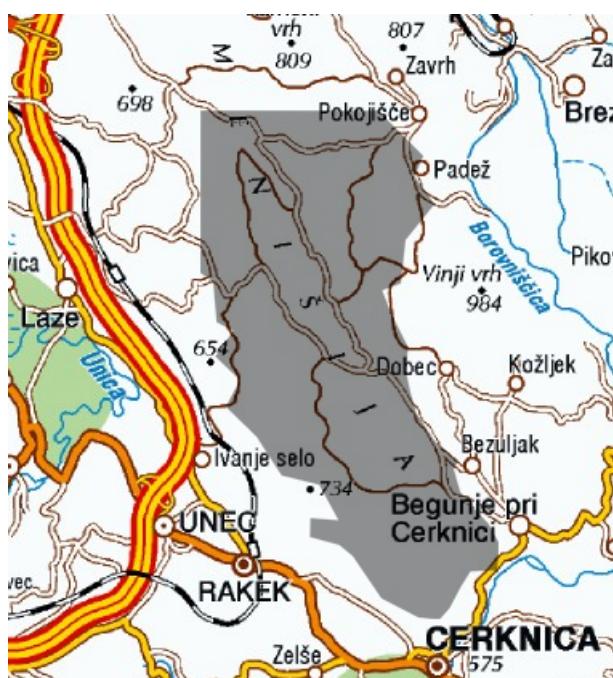
# Poglavlje 1

## Uvod

Namen tega dela je na podlagi digitalnega modela reliefa dokumentirati in statistično preučiti velik vzorec realnih kraških vrtač na slovenskem Dinarškem krasu, predlagati analitično funkcijo, ki bi opisala idealno vrtačo, ter na podlagi le-te poiskusiti modelirati naravne procese, ki povzročajo nastanek in obliko vrtač.

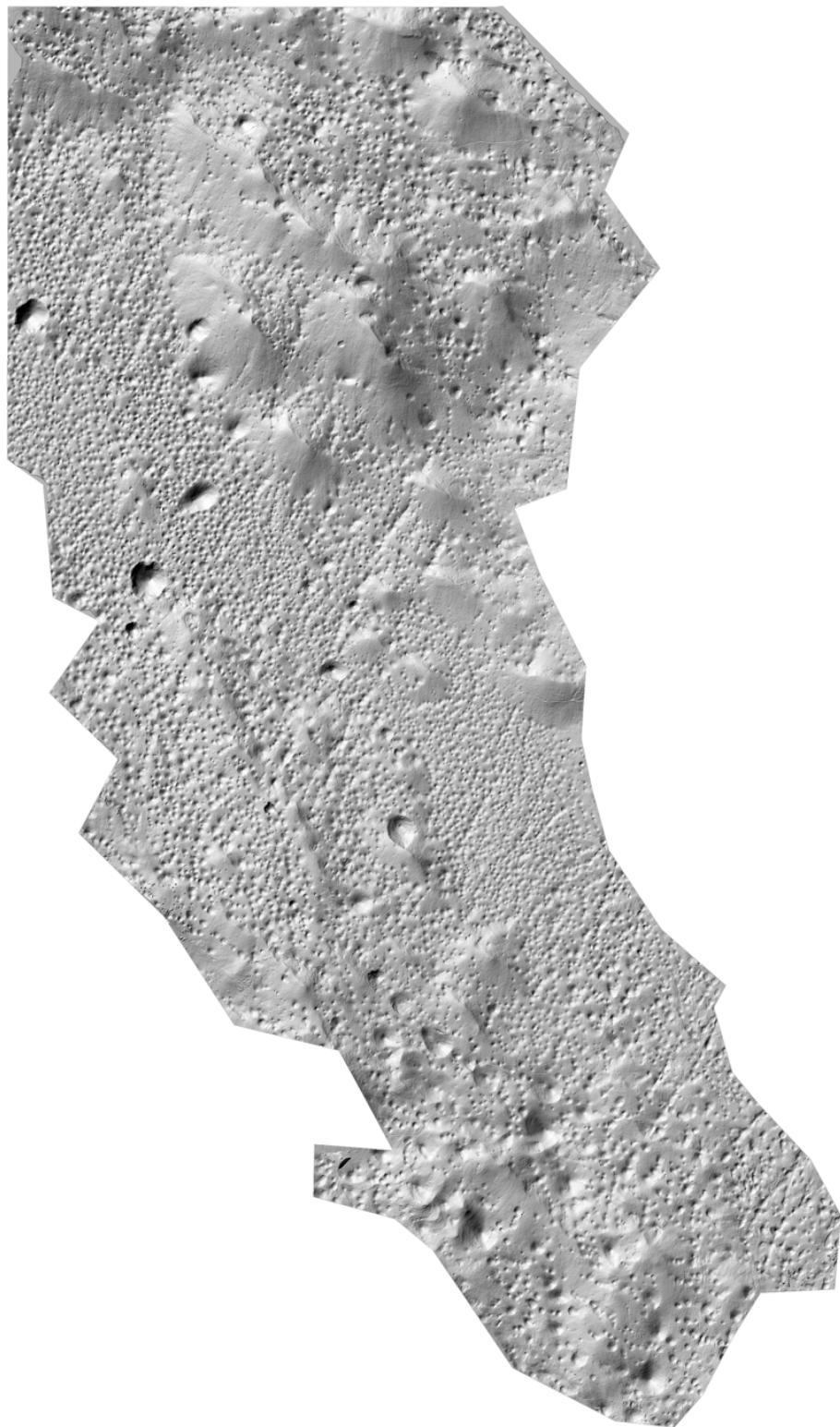
Vrtače so zaobljene lijakaste globeli, globine nekaj metrov in premera nekaj deset metrov. Obstaja več geomorfoloških modelov njihovega nastanka.

Za študij realnih vrtač uporabimo digitalni model reliefa Menisije (Slika 1.1) ločljivosti 1m, ki omogoča zanesljivo identifikacijo in študij vrtačter udornic (Slika 1.2).



Slika 1.1: Menišija,  $60\text{km}^2$  veliko območje med Cerknico in Logatcem vsebuje nekaj tisoč vrtač in več udornic in predstavlja približno odstotek slovenskega kraša. Vir: Geopedia, Geodetski inštitut Slovenije

odstotek Površje Menišije sestavljajo plasti krednega apnenca (starost nastanka 135-65 miljonov let), ki so na površje prišli zaradi odgodkov povezanih s podrivanjem Adriatske plošče (17-7 miljonov let). Menišija je bila uravnano kraško polje do 3.5 miljona let pred sedanjoštojo, ko se je zaradi tektonske aktivnosti dvignila nad okolico in so bili vzpostavljeni hidrološki pogoji za nastanek vrtač. Hitrost zniževanja (denudacije) kraškega površja se ocenjuje na 20-50 m / miljon let, torej se je površje Menišije v času od nastanka znižalo za 70-175m, hkrati pa so se v njem pojavile vrtače, udornice in brezstrope jame. (Citati: Vrabec, Ford-Williams, Gams)

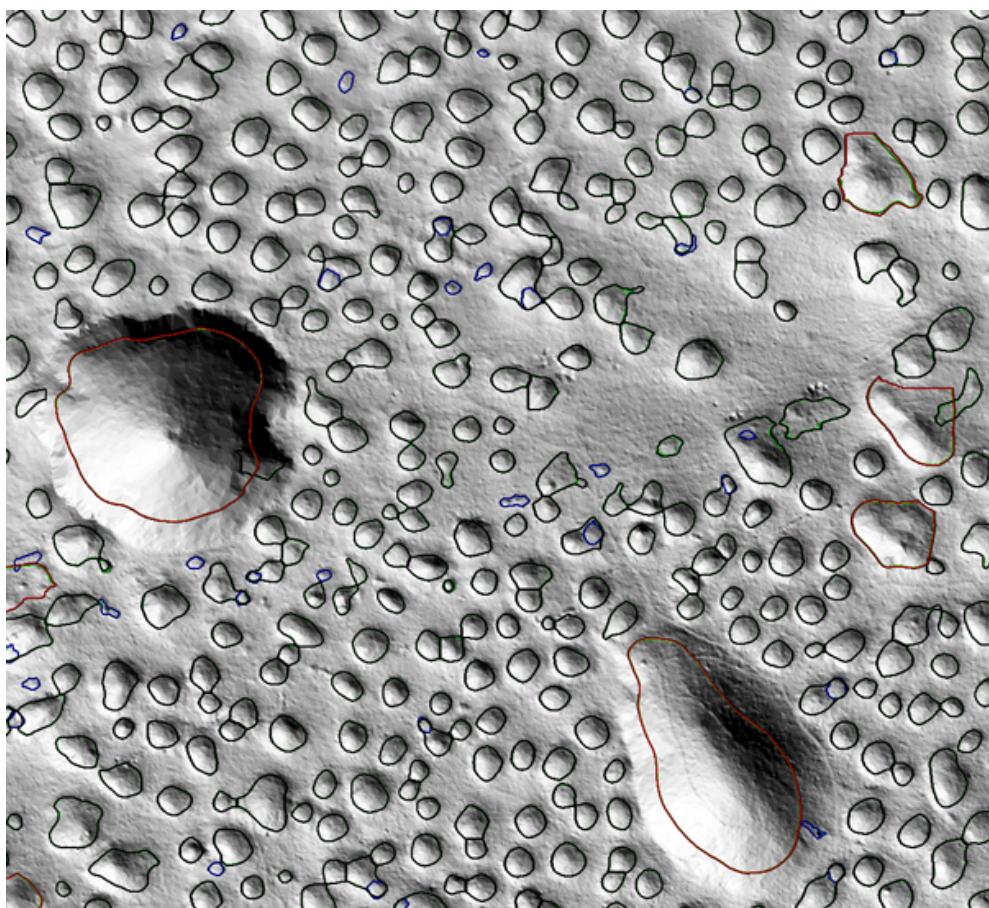


Slika 1.2: Senčen 3D relief dela Menišije uporabljen v tej nalogi. Vir: Geodetski inštitut Slovenije [Kob] po metodi [KPO<sup>+</sup>07].

## Poglavlje 2

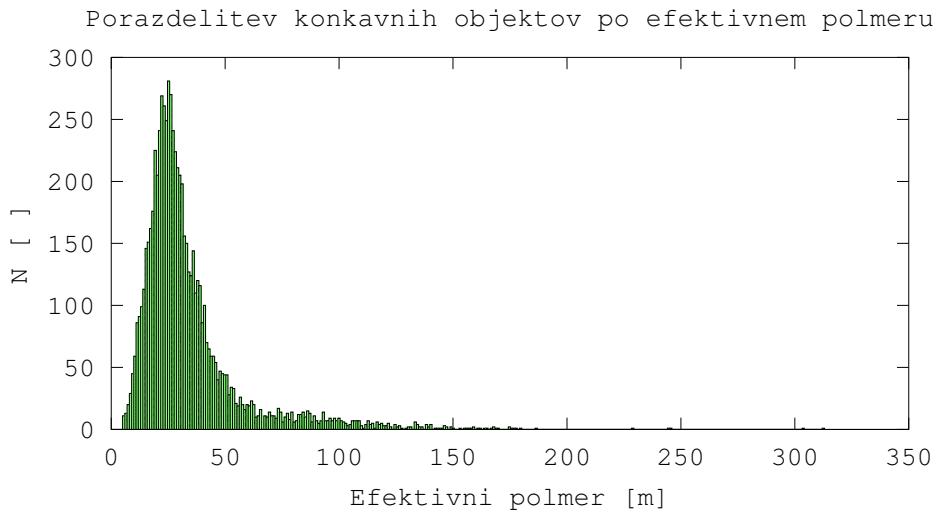
### Preučevanje realnih vrtač

Identifikacijo velike količine se lotimo s segmentacijo po konkavnosti, kot predлага [DY13]. Točke, ki so nižje od svoje okolice imajo nižji indeks konkavnosti, točke višje od svoje okolice pa višjega. Pri tem je pomembna tudi pametna izbiro okolice - od nje je odvisno kako velike konkavnosti bomo zaznali. Končno zavrzemo konveksne dele površja in konkavne odberemo izberemo kot vrtače. Rezultat vidimo na sliki 2.1. Opaziti velja, da izbrana metoda segmetacije del robov konkavnih objektov klasificira kot konkavne in zato podceneni radij. Za naše namene to ni pretirano moteče, saj to podcenitev zlahka kompenziramo kasneje.



Slika 2.1: Del od 8687 zaznanih konkavnih objektov na območju Menišije.  
Poleg vrtač, so na sliki vidne tudi udornice.

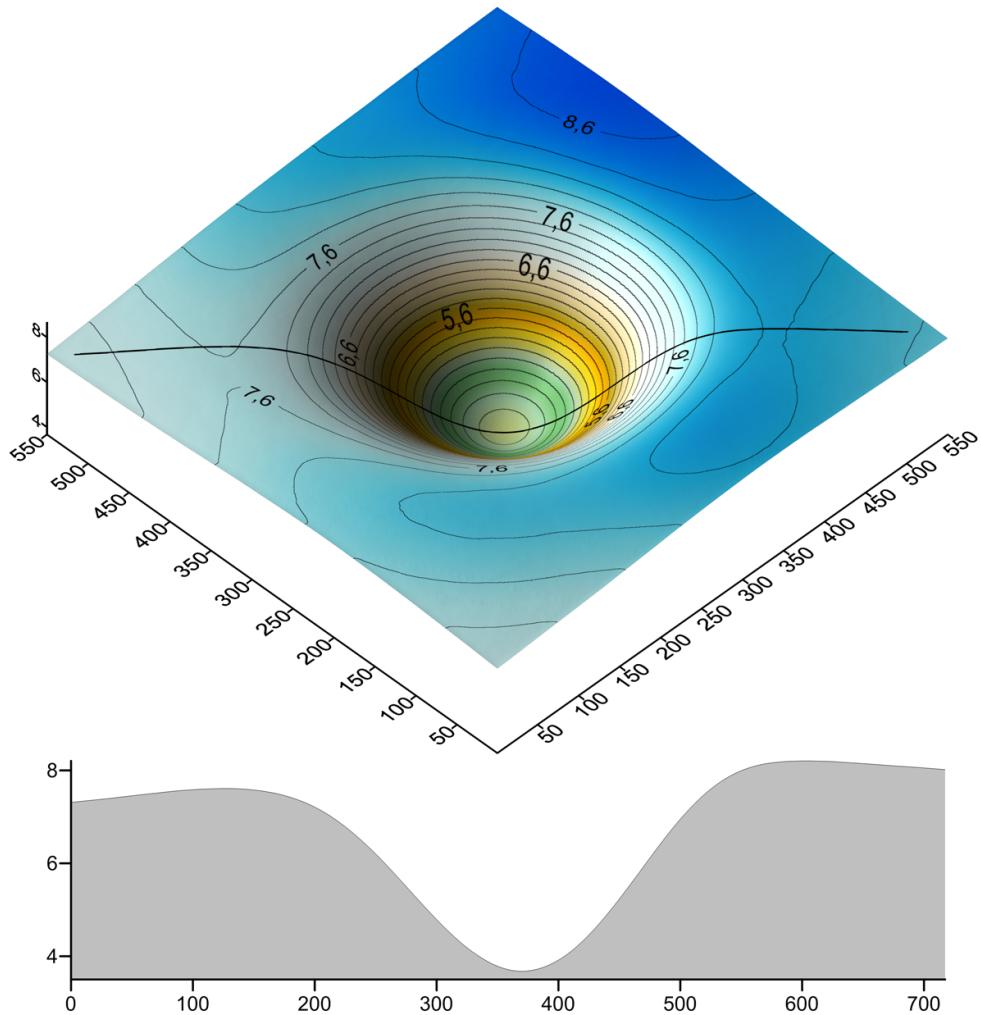
Najdeni konkavni objekti imajo porazdelitev efektivnih polmerov ( $r_{eff} = \frac{\sqrt{A_{eff}}}{\pi}$ ),  
kot vidno na sliki 2.2.



Slika 2.2: Polmeri konkavnih objektov v Menišiji, vrh pade v razred od 16m do 17m

To daje slutiti, da obstaja ravnovesna velikost vrtače, h kateri konvergirajo vse konkavne oblike v območju ne glede na njihov nastanek. To nas napelje na misel, da obstaja tudi ravnovesna oblika vrtače, ki bi se pojavila na idealni podlagi, če bi preteklo dovolj časa.

Posamezne realne vrtače zaradi lokalnih pogojev in zgodovine razvoja reliefa niso simetrične, a zdi se da so si med seboj podobne. Da bi ugotovili idealno obliko vrtače izračunamo povprečje velikega števila realnih vrtač. Uporabimo dva pristopa - pri prvem (Slika 2.3) vrtače različnih velikosti raztegnemo, pri drugem (Slika 2.4) pa jih razdelimo v velikostne razrede in jih povprečimo znotraj le-teh.

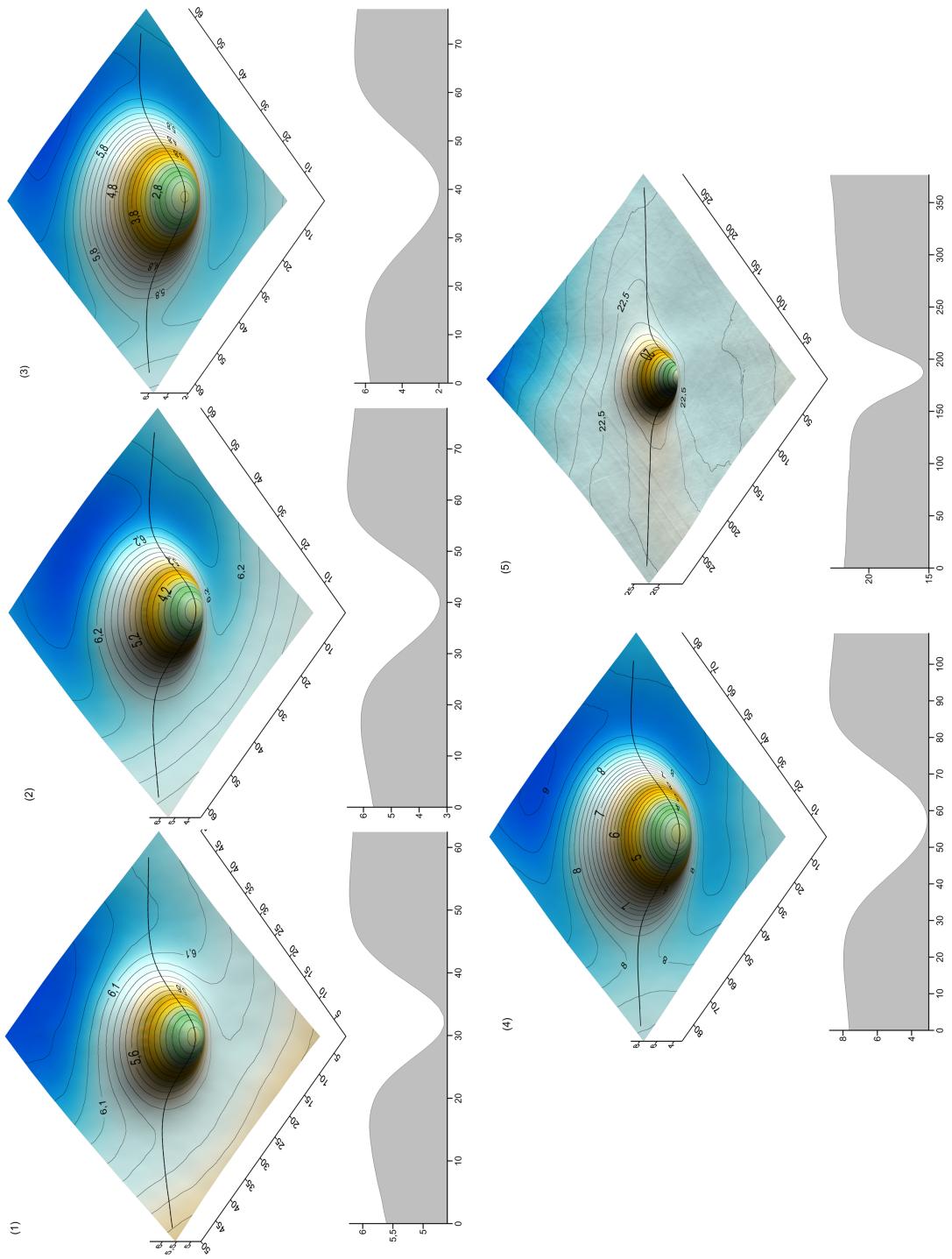


Slika 2.3: Povprečje 8687 realnih vrtač z območja Menišije, pred povprečjem so bile vrtače raztegnjene na velikost največje v setu.

Na prvi pogled se zdijo dobljeni profili gaussove oblike (2.1), kar ne zbuja nujno zaupanja v metodo. Zdi pa se, da so oblike simetrične po kotu, torej lahko problem reduciramo na študij njihovih profilov.

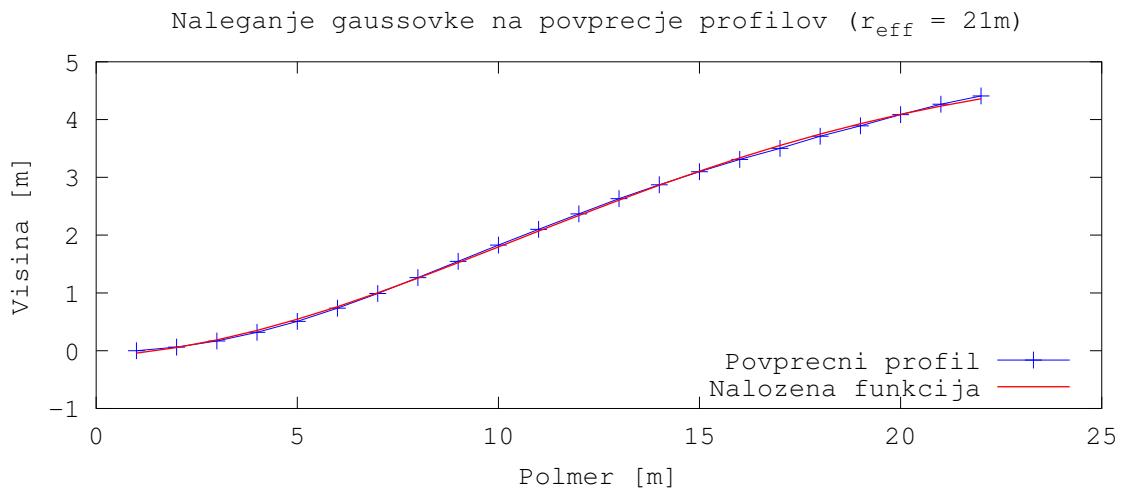
$$f(x, y) = A \cdot e^{-\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2}} + B \cdot x + C \cdot y + D \quad (2.1)$$

Rezultat uporabimo tako da gaussovo funkcijo nalegamo na realne vrtače in tako dobimo dobre lokacije njihovih najnižjih točk, ter njihove  $\sigma_x$  in  $\sigma_y$ .



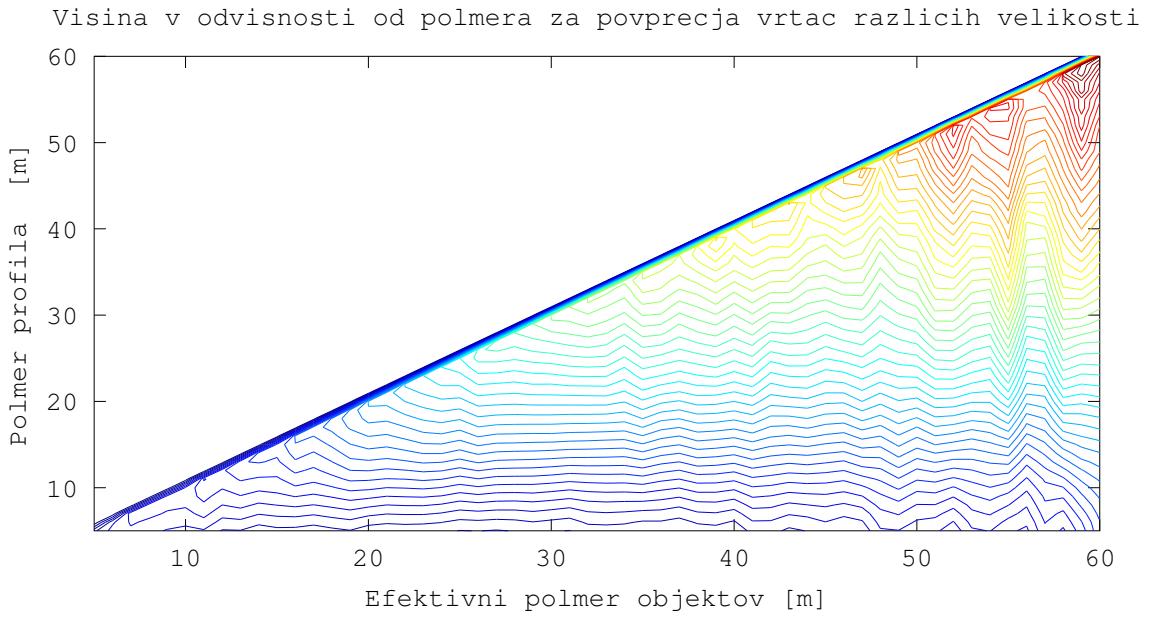
Slika 2.4: Vrtače po velikosti razdelimo v pet razredov (najmanjša petina gre v prvi razred, itn.), in jih znotraj razredov povprečimo.

Z lokacijami najnižjih točk lahko izračunamo povprečne profile vrtač ( $z(r)$ ), ki imajo enake efektivne polmere, naprimer: Slika 2.5



Slika 2.5: Povprecje profilov vrtač z efektivnimi polmeri med 21,5m in 22,5m.  
Prilegamo gaussovko (2.2).

Če pa vse profile združimo v eno sliko, tako da polmer postavimo v smeri osi  $y$  in efektivni polmer v smeri  $x$  osi, dobimo sledečo sliko 2.6



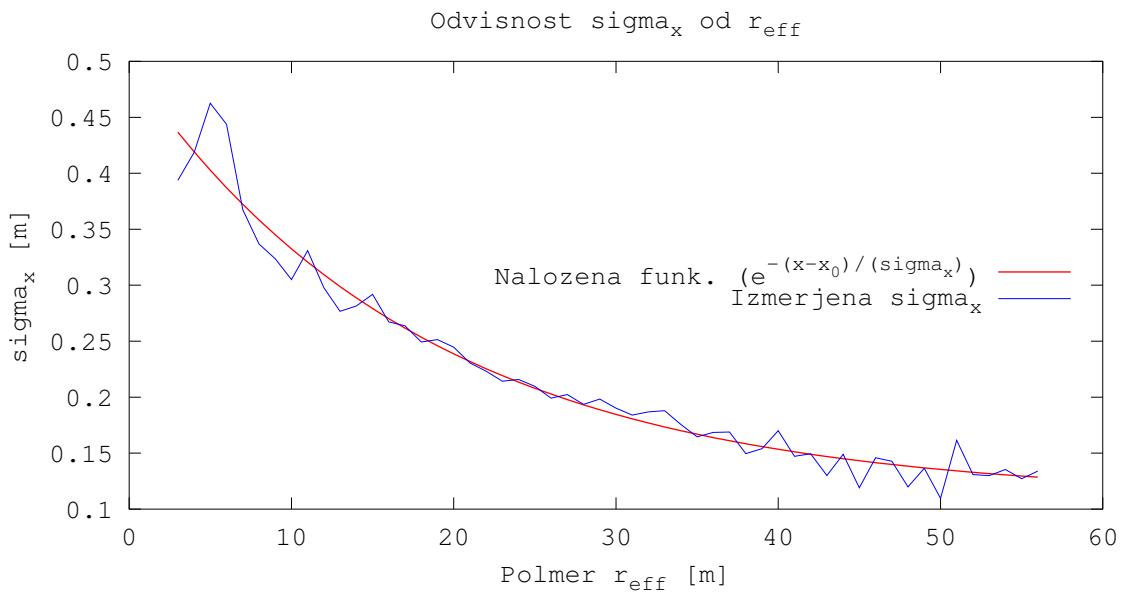
Slika 2.6: Odvisnost profila vrtace od velikosti vrtace

Zdi se torej, da so vrtače enake oblike ne glede na velikost in to po celi njihovi površini, le v okoliško površje se iztečejo prej ali kasneje, a zopet na podoben način. Če na dobljene profile ponovno nalegamo gaussovko (2.2) in izrišemo odvisnost  $\sigma_x(r_{eff})$  vidimo, da to ne drži (Slika 2.7).

$$f(r) = A \cdot e^{-\frac{(r-r_0)^2}{\sigma^2}} + C \quad (2.2)$$

Odvisnost  $\sigma_x(r_{eff})$  je iz naših podatkov težko določiti, zaenkrat poskusimo z eksponentno funkcijo (2.3)

$$\sigma(r_{eff}) = A \cdot e^{-\frac{r_{eff} - r_{eff0}}{\sigma_\sigma}} + C \quad (2.3)$$



Slika 2.7:  $\sigma$  s polmerom pada, torej večje kot so vrtače, bolj položna so njihova pobočja.

Na podlagi teh podatkov bi težko skleniti, da (2.2) opiše profil idealne vrtače, a ujemanje je dobro in ga bomo uporabili za analitično modeliranje.

# Poglavlje 3

## Analitično modeliranje vrtač

### 3.1 Elastomehanični model

### 3.2 Boussinesqov približek

## Poglavlje 4

# Numerično modeliranje vrtač

- 4.1 Model naključnih korozijskih točk
- 4.2 Naključne korozijске točke na realni kamini
- 4.3 Preizkus modela korozijskih točk na geološki karti

# Literatura

- [DY13] Daniel H. Doctor and John A. Young. An evaluation of automated gis tools for delineating karst sinkholes and closed depressions from 1-meter lidar-derived digital elevation data. *Proceedings of the Thirteenth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*, pages 449–458, 2013.
- [Kob] Andrej Kobler. Lidarski digitalni model reliefsa menišije. Technical report, Gozdarski inštitut Slovenije.
- [KPO<sup>+</sup>07] Andrej Kobler, Norbert Pfeifer, Peter Ogrinc, Ljupčo Todorovski, Krištof Oštir, and Sašo Džeroski. Repetitive interpolation: A robust algorithm for dtm generation from aerial laser scanner data in forested terrain. *Remote Sensing of Environment*, 2007.