

Michaela Nováková¹, Jozef Šupinský¹, Michal Gallay¹

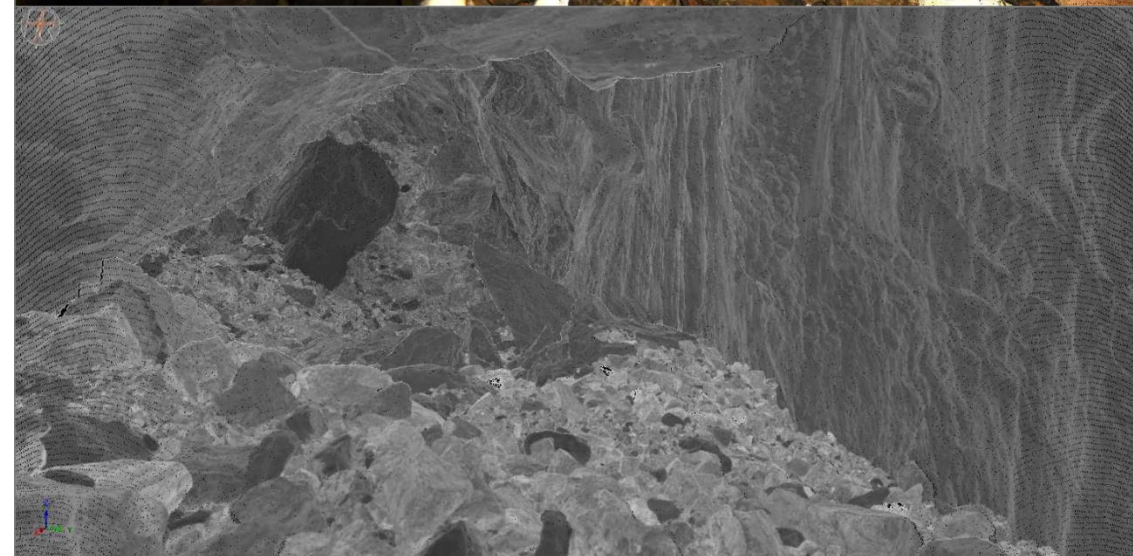
Eric Ferré², Patrick Sorriaux³

Korekcia intenzity odrazu získanej pozemným laserovým skenovaním a jej využitie pri mapovaní jaskýň



geografia.science.upjs.sk
michaela.novakova@upjs.sk

- Laserové skenovanie je využívané pre získavanie 3D mračien bodov so zapísanými XYZ súradnicami
- Doplnkové atribúty v závislosti od typu skenera (intenzita, deviácia,...)
- Intenzita odrazeného laserového lúča vyjadruje číselnú reprezentáciu sily odrazeného signálu zaznamenanú skenerom
- Závisí hlavne od odrazivosti povrchu, zároveň je ovplyvnená viacerými faktormi
- Pre využitie intenzity odrazu laserového lúča na odvodenie odrazivosti je potrebné eliminovať vplyv faktorov nesúvisiacich s materiálom tvoriacim skenovaný objekt
- Cieľom je analyzovať možnosti korekcie intenzity odrazu pre jaskynné prostredie a zároveň poukázať na možnosti využitia doplnkového atribútu zaznamenaného pozemným laserovým skenovaním v jaskynnom prostredí



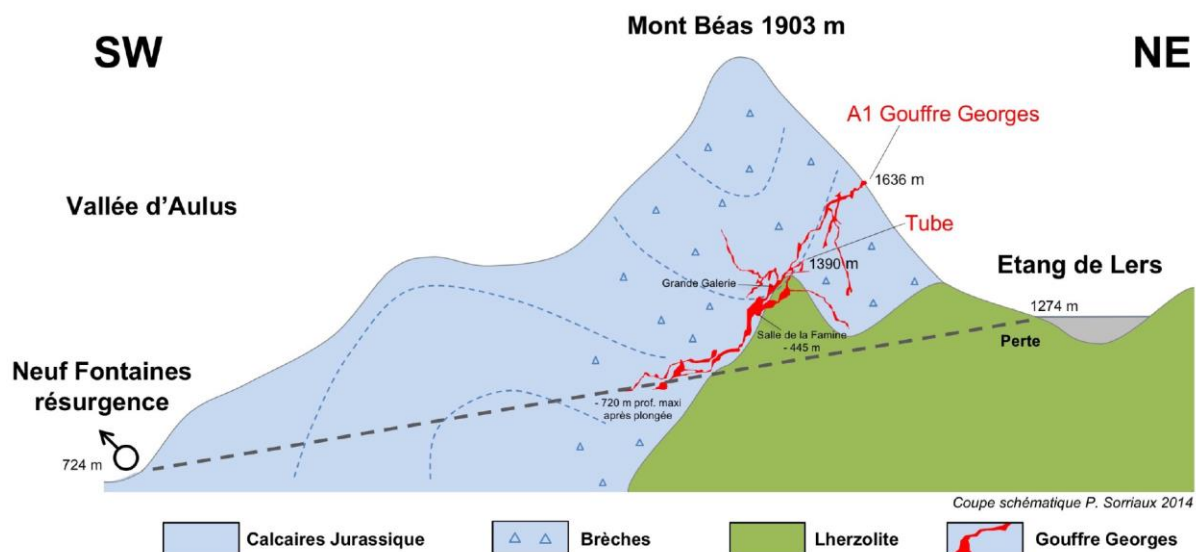
Zájmové územie - Gouffre Georges



Kartografická spoločnosť Slovenskej republiky

GeoKarto 2020

10. – 11. september 2020, Košice

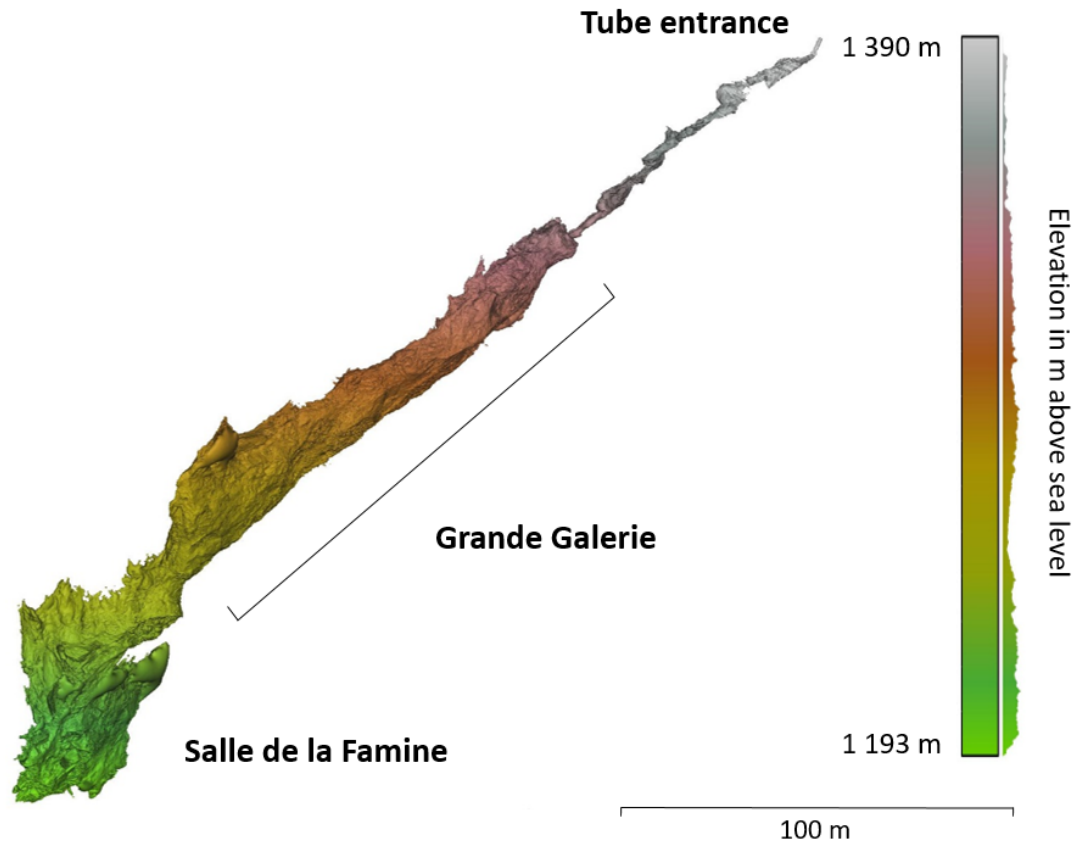


- ▶ Expedícia pod vedením prof. Erica C. Ferré (USA) s podporou:
 - ▶ členov francúzskeho speleologického klubu Spéléo Club du Haut Sabarthez so sídlom v Tarascon sur Ariège
 - ▶ tímu geológov z Université de Rennes a Université Paul Sabatier v Toulouse
 - ▶ tímu z ÚGE PF UPJŠ v Košiciach v zložení doc. Mgr. Michal Gallay, PhD. a Mgr. Jozef Šupinský

- ▶ Jaskyňa Gouffre Georges sa nachádza vo francúzskych Pyrenejách pod Mont Béas v departemente Ariège. Dosahuje dĺžku 3 490 m a hĺbku 721 m a je prístupná cez 7 vchodov
- ▶ Časť jaskyne bola vytvorená na kontakte mramoru a lherzolitú

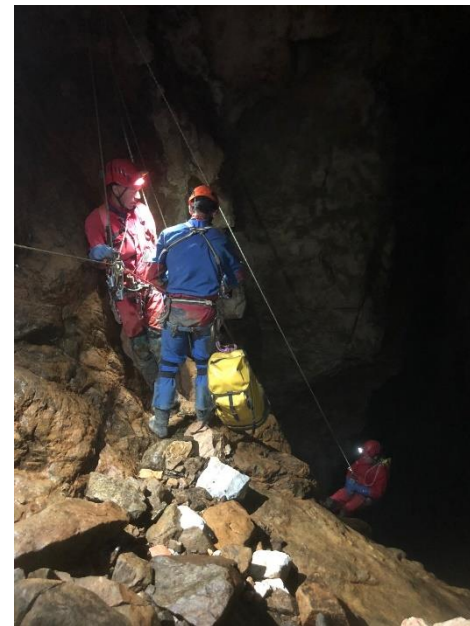


Záujmové územie - Gouffre Georges



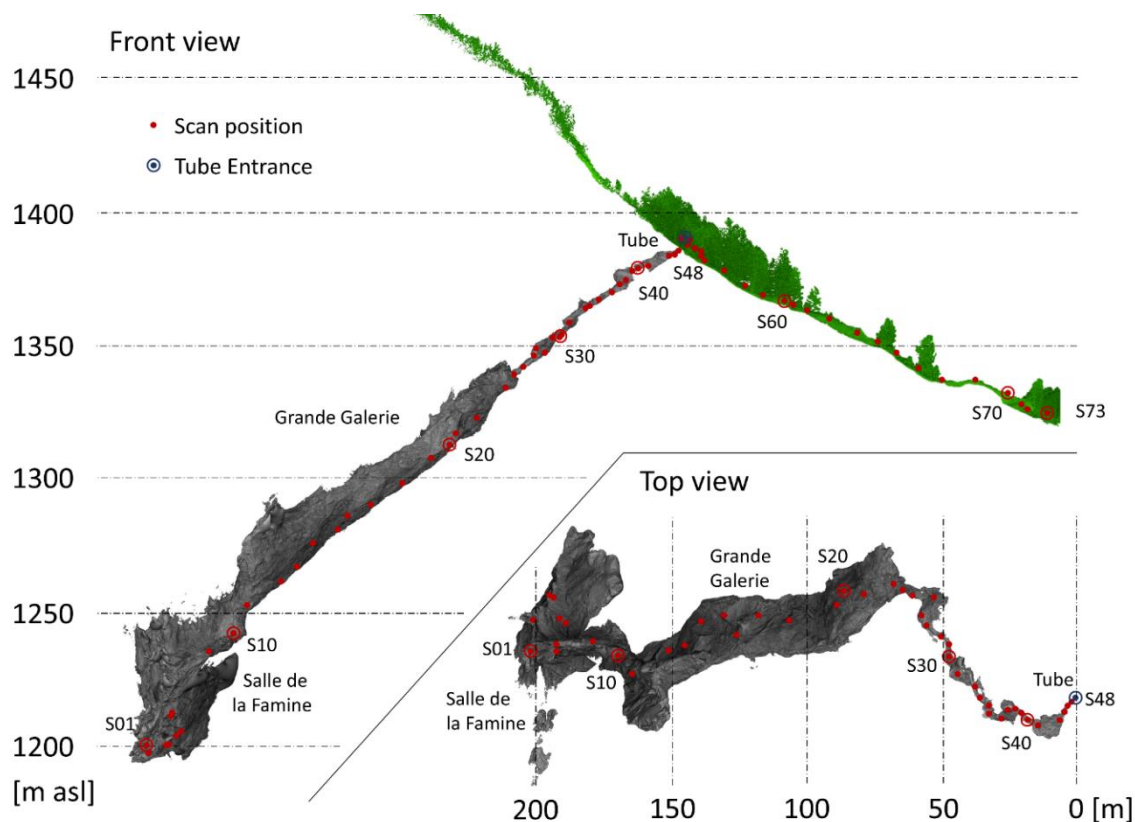
- ▶ Expedícia pod vedením prof. Erica C. Ferré (USA) s podporou:
 - ▶ členov francúzskeho speleologického klubu Spéléo Club du Haut Sabarthez so sídlom v Tarascon sur Ariège
 - ▶ tímu geológov z Université de Rennes a Université Paul Sabatier v Toulouse
 - ▶ tímu z ÚGE PF UPJŠ v Košiciach v zložení doc. Mgr. Michal Gallay, PhD. a Mgr. Jozef Šupinský

- ▶ Vybranú časť záujmového územia predstavujú siene Grande Galerie a Salle de la Famine, v ktorých je pozorovateľný výrazný kontakt hornín mramoru a lherzolitu
- ▶ Prístup cez vchod Tube vo výške 1 390 m



Zber a spracovanie dát

- ▶ Pozemný laserový skener RIEGL VZ-1000
- ▶ 47 skenovacích pozícií - 655 934 737 bodov
- ▶ Presnosť registrácie – 6,7 mm
- ▶ Filtrácia dát - do 2,5 m, viaceré odrazy, vysoká deviácia



$$P_r = \frac{P_t D_r^2 \rho_\lambda \cos(\alpha)}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm}$$

Hlavné ovplyvňujúce faktory

- **Odrazivosť povrchu ρ_λ**
- **Parametre zariadenia**
- **Geometria skenovania**
 1. Vzdialenosť medzi skenerom a objektom **R**
 2. Uhol dopadu laserového lúča **α**
- **Atmosférické oslabenie η_{atm}**

$$P_r = \frac{P_t D_r^2 \rho_\lambda \cos(\alpha)}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm}$$

Hlavné ovplyvňujúce faktory

- **Odrazivosť povrchu ρ_λ**
- **Parametre zariadenia**
- **Geometria skenovania**
 1. Vzdialenosť medzi skenerom a objektom
 - Hodnoty intenzity klesajú s rastúcou vzdialenosťou, nie však lineárne a zhodne pre všetky typy skenerov
 2. Uhol dopadu laserového lúča α
- **Atmosférické oslabenie η_{atm}**

$$P_r = \frac{P_t D_r^2 \rho_\lambda \cos(\alpha)}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm}$$

Hlavné ovplyvňujúce faktory

- **Odrazivosť povrchu ρ_λ**
- **Parametre zariadenia**
- **Geometria skenovania**
 1. Vzdialenosť medzi skenerom a objektom
 - Hodnoty intenzity klesajú s rastúcou vzdialenosťou, nie však lineárne a zhodne pre všetky typy skenerov
 2. Uhol dopadu laserového lúča α
 - Lambertov zákon $\cos(\alpha)$ nezohľadňuje drsnosť a nepravidelnosť povrchu
- **Atmosférické oslabenie η_{atm}**

$$P_r = \frac{P_t D_r^2 \rho_\lambda \cos(\alpha)}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm}$$

Hlavné ovplyvňujúce faktory

- **Odrazivosť povrchu ρ_λ**
- **Parametre zariadenia**
- **Geometria skenovania**
 1. Vzdialenosť medzi skenerom a objektom
 - Hodnoty intenzity klesajú s rastúcou vzdialenosťou, nie však lineárne a zhodne pre všetky typy skenerov
 2. Uhol dopadu laserového lúča α
 - Lambertov zákon $\cos(\alpha)$ nezohľadňuje drsnosť a nepravidelnosť povrchu
- **Atmosférické oslabenie η_{atm}**
 - Pre TLS považované za zanedbateľné

$$P_r = \frac{P_t D_r^2 \rho_\lambda \cos(\alpha)}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm}$$

$$I \propto P_r \propto \rho_\lambda R^{-2} \cos(\alpha) \eta_{atm}$$

Hlavné ovplyvňujúce faktory

- **Odrazivosť povrchu ρ_λ**
- **Parametre zariadenia**
- **Geometria skenovania**
 1. Vzdialenosť medzi skenerom a objektom
 - Hodnoty intenzity klesajú s rastúcou vzdialenosťou, nie však lineárne a zhodne pre všetky typy skenerov
 2. Uhol dopadu laserového lúča α
 - Lambertov zákon $\cos(\alpha)$ nezohľadňuje drsnosť a nepravidelnosť povrchu
- **Atmosférické oslabenie η_{atm}**
 - Pre TLS považované za zanedbateľné

$$P_r = \frac{P_t D_r^2 \rho_\lambda \cos(\alpha)}{4R^2} \eta_{sys} \eta_{atm}$$

$$I \propto P_r \propto \rho_\lambda R^{-2} \cos(\alpha) \eta_{atm}$$

$$I = f(\rho_\lambda) * f_1(R) * f_2(\alpha) * f_3(\eta_{atm})$$

Pre využitie intenzity odrazu laserového lúča súvisiacej len so spektrálnymi vlastnosťami povrchu je potrebné eliminovať vplyv faktorov nesúvisiacich s materiálom tvoriacim skenovaný objekt prostredníctvom série korekcií o vplyv vzdialenosti (R), uhla dopadu laserového lúča (α) a atmosférického oslabenia (η_{atm})

Hlavné ovplyvňujúce faktory

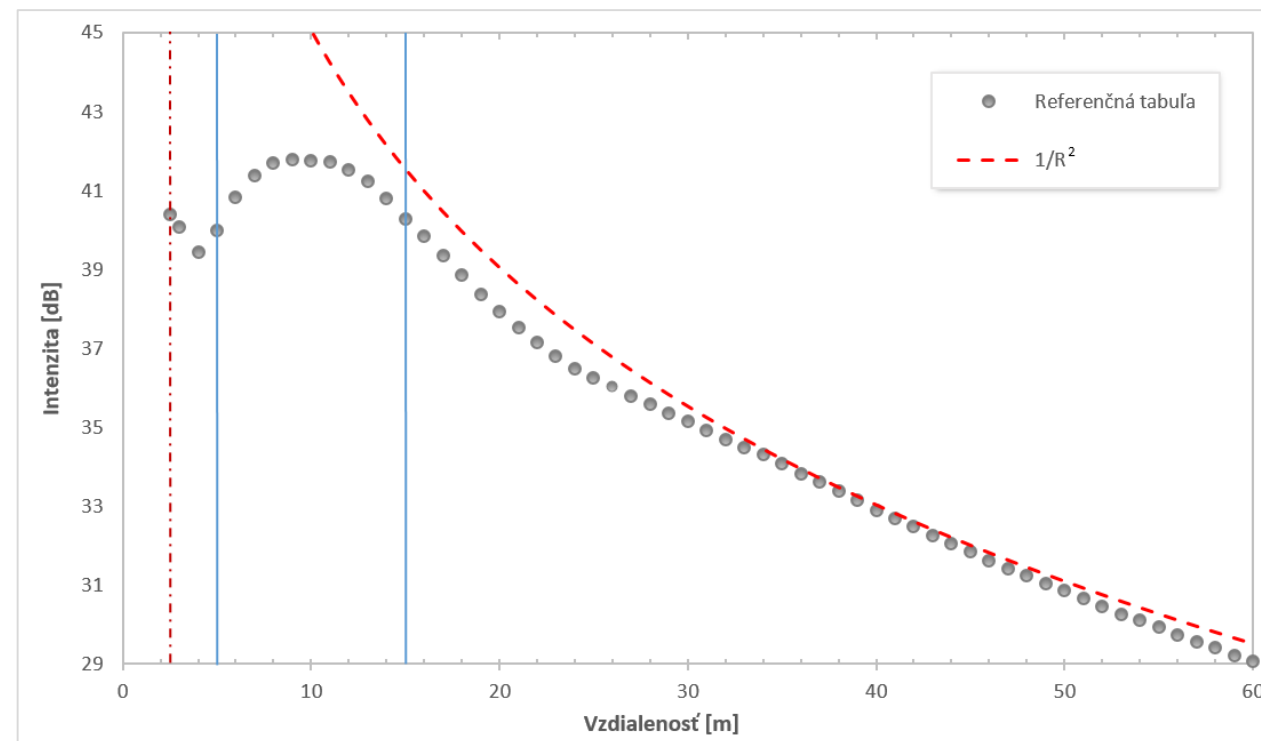
- **Odrazivosť povrchu ρ_λ**
- **Parametre zariadenia**
- **Geometria skenovania**
 1. Vzdialenosť medzi skenerom a objektom
 - Hodnoty intenzity klesajú s rastúcou vzdialenosťou, nie však lineárne a zhodne pre všetky typy skenerov
 2. Uhol dopadu laserového lúča α
 - Lambertov zákon $\cos(\alpha)$ nezohľadňuje drsnosť a nepravidelnosť povrchu
- **Atmosférické oslabenie η_{atm}**
 - Pre TLS považované za zanedbateľné

Vplyv vzdialenosti

- ▶ Experimentálne skenovanie referenčnej tabule vo vzdialenostiach 2,5 – 60 m
- ▶ Odklon od vzťahu $1/R^2$ spôsobený optikou senzora

$$f_1(R) = \sum_{k=0}^n p_k R^k$$

	R < 5 m	5 - 15 m	R > 15 m
p_0	34.877	27.106	64.714
p_1	6.406	4.725	-3.287
p_2	-2.279	0.569	0.154
p_3	0.241	3.1361×10^{-2}	-3.808×10^{-3}
p_4	-	-7.016×10^{-4}	4.594×10^{-5}
p_5	-	-	-2.158×10^{-7}



Vplyv uhla dopadu

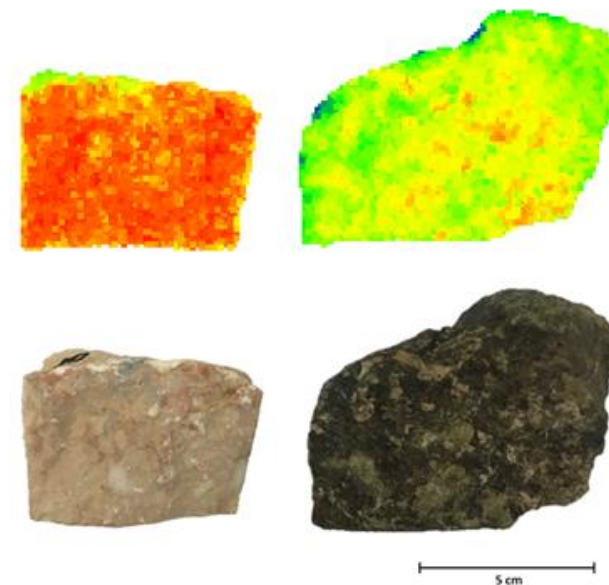
- ▶ Korekcia vplyvu uhla dopadu s využitím modelu Oren – Nayar
- ▶ Parameter „drsnosti“ σ_{slope} odvodený na základe experimentálneho skenovania vzoriek hornín s uhlom dopadu $0^\circ - 90^\circ$ na vzdialenosti 5 m
- ▶ $\sigma_{slope} = 29$ minimalizujúci rozdiel hodnôt upravenej intenzity s meniacim sa uhlom dopadu



$$f_2(\alpha) = \cos(\alpha)(A + B \sin(\alpha) \tan(\alpha))$$

$$A = 1 - 0,5 \frac{\sigma_{slope}^2}{\sigma_{slope}^2 + 0,33} \quad B = 0,45 \frac{\sigma_{slope}^2}{\sigma_{slope}^2 + 0,09}$$

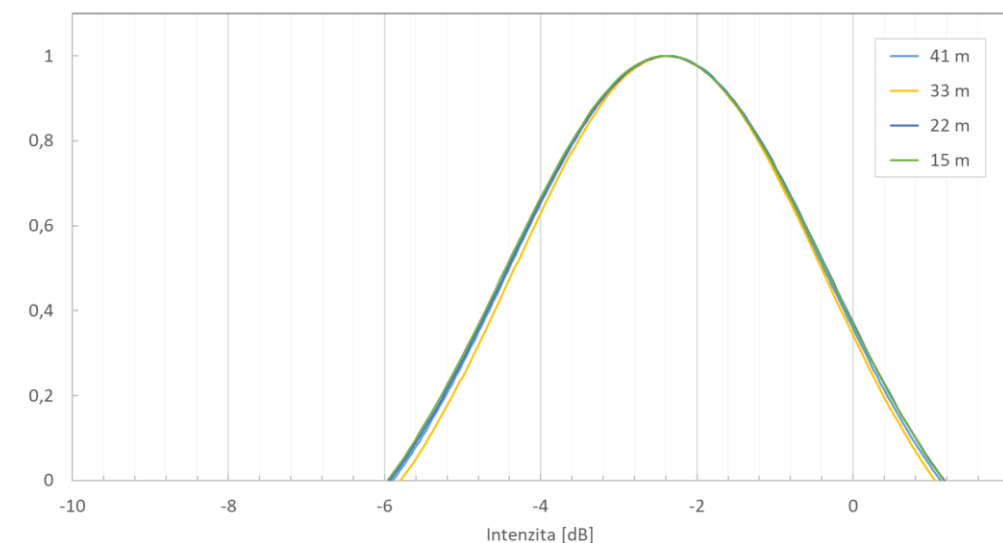
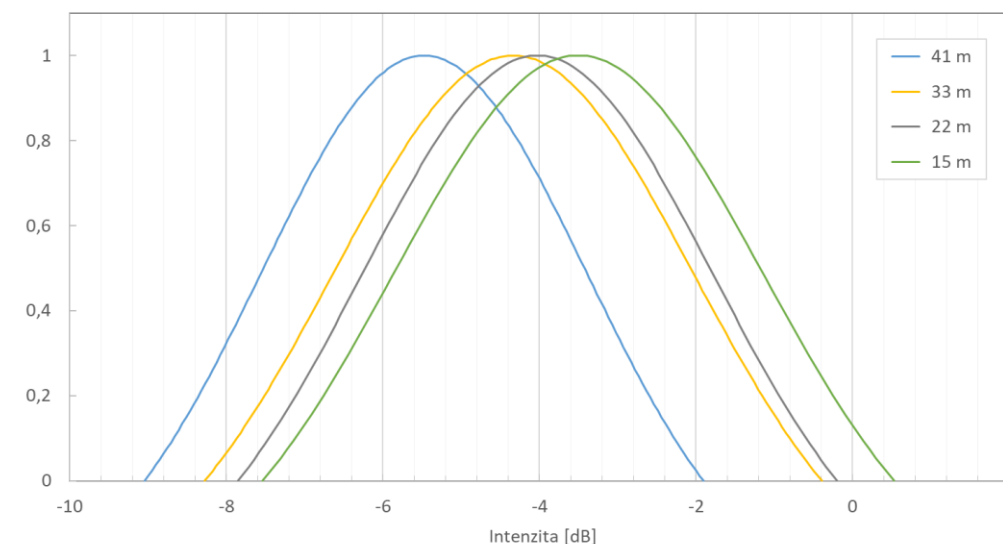
$$\min f(\sigma_{slope}) = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(I_{c_{10^\circ}}^{0^\circ}(\sigma_{slope}) \right) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(I_{c_{85^\circ}}^{0^\circ}(\sigma_{slope}) \right) \right|$$



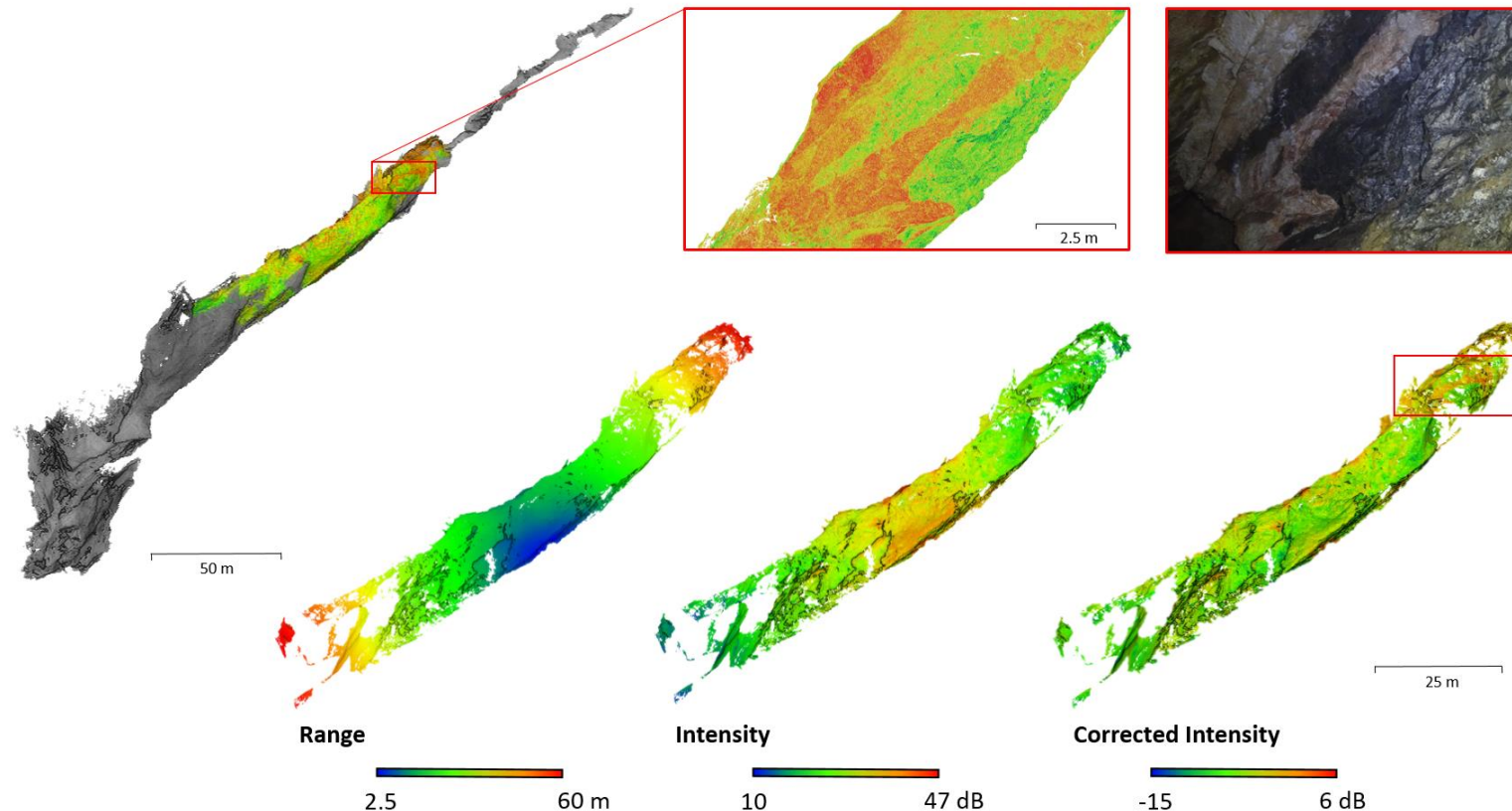
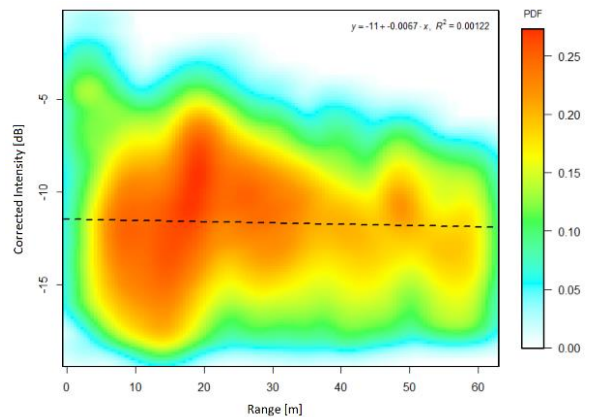
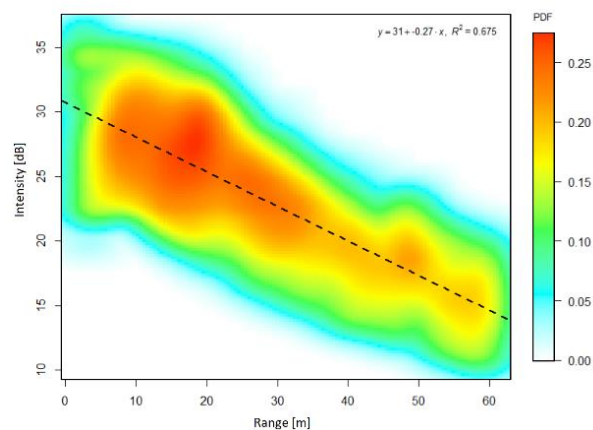
Vplyv atmosférického oslabenia

$$f_3(\eta_{atm}) = 10^{-2Ra/10000}$$

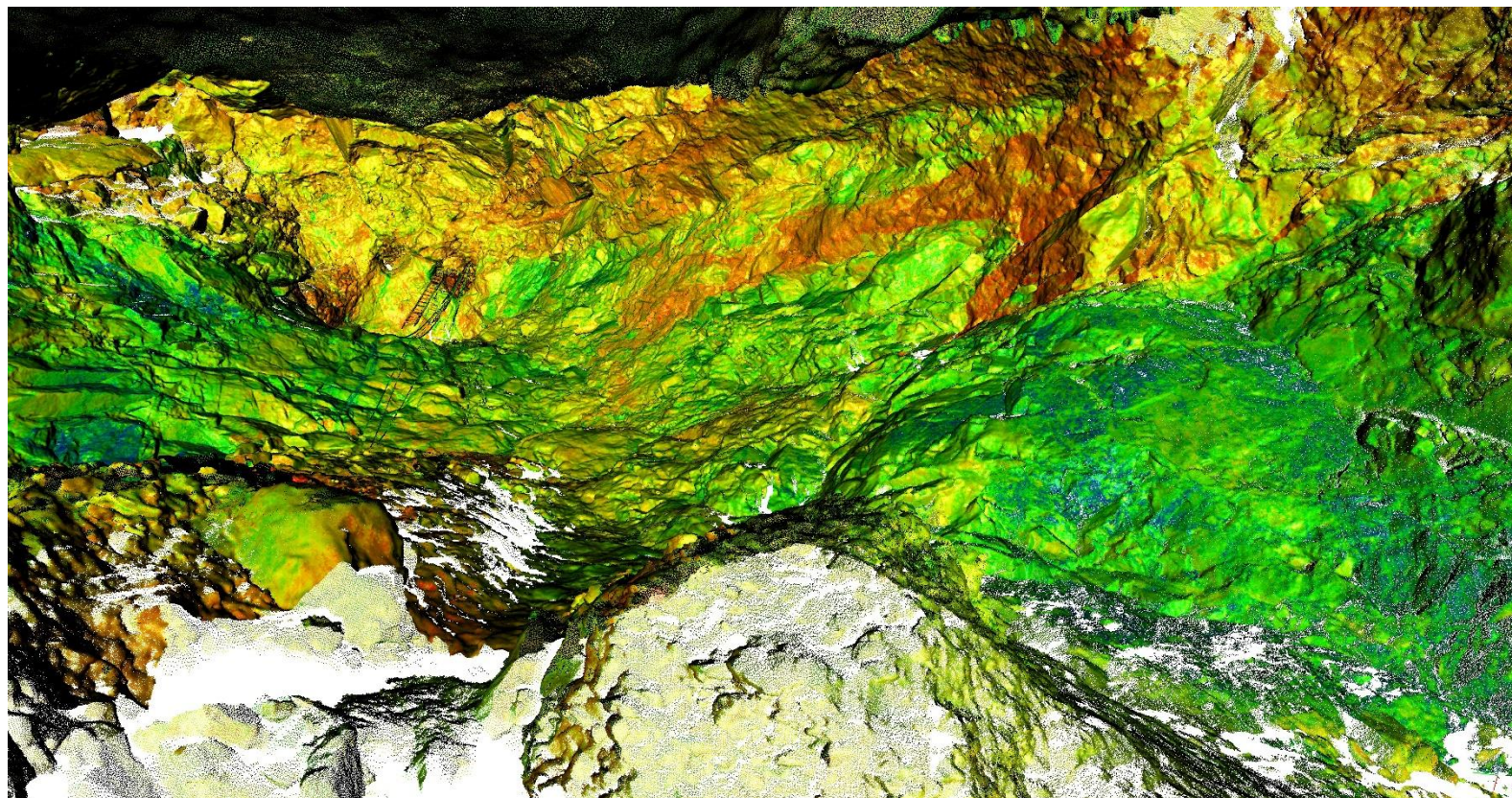
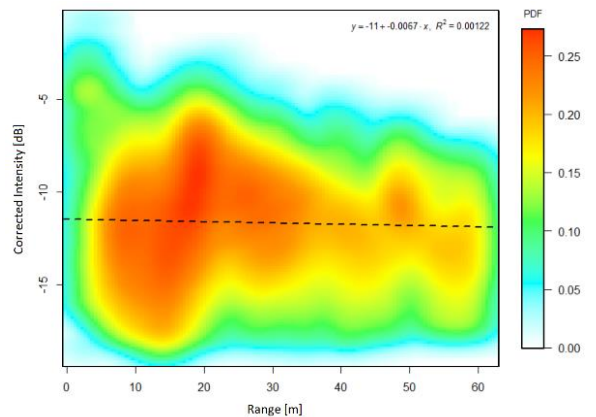
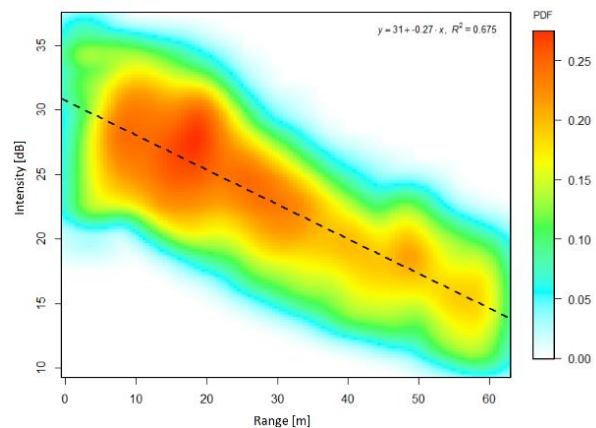
- ▶ Koeficient atmosférického oslabenia α odvodený z prekrývajúcich sa dát po korekcii vplyvu vzdialenosti a uhla dopadu
- ▶ Oslabenie môže dosahovať hodnoty od 0,2 dB/km pre jasné podmienky, 3,9 dB/km pre opar/jemnú hmlu až po 310 dB/km pre veľmi hustú hmlu
- ▶ Premennivé podmienky
- ▶ Prezentovaný koeficient $\alpha = 60$ odvodený pre Salle de la Famine

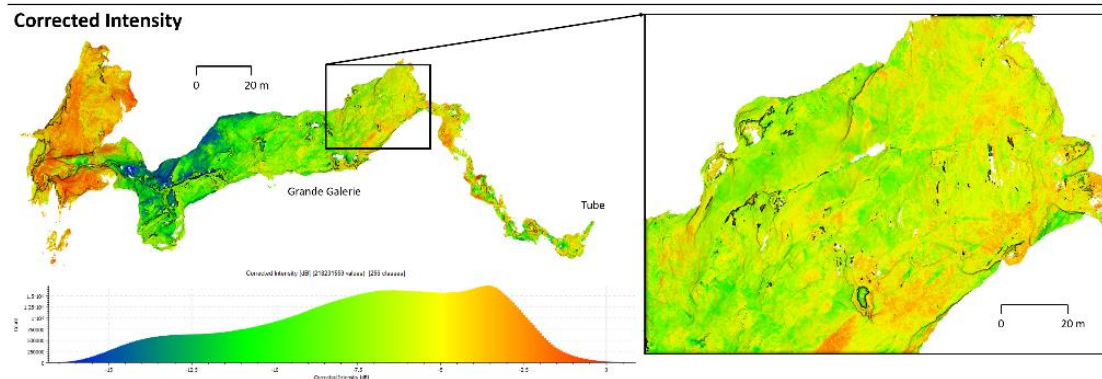
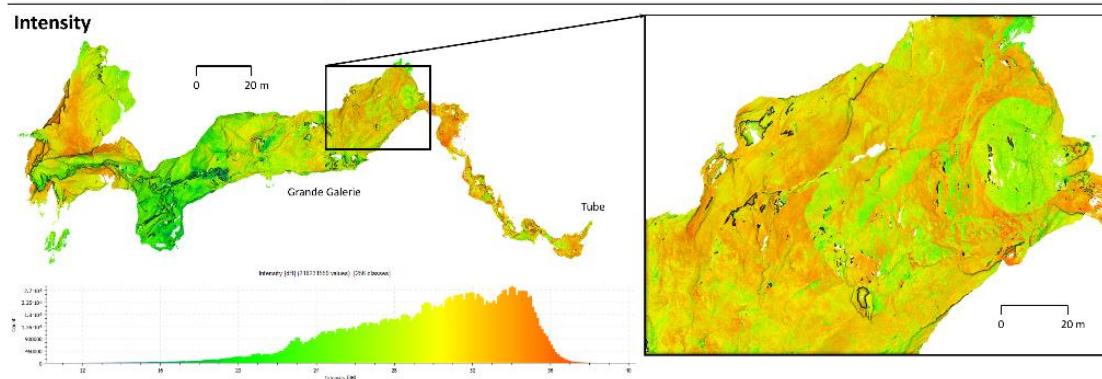
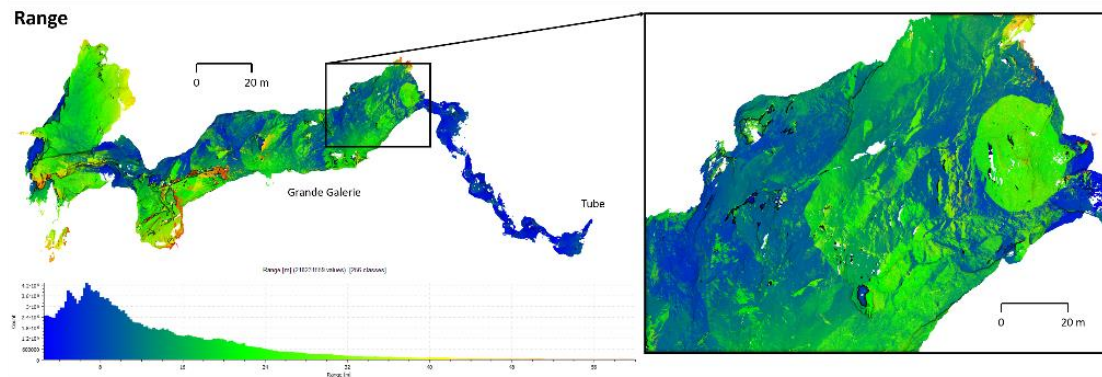


- ▶ Navrhnutý vzťah korekcie eliminoval vplyv vzdialenosti
- ▶ Po korekcii intenzity o jednotlivé ovplyvňujúce faktory jej hodnoty závisia od odrazivosti povrchu, na základe ktorých je možné identifikovať horninové rozhrania



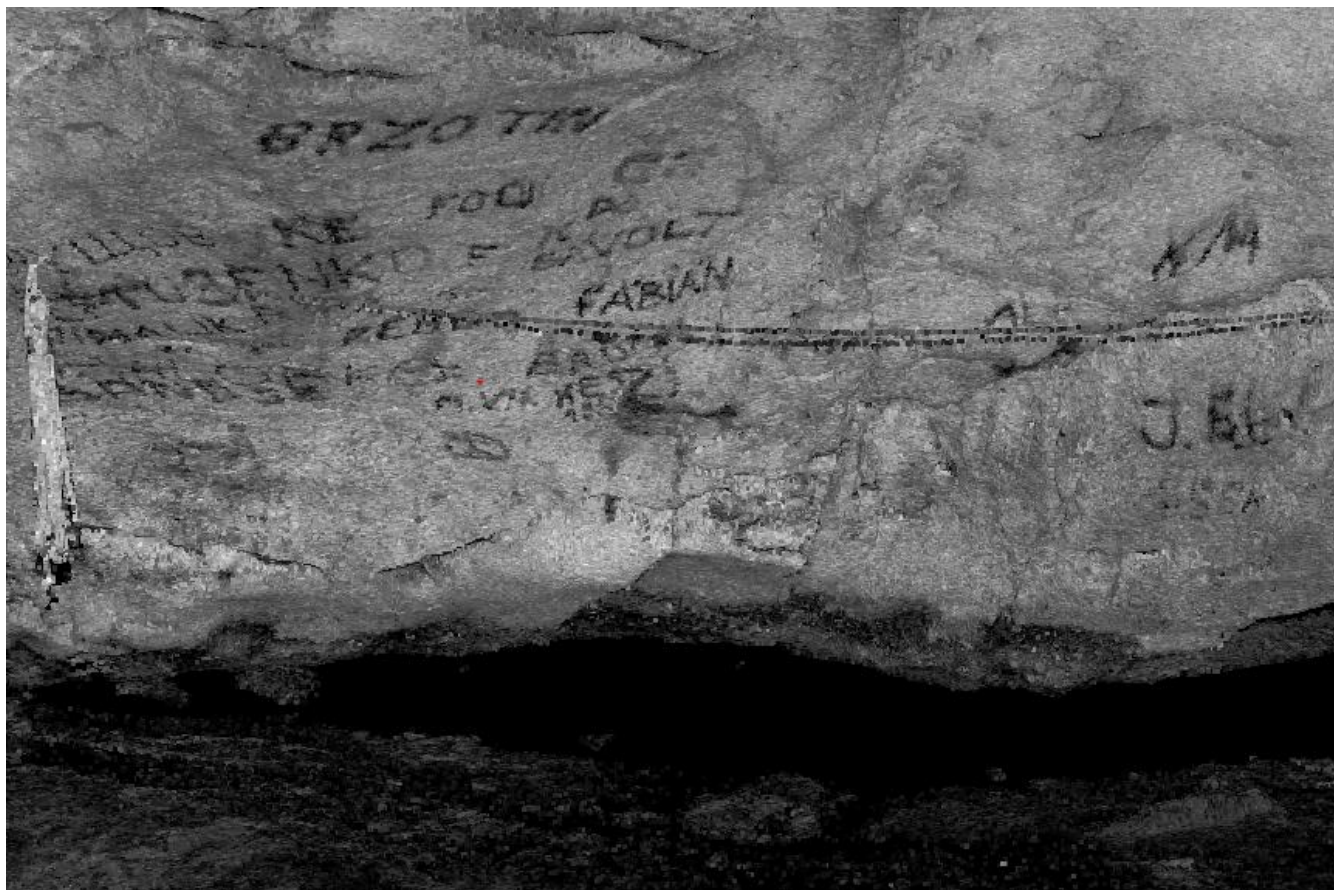
- ▶ Navrhnutý vzťah korekcie eliminoval vplyv vzdialenosti
- ▶ Po korekcii intenzity o jednotlivé ovplyvňujúce faktory jej hodnoty závisia od odrazivosti povrchu, na základe ktorých je možné identifikovať horninové rozhrania



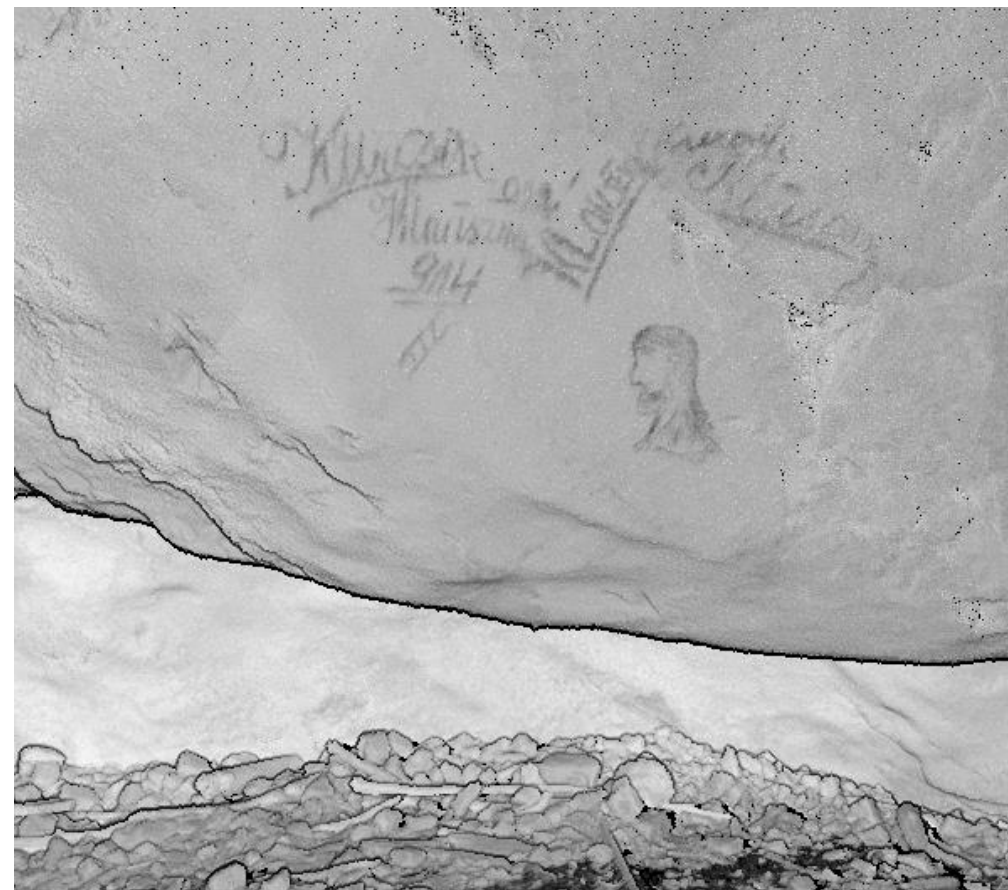


- Výpočet korekcie intenzity prebehol pre všetkých 47 skenovacích pozícií z jaskyne
- Klesajúci charakter hodnôt neupravenej intenzity v závislosti od rastúcej vzdialenosti
- Po odstránení vplyvu vzdialenosti spolu s vplyvom uhla dopadu a atmosférického oslabenia intenzita závisí primárne od odrazivosti povrchu odhaľujúcej odlišné typy hornín
- Po korekcii je viditeľný vodný tok v dolnej časti Grande Galerie
- Prítomnosť vody spôsobuje pokles hodnôt intenzity o 30-40%

Identifikácia nápisov

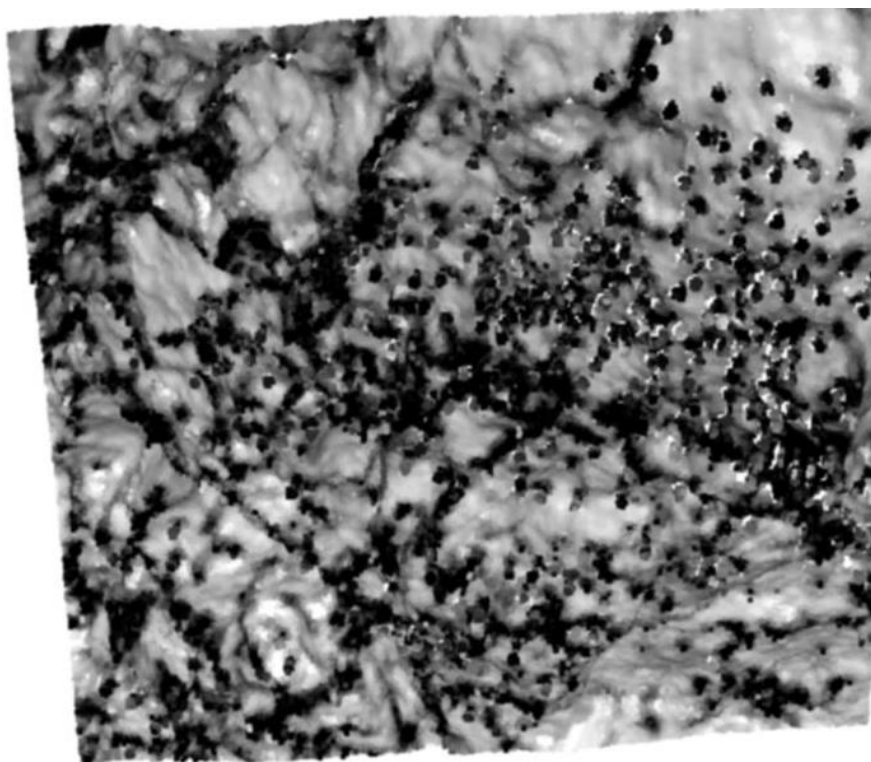


Archeologický dóm – Silická ľadnica

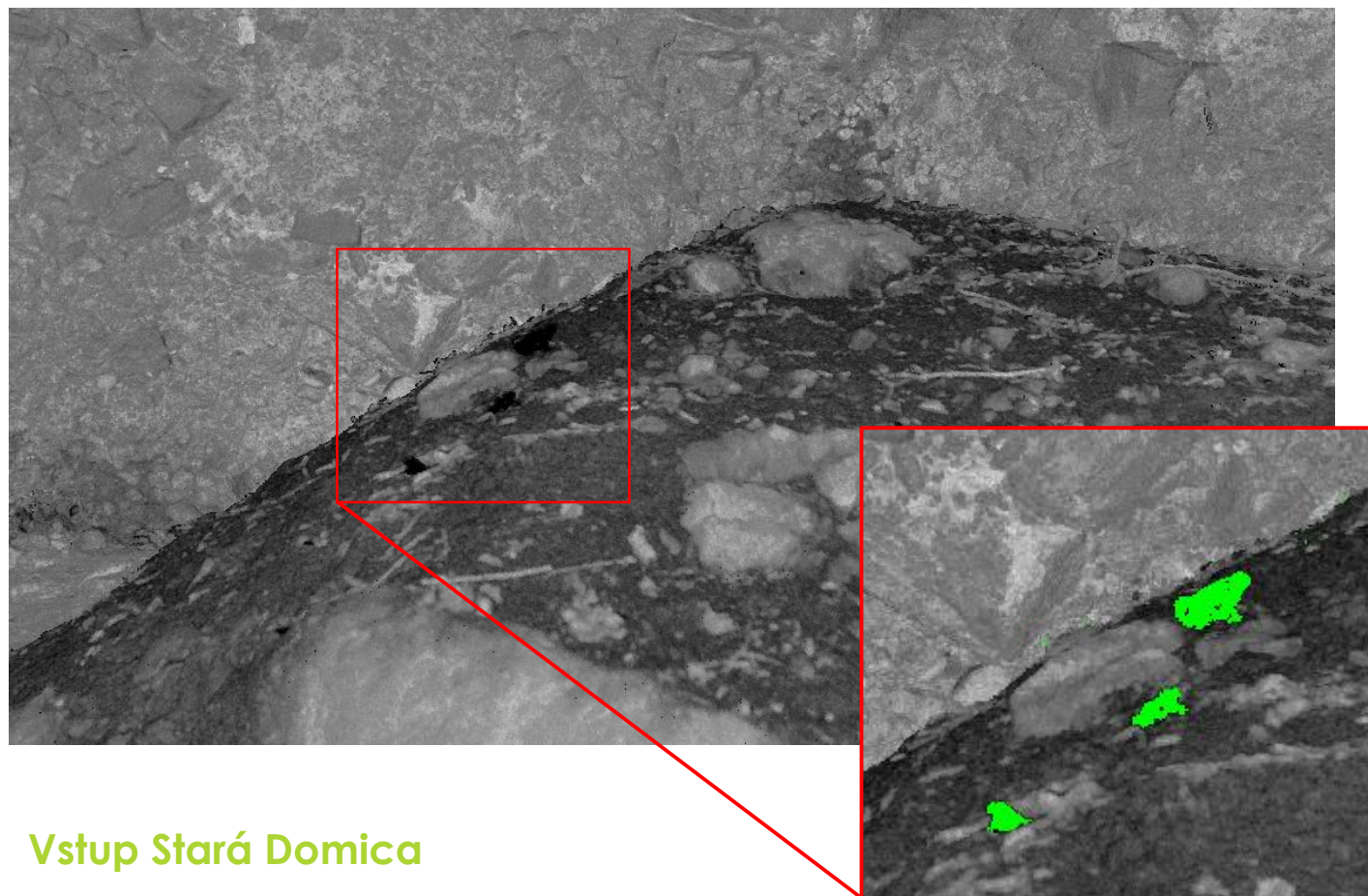


Vstupná priepasť – Silická ľadnica

Identifikácia a kvantifikácia jaskynnej fauny



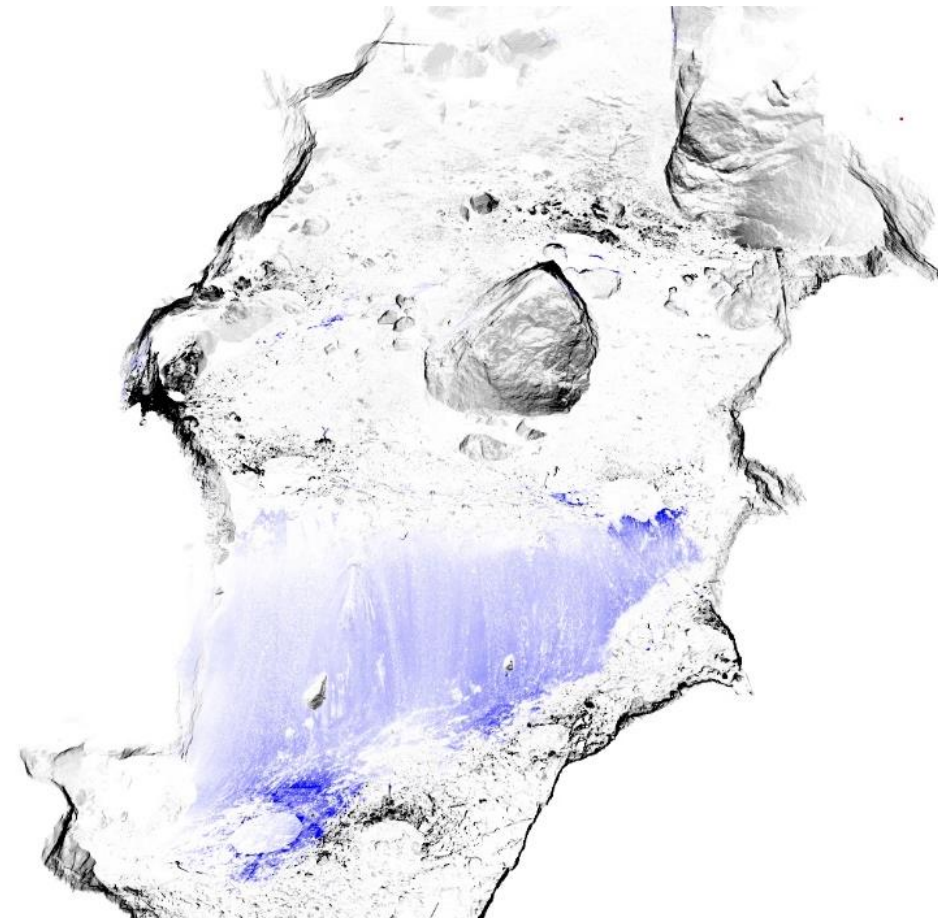
Majkov dóm – Čertova diera



Vstup Stará Domica



Vymedzenie ľadu



Silická ľadnica

Ďakujem za pozornosť



geografia.science.upjs.sk
michaela.novakova@upjs.sk