

155MSPD

Moderní metody sběru prostorových dat

katedra geomatiky
Karel Pavelka
pavelka@fsv.cvut.cz



Obsah předmětu:

- Laserové skenování pro 3D modely staveb (statické i mobilní), letecké, GeoSLAM
- RPAS (remotely piloted aerial system = „dron“)
- Družicová data (datové sklady), InSAR
- Georadar, magnetometr
- VR (virtuální realita)
- BIM (building information modeling - management), Revit

Jak pořídit efektivně 3D model objektu či krajiny?

- Laserové skenování
- Fotogrammetrie
- Geodézie klasická

Proč?

- Plány, rekonstrukce,
- BIM, správa objektu

budovy či pozemní i podzemní objekty BIM, vizualizace, plány

- nově navržené budovy nebo stavby jsou dnes implementovány do BIM přímo z projektu stavby (z CAD atd.)
- Staré nebo historické budovy lze přenést do BIM, ale obvykle chybí 3D data



Je nutné získat 3D data jako
základní soubor dat

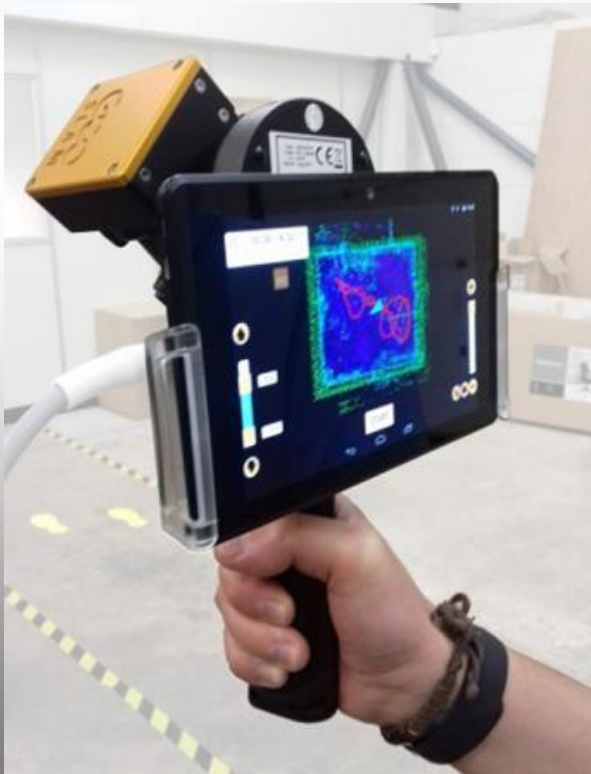
Jak to lze udělat?

a) klasické geodetické
měření



Jak to lze udělat?

b) Použití laserového
skenování (pozemní nebo
mobilní laserové
skenování)



Jak to lze udělat?

c) Fotogrammetrie pozemní
(IBMR - image based
modeling and rendering)

Digitální fotoaparát + software
založený na digitální obrazové
korelaci (Agisoft Photoscan -
Metashape, Zephyr 3D, pix4D,
123catch atd.)



Jak to lze udělat?
d) Fotogrammetrie
letecká či „dronová“
(IBMR - image based
modeling and rendering)
nebo
stereofotogrammetrie

L-410FG



Drony multikoptéry

DJI Mavic pro



DJI Phantom 4
RTK



DJI Inspire 2



Dron DJI
Matrice 210
RTK V2

Drony křídla

eBee



eBee Plus

Drony speciální křídla



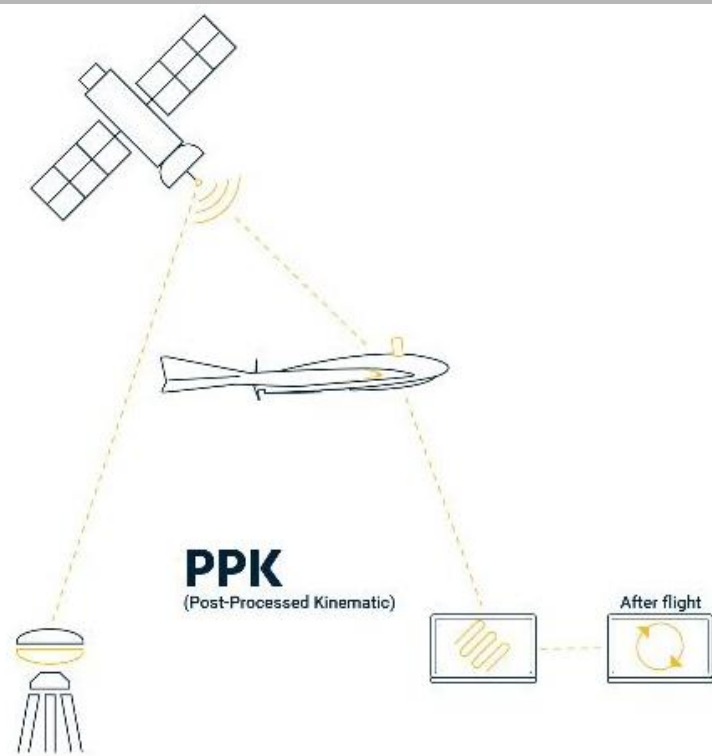
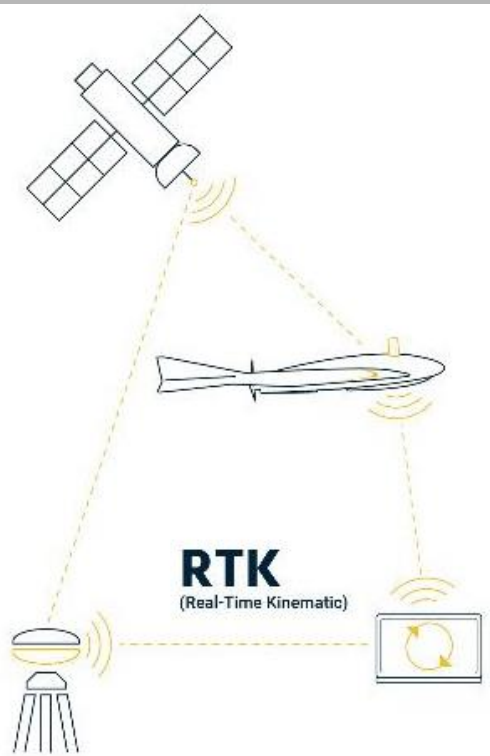
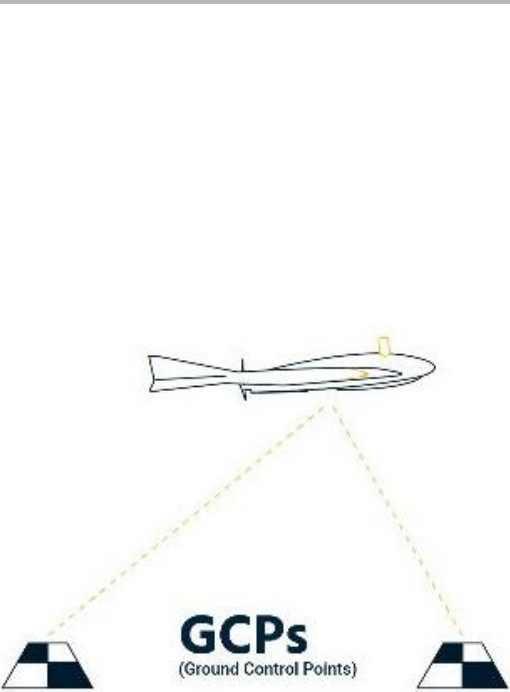
VTOL dron
Atmos





FLIR Vue TZ20





Jaký je typický výsledek 3D
měření?

Selektivní body
Neselektivní mračna bodů

Co je lepší?

... Záleží na projektu, ale:

Sada selektivních bodů - pro jednoduché objekty, malé množství předchozích strukturovaných dat, dobrá aproximace tvaru objektu s potřebnými detaily, dobrá jako vstup pro CAD

3D model lze vytvořit v CAD

2) Neselektivní mračna bodů -
automatický proces, pro prostorové
dělené objekty, velké množství dat, je
nutné vybrat informace z mračna bodů;



... Po výpočtu sítě a texturování sítě je
možné z cloudu bodů automaticky
vytvořit virtuální model s původní
texturou

Případová studie

Jako případová studie byla vybrána starší průmyslová budova připravená na budoucí rekonstrukci. Tento objekt byl naskenován laserovým skenerem, byl vytvořen 3D model, do modelu byly přidány typy materiálů a inženýrské sítě.

Případová studie:

průmyslový komplex, který měl dvě části: první část byl velký sklad a druhá část byla kancelářská budova, model obsahoval přibližně 5400 komponent a pokrýval přibližně 3000 m²

Laserový skener Faro, 3 dny, 153 stanovisek (uvnitř i venku, 30 GB), poloautomatický proces – spojení do jediného mračna bodů

požadovaná přesnost 2–3 cm byla splněna bez větších problémů

Případová studie:

-zpracování: mračno bodů lze snadno převést na grafy a primitiva (jednoduchý objekt), byl vytvořen 3D model (v aplikaci Revit sw)

Vizualizace ve VR

Virtuální realita se stala moderním nástrojem pro vizualizaci a analýzu objektů.

Je nutné přenést 3D model do prostředí VR. Jak?

-byl použit Herní engine Unreal Engine 4 k pro vytvoření virtuálního prostředí

VR hardware



HTC Vive Pro s ovladači a majáky



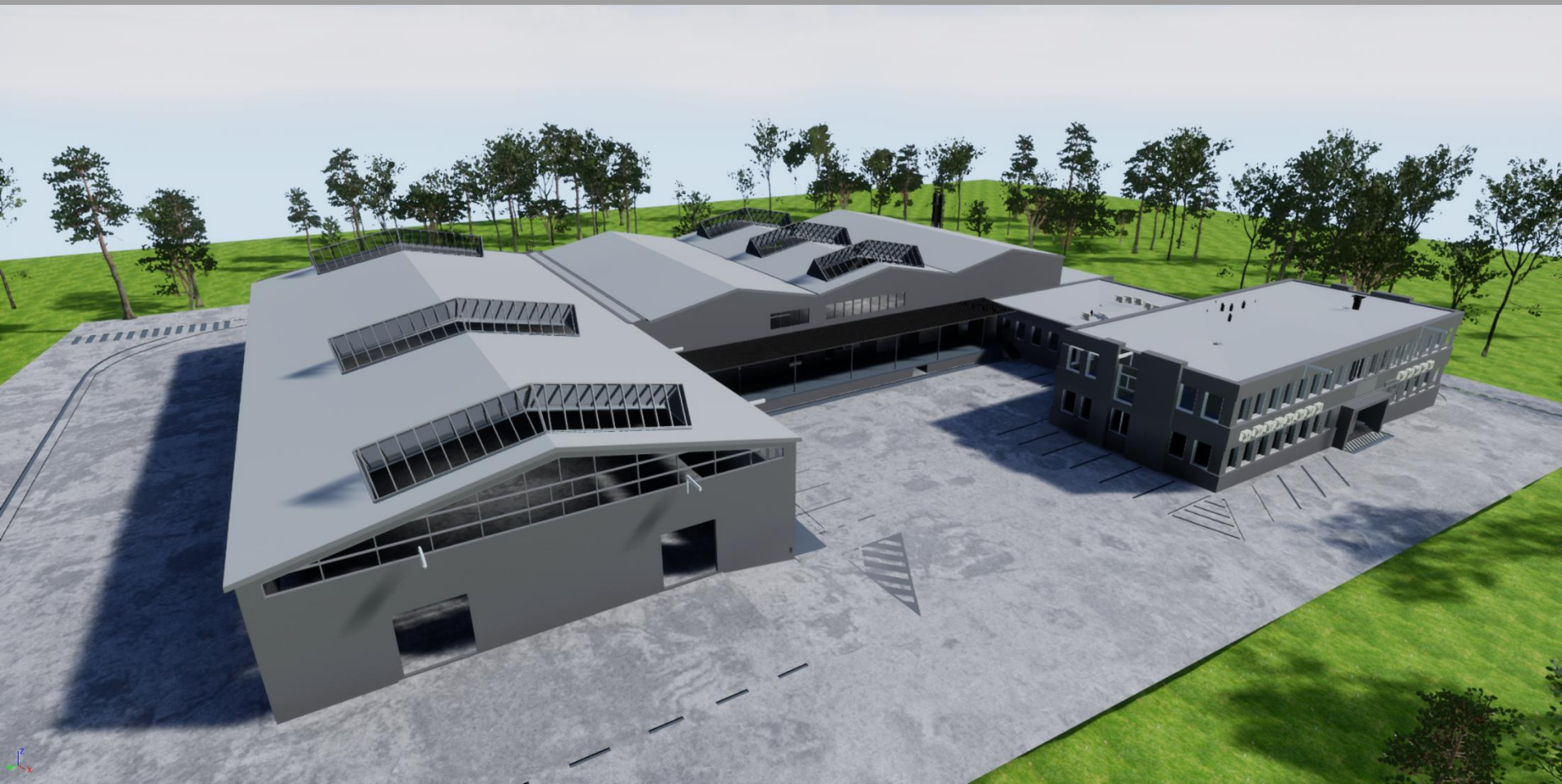
Oculus - Rift S

+ drahá grafická karta (počínaje GeForce GTX 1080) a dobrý počítač

Případová studie - výsledky



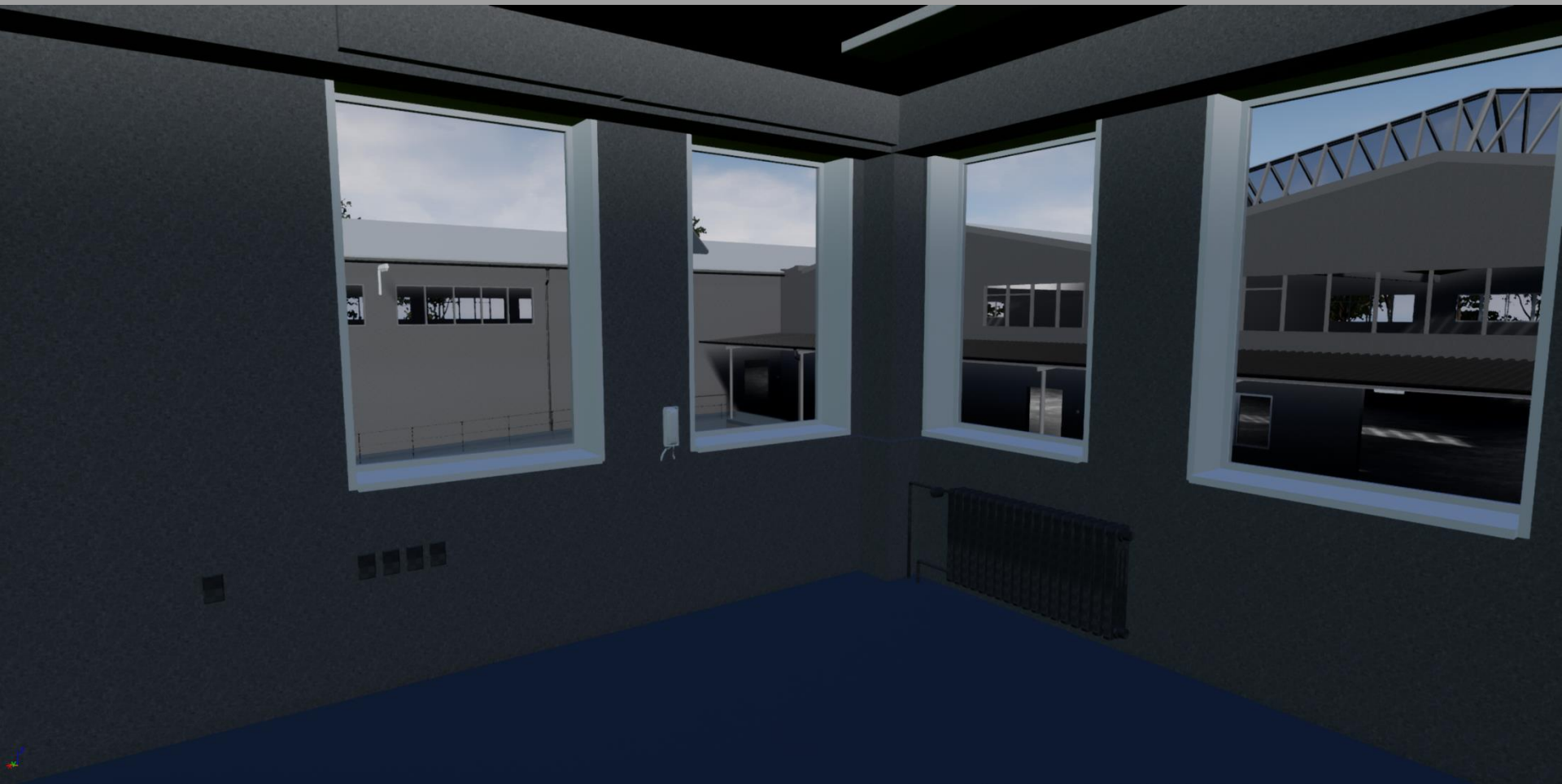
Případová studie - výsledky



Případová studie - výsledky



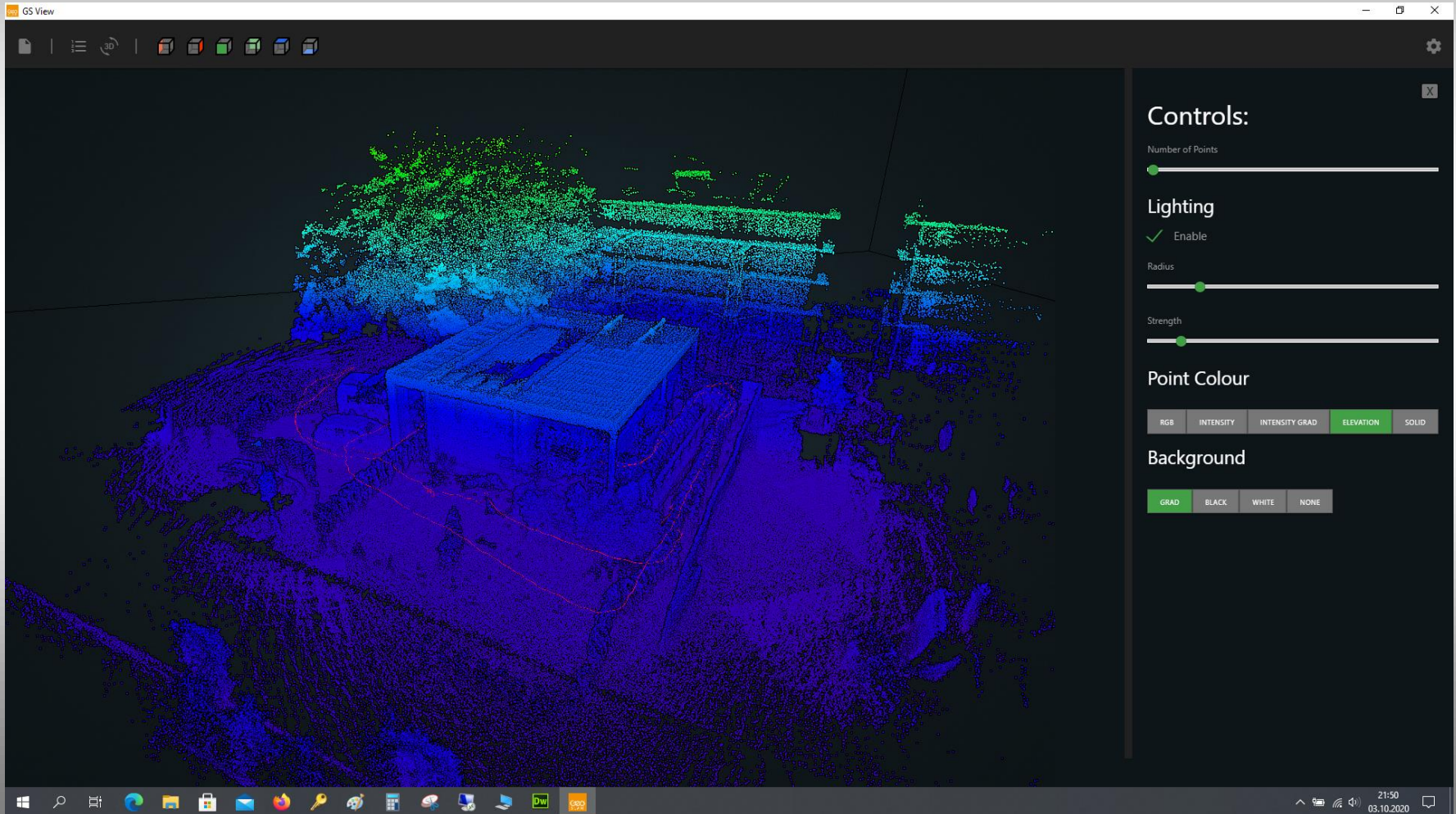
Případová studie - výsledky



Závěr:

- originální 3D model skladu, vytvořený pomocí laserového skenování, určený pro budoucí BIM a VR
- implementace virtuální reality je nyní plně možná a významně zlepšuje možnosti vizualizace dat pro uživatele
- je nutný přenos dat mezi systémy a formáty, vysoké náklady na vizualizační hardware
- vývoj IT technologií a výkon IT, v příštích letech lze očekávat masivní nárůst technologie VR v různých průmyslových odvětvích

Projekt Airhouse (FSv), Skenování ZEB-REVO 10 minut



Projekt Airhouse (FSv), dron, let 10 minut, 56 fotografií, $h=10\text{-}35\text{m}$





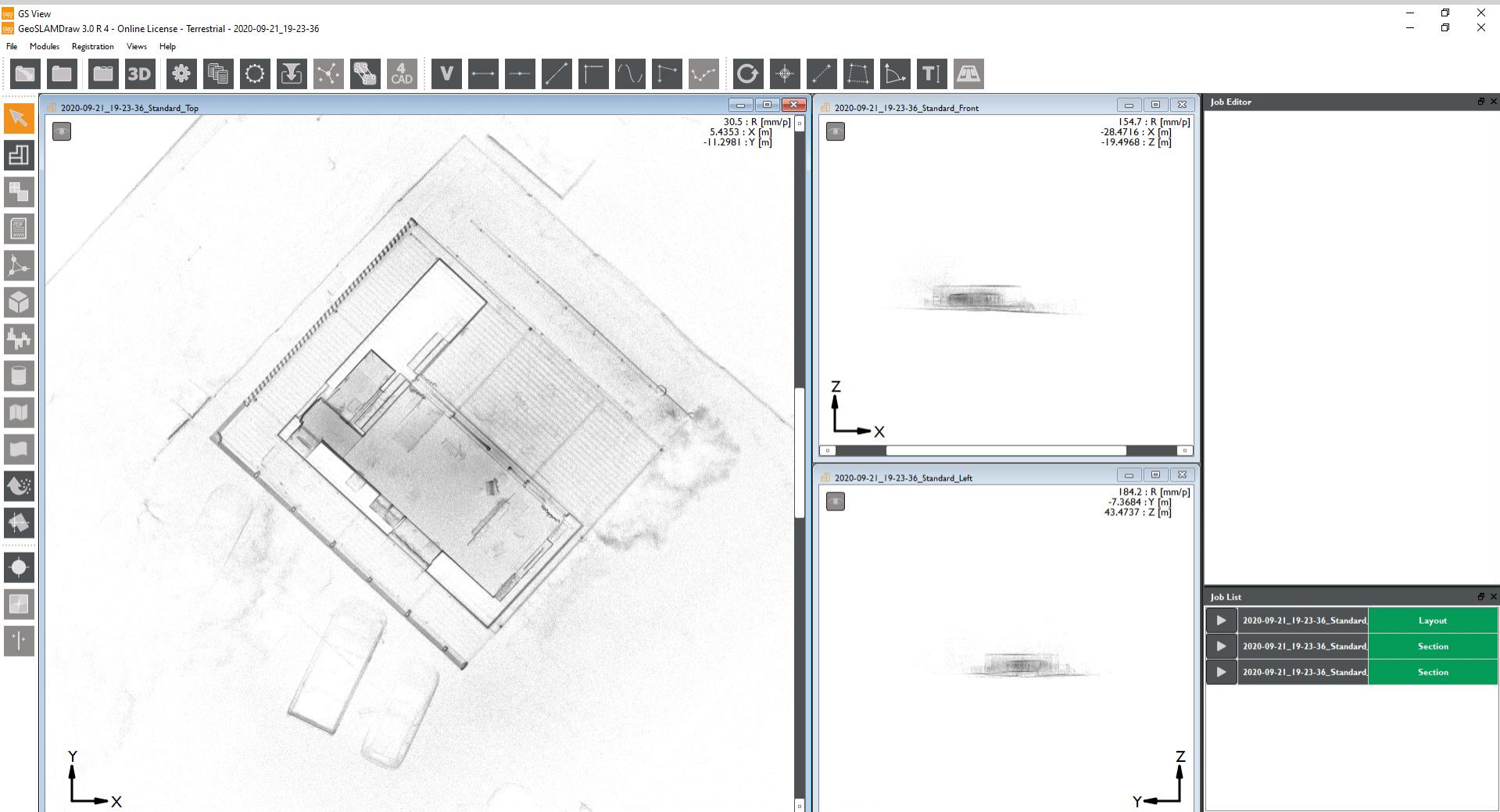
Projekt Airhouse (FSv)

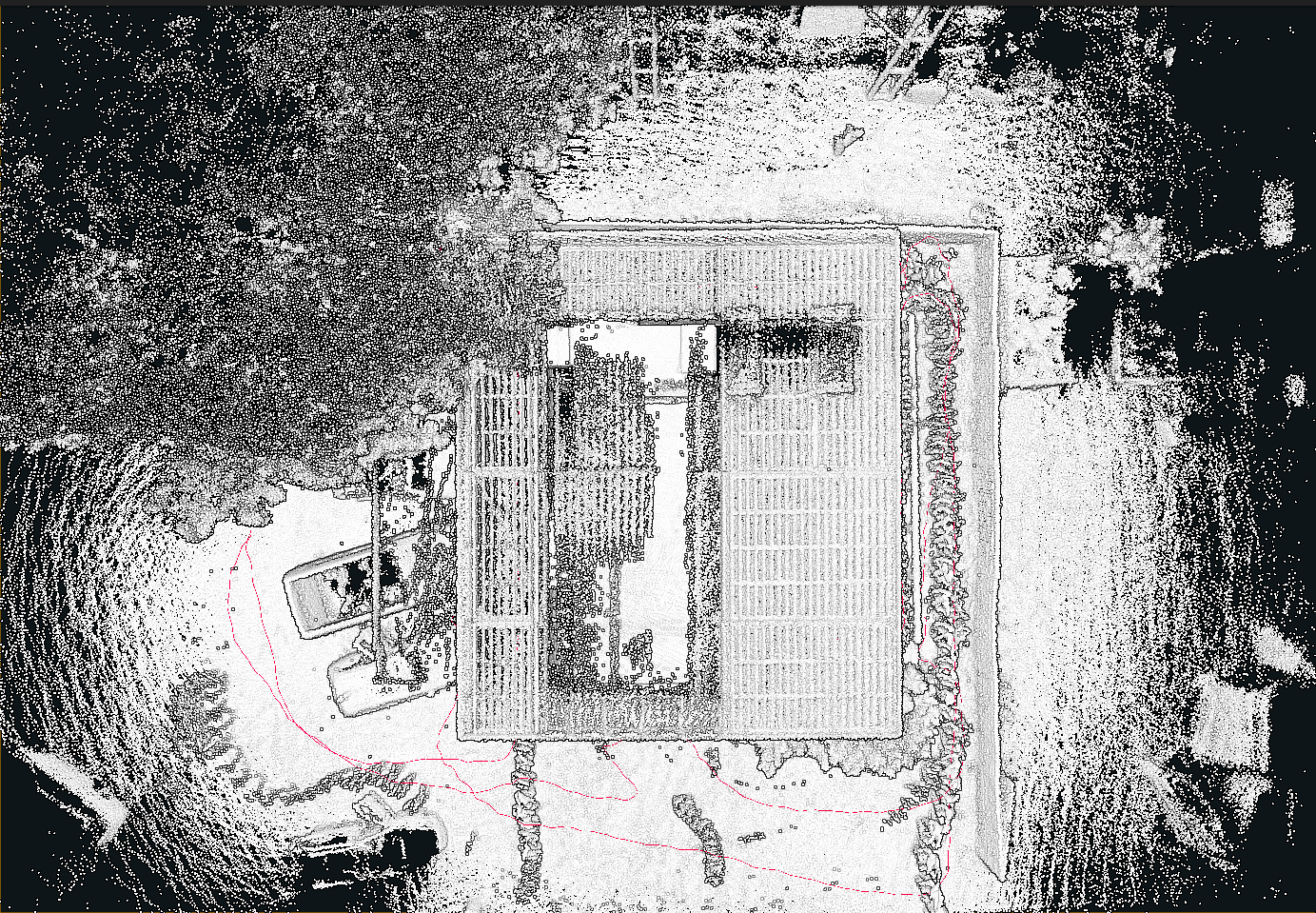
Zpracování

- 1) GeoSLAM HUB – 15 minut
- 2) Fotogrammetrie –
FotoScan/Metashape -20 minut

Projekt Airhouse (FSv)

GeoSLAM Draw





Controls:

Number of Points



Lighting

✓ Enable

Radius



Strength



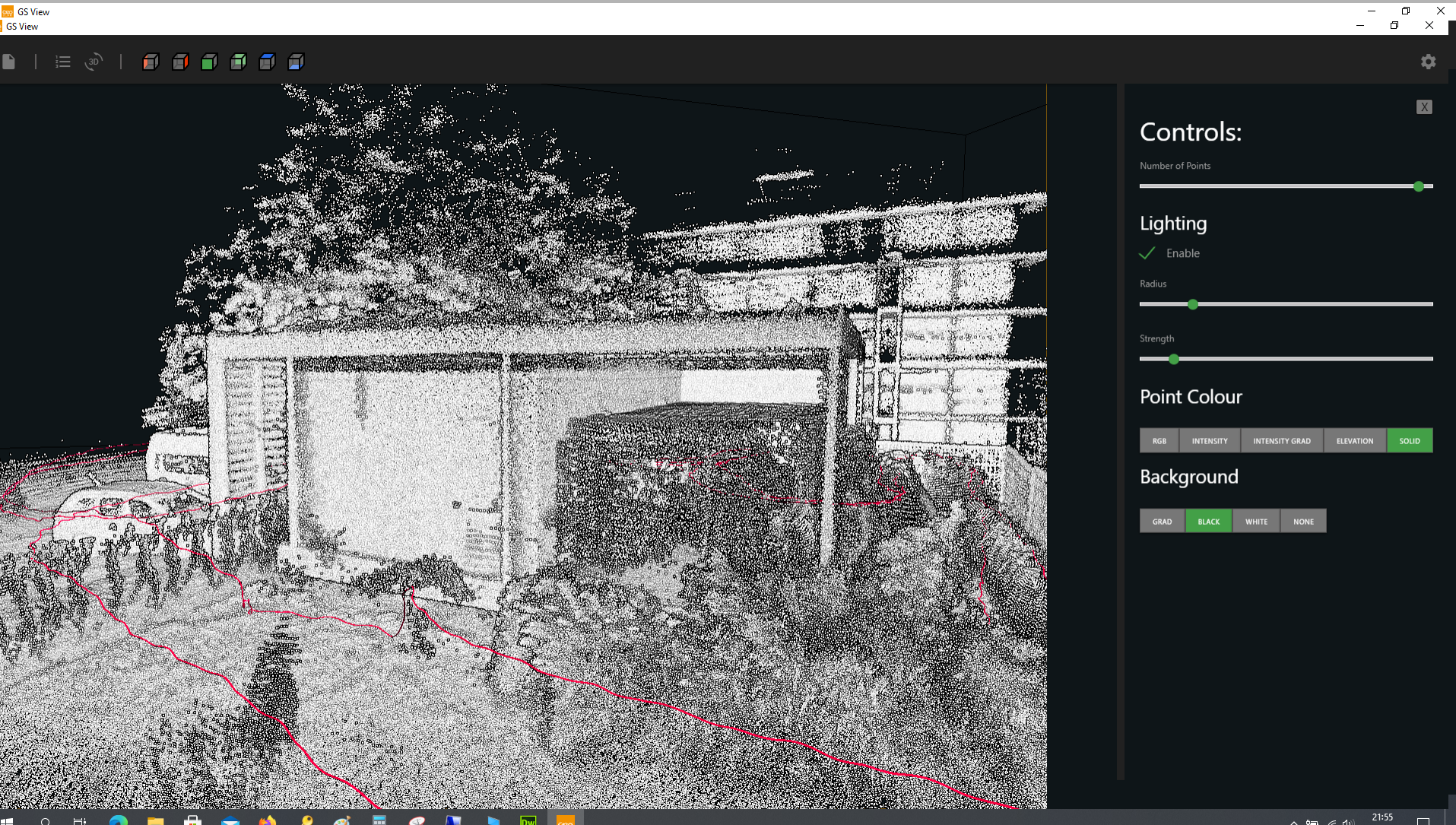
Point Colour



Background



Problém- sklo a zrcadla



Propojení na cvičení:

1. Získání dat – tvorba mračna bodů
2. Konstrukce objektu (Revit)
3. Převod do VR

Základy AR a VR

Jako první popisuje VR Ivan Sutherland v roce 1965. Od této doby zaznamenala VR značný rozvoj ve všech směrech: hardware, software, dostupnost.

VR

VR takový soubor počítačového hardwaru a softwaru, který vizuální projekcí, zvukem a dalším působením na lidské smysly dokáže v co největší míře uživatele pohltit. Jiná definice popisuje jako virtuální realitu trojrozměrnou simulaci prostředí, která je počítačově generována, za využití speciálního hardwaru.

VR definují čtyři klíčové prvky: virtuální svět, ponoření, smyslová zpětná vazba a míra interaktivity. (virtual world, immersion, sensory feedback a interactivity)

Nezbytnou součástí každé VR je vhodná kombinace těchto hlavních elementů. Části díla podrobně popisující co tvoří VR jsou na závěr shrnuty do pěti vět. VR je komunikační médium. VR vyžaduje fyzické ponoření. VR stimuluje smysly. VR je interaktivní. VR může psychicky pohltit uživatele.

Virtuální svět je tedy imaginární prostor prezentovaný VR

- (**virtual world**) Virtuální svět je imaginární prostor prezentovaný VR
- (**immersion**) ponoření - tento prvek je částečně měřítkem, jak moc je uživatel obklopen virtuálním světem. Ponoření má také za úkol uživatele do imaginárního světa uvést tak, aby si toho byl vědom co nejméně.
- (**sensory feedback**) smyslová zpětná vazba - Na uživatele přímo působí smyslová zpětná vazba na základě jeho fyzické polohy. Okamžitá interaktivní zpětná vazba má za důsledek vysoké nároky na hardware zprostředkujícího zařízení (PC apod.). Pro smyslovou zpětnou vazbu je nutné aby systém VR měl stále aktuální informace o pohybu a poloze uživatele. Tyto způsoby snímání pohybu uživatele jsou různé
- (**interactivity**) míra interaktivity světa ve VR je schopnost virtuálních objektů a prostředí reagovat na akce uživatele. Uživateli dává interaktivita pocit zapojení do virtuálního světa, uživatel je tak svým jednáním schopen rozhodovat o změnách a akcích v něm. Interaktivita je tedy míra schopnosti ovlivnit virtuální svět prostřednictvím fyzických akcí uživatele

AR

AR – Augmented reality

rozšířená realita je přímý nebo nepřímý pohled na reálné prostředí v reálném čase, který je rozšířen o počítačem generované informace. Jinými slovy, rozšířená realita propojuje reálný svět s virtuálním. Rozdíl AR od VR je především v míře ponoření. Ve VR je uživatel zcela ponořen, aniž by viděl skutečný svět. AR uživateli pouze rozšiřuje skutečný svět prostřednictvím virtuálních objektů. Rozšířená realita nemusí vytvářet výlučně zrakové vjemy ale také vjemy působící na ostatní smysly.

(Handbook of Augmented Reality, Borko Furht , 2011)

Historie

- první přístroj vytvářející a prezentující VR – Sensorama (vytvořil v roce 1956 kameraman Morton Heilig a patentoval jej v roce 1962. Prototyp při projekci krátkých filmů kombinoval trojrozměrné video, zvuk, vibrace, vůně a atmosférické jevy (vítr). Trojrozměrný obraz byl tvořen stereoskopickou 3D obrazovkou. Autor konceptu považoval Sensoramu za kino budoucnosti)
- Heilig v roce 1960 patentoval *Telesphere Mask*. Jednalo se o první displej, který byl umístěn přímo na hlavu uživatele, první *head mounted display* (HMD). Tento přístroj poskytoval pouze trojrozměrné obrazy a zvuk, žádné sledování pohybu uživatele neexistovalo
- 1965 představil Ivan Sutherland svou vizi *Ultimate Display*. Koncept představoval virtuální svět, který byl prohlížen prostřednictvím HMD. Realita měla být replikována na takové úrovni, aby ji uživatel nedokázal odlišit od skutečného světa. Zahrnuta tedy byla i interakce uživatele s objekty. Koncept obsahoval počítačový hardware vytvářející virtuální svět fungující v reálném čase. Tato vize je považována za základní plán VR
- Vojenský inženýr Thomas Furness vytvořil v roce 1966 první letový simulátor pro výcvik pilotů. Pro VR má tento milník značný význam, protože armáda následně uvolnila velké množství finančních prostředků na zlepšení a další výrobu letových simulátorů.
- První HMD pro VR vytvořil v roce 1968 Sutherland se svým studentem Bobem Sproullem. Hardware, který měl uživatel na sobě, musel být v důsledku vysoké hmotnosti zavěšen ze stropu. Vzhled byl inspirací pro pojmenování zařízení: The Sword of Damocles

- 1969 vytvořil Myron Krueger řadu zážitků z umělé reality prostřednictvím počítačů a video systémů. Vytvořil počítačem generované prostředí, které reagovalo na pohyby uživatelů. Kruegerovy projekty byly počátkem technologie VIDEOPLACE. V Milwaukee byla roku 1975 umístěna první Kruegerova VIDEOPLACE platforma (interaktivní virtuální realita). VIDEOPLACE využíval počítačové grafiky, projektory, videokamery a zařízení pro snímání polohy. Platforma fungovala zcela bez brýlí a rukavic. VIDEOPLACE byl vytvořen v temných místnostech s velkými obrazovkami, které uživatele obklopovaly. Uživatelé mohli vidět své, počítačem generované, siluety kopírující jejich pohyby a akce. Snímání pohybu bylo realizováno záznamem na kameru. Uživatelé v různých místnostech spolu mohli interaktivně provádět úkony ve virtuálním světě. Tento fenomén povzbudil myšlenku komunikace ve virtuálním světě bez nutnosti fyzické blízkosti
- MIT (Massachusettský technologický institut) vydal v roce 1977 virtuální mapu Aspenu v Coloradu. Jednalo se o virtuální prohlídku podobající se dnešnímu Google Street View (myšlenka přenosu uživatele na vzdálená místa bez nutnosti fyzického cestování.)
- První datové rukavice pro sledování gest uživatele vytvořili v roce 1982 Sandin a Defanti (sledování pohybu prstů bylo realizováno na bázi ohebných trubic, vybavených zdrojem světla na jednom konci a fotobuňkou na konci druhém.)

- Jaron Lanier a Thomas Zimmerman založili v roce 1985 společnost VPL Research. VPL Research vyvinula zařízení pro VR, například DataGlove, EyePhone HMD nebo Audio Sphere. Tato společnost byla první, která prodávala brýle a rukavice pro VR
- Antonio Medina, vědec NASA, navrhl v roce 1991 systém VR pro ovládání robotických roverů na Marsu v předpokládaném reálném čase, a to navzdory zpoždění signálu způsobeným vzdáleností mezi planetami.
- V tomto období byly přivedeny na trh také první arkádové automaty využívající VR. Hráči byli přeneseni prostřednictvím HMD do virtuálního světa. Některá zařízení disponovala propojením v reálném čase s ostatními. Uživatelé tak mohli hrát hry pro více hráčů. Tento první hromadně vyráběný herní VR systém vytvořila skupina Virtuality.
- Společnost Google představila v roce 2007 Street View. Jedná se o virtuální prohlížení skutečného světa, vytvořeného z panoramatických snímků. Celý obsah se skládá ze dvou zdrojů: Google a samotní uživatelé. Následně roku 2010 spustil Google stereoskopický 3D režim pro Street View.

- roku 2010 vytvořil Palmer Luckey, osmnáctiletý podnikatel, první prototyp náhlavní soupravy Oculus Rift. Zorné pole zařízení bylo 90 °. Tento projekt obnovil zájem o vývoj VR.
- Luckey zahájil kampaň na Kickstarteru pro Oculus Rift v roce 2012, ve které se podařilo získat 2.4 miliony dolarů. Přelomový byl pro společnost Oculus VR rok 2014. V tomto roce koupila společnost za 2 miliardy dolarů Facebook. Tento krok byl rozhodující pro budoucnost VR.
- Téhož roku společnost Sony oznámila, že pracuje na projektu Morpheus neboli headsetu VR pro PlayStation 4.
- Google vydal Cardboard (do-it-yourself stereoskopický prohlížeč pro smartphony). Společnost Samsung představila Samsung Gear VR, náhlavní soupravu, která používá prohlížeč Samsung Galaxy. Mnoho dalších společností a odborníků se v tomto období začalo zabývat možnostmi VR, včetně přídatných inovativních doplňků. Projekt Gloveone - zaměřen na vývoj

Metody sledování pohybu

- Většina mobilních zařízení pro VR, má pouze rotační sledování neboli **tři stupně volnosti (3DoF)**. Uživatel se může dívat nahoru a dolů, doleva a doprava nebo naklonit hlavu. Ale pokud se bude uživatel pohybovat, celý virtuální svět se bude pohybovat s ním. Tento způsob sledování pohybu neumožňuje uživateli se například procházet virtuálním světem nebo s ním přímo interagovat.

https://www.youtube.com/watch?v=Hfzkfi_RMeI

- Moderní VR zařízení jsou vybavena pozičním sledováním neboli **šesti stupni volnosti (6DoF)**. Poziční sledování umožňuje uživateli se skutečně pohybovat ve virtuálním prostředí. Pokud disponují ovladače také 6DoF, může uživatel přímo interagovat s virtuálními objekty prostřednictvím rukou.

<https://www.youtube.com/watch?v=DdvBrKl3SHg>

- Sledování rotace je obvykle u většiny výrobců prováděno prostřednictvím mikroskopických elektromechanických gyroskopů. Společnosti však používají rozdílné technologie ke sledování polohy zařízení.
- Jednotná primární metoda sledování u většiny VR systémů spočívá v kombinaci mikroskopických elektromechanických akcelerometrů obsažených v *IMU* společně s *MEMS* snímači úhlů. Výstupní veličinou akcelerometru je zrychlení. Pokud je zrychlení derivováno přes čas, výslednou veličinou bude rychlost ($v = \int a \cdot dt$). Dále pak lze získat integrací rychlosti přes čas polohový vektor ($r = \int v \cdot dt$). Sledování založené na akcelerometru a výpočtu jeho polohy se během několika sekund posunuje k nekonečnu. Důvodem je užití dvojité integrace, chyby se při výpočtu hromadí.

Sledovací systémy

- **Constellation** (Oculus Rift; každé sledované zařízení má předdefinovanou konstelaci IR LED diod. Senzory, kterými jsou kamery s filtry pro zobrazení pouze v IR oblasti záření, odesílají obrazová data do počítače. Počítač zpracovává snímky a identifikuje polohu každé diody, určuje tak relativní polohu objektu. Software dokáže snadno rozpoznat, které LED diody jsou viditelné, protože zná tvar konstelace, pamatuje si, kde byl objekt na předchozím snímku. Známá jsou také data z akcelerometru (zrychlení) a gyroskopu (rotace). Každá dioda bliká na jiné frekvenci, aby byla identifikovatelná)
- **PlayStation VR** (kamery, pracující ve spektru viditelného záření. Panel pro zařízení PlayStation 4 obsahuje dvě kamery. Kamerová jednotka je připojena ke konzoli, která používá obrazová data ke sledování barevných pruhů světla na náhlavní soupravě a ovladačích).

- **Lighthouse** (Systém Valve SteamVR Lighthouse je v využíván produkty HTC Vive. Na rozdíl od většiny ostatních systémů nepoužívá kamery vůbec. Systém je navržen tak, aby umožňoval polohové sledování v měřítku místnosti, aniž by bylo nutné vracet data ze základnových stanic do počítače. Základnové stanice jsou umístěny v protilehlých horních rozích místnosti. Nekomunikují s PC a nenesou senzory. Vyzařují širokoúhlý dvourozměrný IR laserový paprsek přes celou místnost, který tzv. zametáním postupuje celým prostorem po dobu 10 ms. Paprsek je vyzařován postupně po jedné a poté po druhé ose, tedy opakovaně v horizontálním a následně ve vertikálním směru. Před každou změnou osy vyzařování vyzařují silný IR záblesk světla. Každé sledované zařízení obsahuje řadu IR fotodiod připojených k čipu. Tento čip měří čas mezi IR zábleskem a zásahem objektu laserovým 2D paprskem pro každou osu. Tímto způsobem určuje polohu zařízení v místnosti).
- **Inside-Out** (VR zařízení používá fotoaparáty zabudované přímo do headsetu, které vyhodnocují polohu pomocí algoritmů počítačového vidění. Tento způsob sledování pohybu zařízení je označován jako inside-out. Algoritmus používaný pro vyhodnocení polohy je SLAM. Algoritmus SLAM funguje tak, že kamery zaznamenávají jedinečné statické prvky v místnosti. Porovnáním rotace a zrychlení s tím, jak se zaznamenané prvky pohybují, lze určit polohu headsetu)

- SLAM

(Simultaneous localization and mapping)

- SLAM je výpočetní problém tvorby nebo aktualizace mapy neznámého prostředí při současném sledování polohy agenta v něm. Existuje několik algoritmů řešení, některá alespoň přibližná, v přijatelném čase a pro určitá prostředí. Mezi oblíbené přibližné metody řešení patří částicový filtr, rozšířený Kalmanův filtr, Covariance intersection a GraphSLAM. Algoritmy SLAM se používají v navigaci, robotickém mapování a odometrii pro virtuální realitu nebo rozšířenou realitu.

- *Obecný proces při použití SLAM algoritmu:*
- 1. Přibližný odhad pozice zařízení - odometrie
- 2. Měření okolního prostředí – např. laserový skener
- 3. Vyhledání orientačních bodů v okolí na základě předchozího měření
- 4. Porovnání aktuálních bodů s uloženými v paměti z předchozích měření
- 5. Výpočet změny polohy zařízení z porovnání bodů
- 6. Uložení nově pozorovaných bodů do paměti

- Hardware VR :

1. PC/konzole/smartphone
2. headset
3. ovladače a senzory.

- Dnes:

HTC (Taiwan) a Valve (USA), 2015.

- HTC Vive Pro (sluchátka, dva ovladače, dvě základnové stanice a headset dual AMOLED displayem o rozlišení 1440x1600 pixelů na jedno oko. Výsledné rozlišení je tedy 2880x1600 pixelů)
- HTC Vive Cosmos (vybaven osmi sledovacími kamerami. Kamery umožňují 310 ° pole sledování s šesti stupni volnosti. Kamery umožňují sledování pohybu a polohy zařízení bez nutnosti instalace základen.)

Oculus (od roku 2014 pod Facebook)

- Oculus Rift S (díky pěti kamerám zabudovaným do náhlavní soupravy Rift S je Insight schopen převádět všechny objekty do virtuálního prostoru pro skutečnou reprezentaci fyzického světa. Jedná se opět o metodu Inside-Out, která je doplňována hodnotami z gyroskopu, akcelerometru a magnetometru. Sledování

PlayStation VR

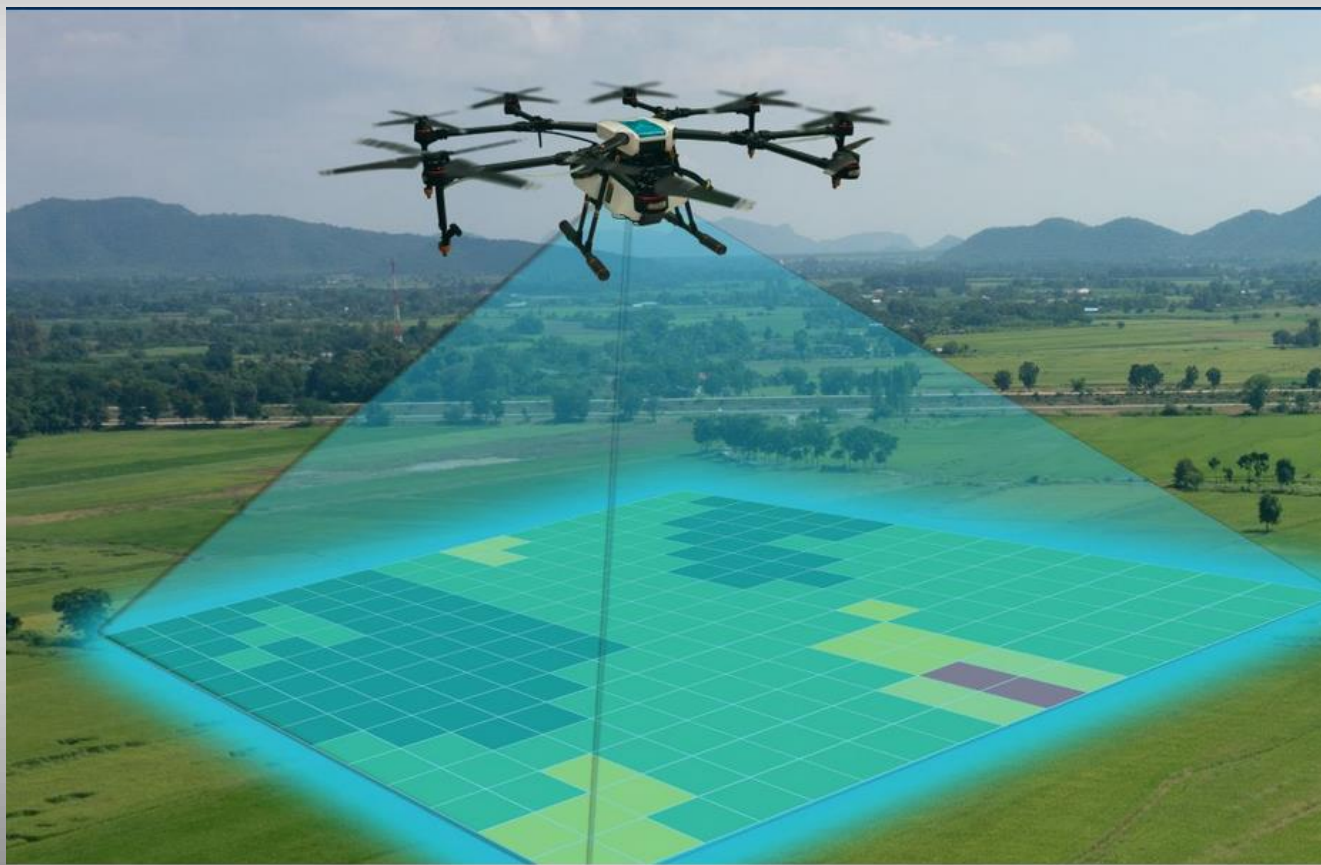
- Systém virtuální reality, Sony PlayStation VR, je určen pro použití s herní konzolí
- PlayStation 4 nebo PS4 Pro. Sedm šedých panelů umístěných na přední straně brýlí, společně s dvěma dalšími vzadu, skrývají barevná světla, která se rozsvítí při používání headsetu společně s kamerou PlayStation. Zařízení PlayStation Camera je vybaveno duálními objektivy a 3D hloubkovými snímači. Světla společně s kamerou zajišťují sledování polohy náhlavní soupravy i externích ovladačů DUALSHOCK 4, PlayStation Move nebo PlayStation VR aim.

Valve Index

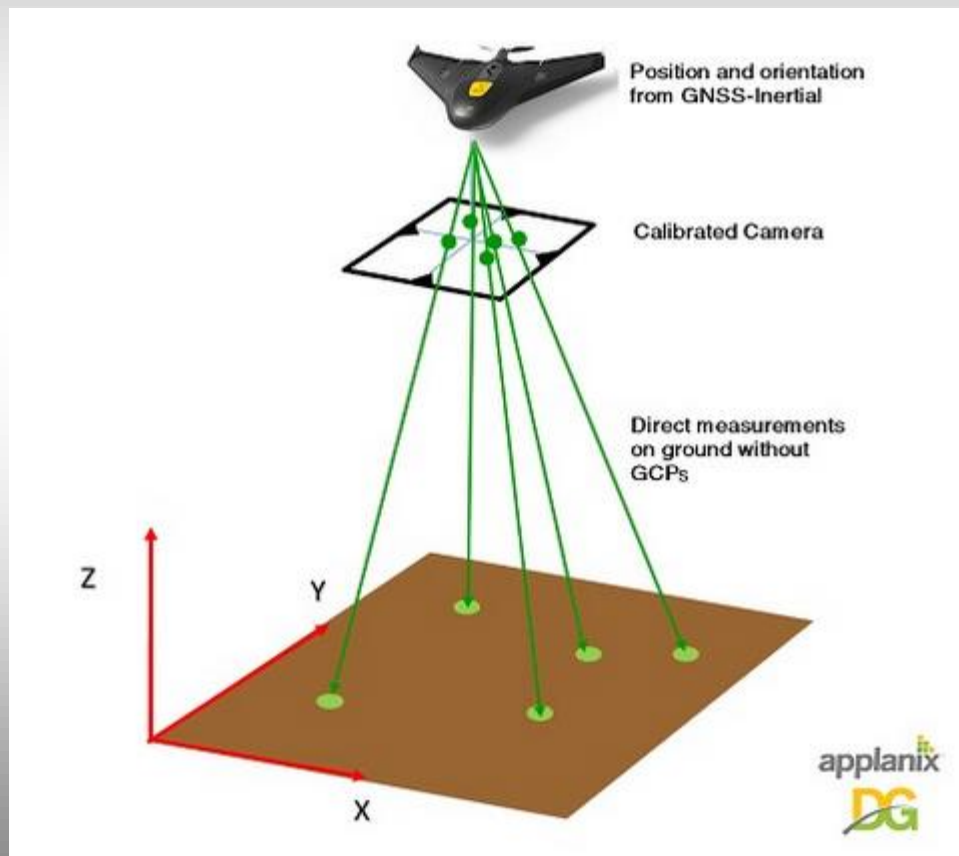
- obsahuje dvě základnové stanice (umožňující sledování pohybu), dva ovladače a HMD. Sledování zařízení zajišťují senzory SteamVR 2.0, kompatibilní se základnovými stanicemi SteamVR 1.0 a 2.0. Dva dodávané ovladače Valve Indexu jsou zkonstruovány tak, aby je bylo možné pevně přichytit k ruce. Kombinace sledování pohybu prstů, kterým jsou ovladače vybaveny a pevného upevnění na ruce, umožňuje uživateli ve virtuálním světě například skutečně sbírat a upouštět předměty. Ovladače mají tlakové senzory, které detekují míru stisku ovládacích prvků uživatelem. Každý ovladač používá 87 senzorů různých typů: optických, pohybových, kapacitních a silových

- INS = IMU + GNSS
- Přímé georeferencování (Direct Georeferencing DG), které poprvé vyvinula společnost Applanix v 90. letech 20. století, a které se hojně používají pro letecký průmysl, začaly využívat zejména drony (RPAS, UAV). Inerciální technologie Applanix DG GNSS pracuje s mapovacími senzory - kamerami, LiDARy a hyperspektrálními senzory za účelem provedení efektivního mapování; každý pixel nebo bod dat senzoru je „přímo georeferencován“ bez rozsáhlého měření pozemních vlíčovacích bodů (Ground Control Points GCP) nebo jiného sběru dat.

Využití v navigaci (RPAS – dron)



Přímé georeferencování





gyroskop

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/Gyroscope_operation.gif

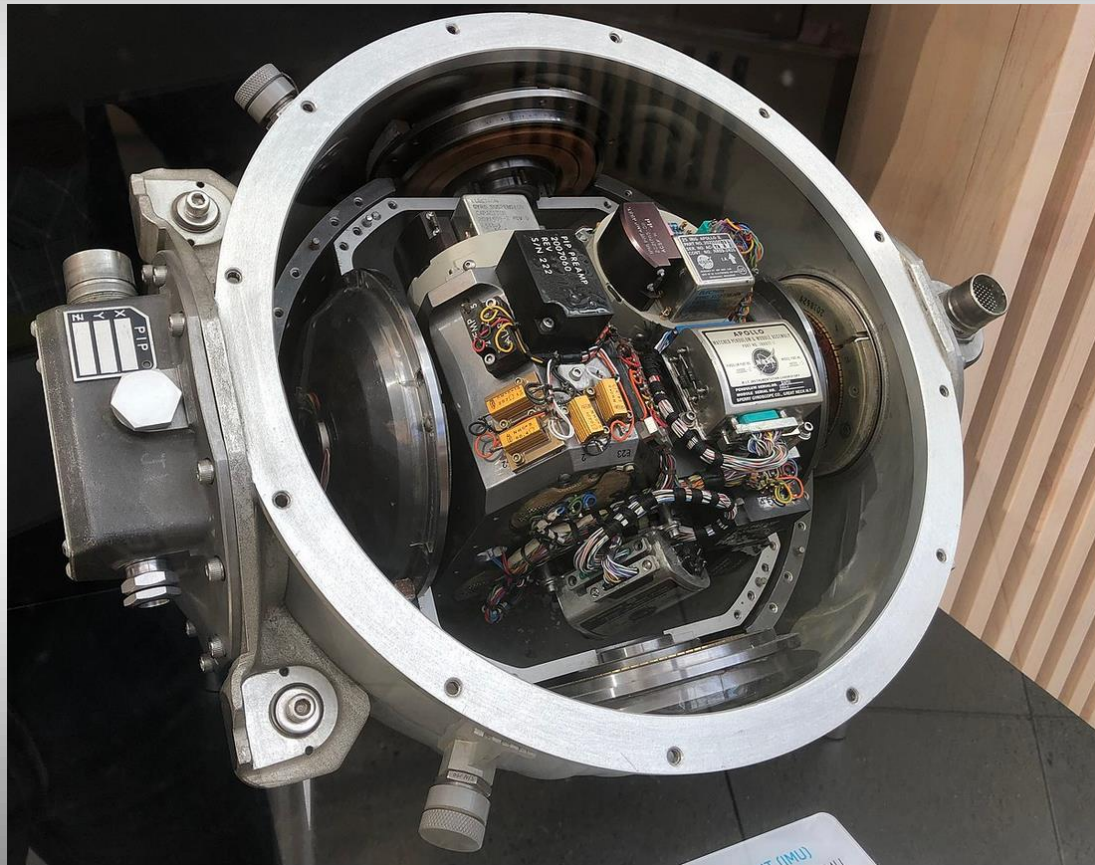


Přístroj obsahuje setrvačnick (rotační zařízení pro akumulaci kinetické energie), který zachovává polohu osy své rotace v inerciálním prostoru. Přesnost gyroskopu závisí na stabilitě udržení jeho otáček.

Gyroskop Ignáce Kotrnetze pro ponorková torpéda (1.sv.válka).



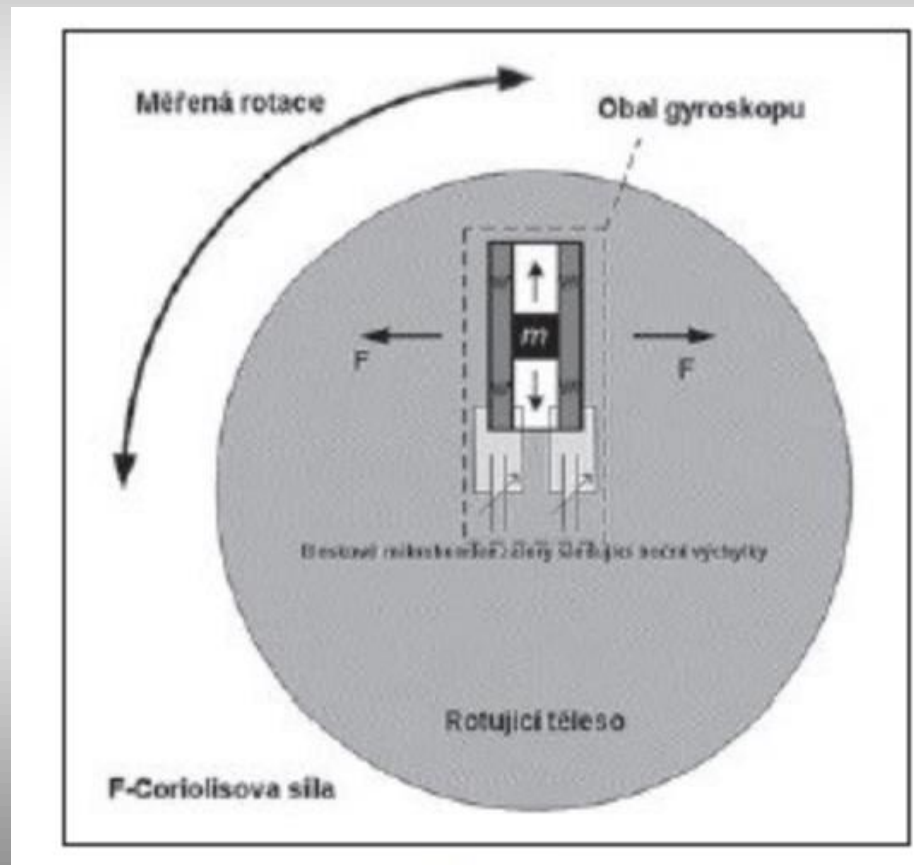
Apollo IMU



MEMS

- MEMS a MOEMS jsou anglické zkratky pro MicroElectroMechanical Systems a MicroOptoElectroMechanical Systems.
- Systémy MEMS spojují mikroelektronické a mikromechanické komponenty o rozměrech 1 μm až 100 μm . Systémy MEMS mají rozměry od 20 μm až do 1 mm. Obvykle obsahují základní jednotku (central unit), která zpracovává data (microprocessor), a několik komponent, které reagují s okolím, oOptoElectroMechanical Systems.

MEMS gyroskop



INS - IMU



APX-UAV Boardsets



- Příklad aplikací:
- Senzory MEMS v chytrých telefonech (SmartPhones)
- akcelerometry (accelerometers), potřebné pro stabilizaci portrétů nebo pohledu na krajinu;
- gyroskopy (gyroscopes), magnetometry (magnetometers),
- čidla pro dotykové rozhraní (touch interface), pro otvírání a posouvání aplikací
- IMU

Virtuální muzeum

- moderní muzejnictví, způsoby digitalizace muzeí a také na jejich edukační význam.
- vzdělávací význam moderního muzea, vhodná digitalizace kulturního dědictví a možnostmi virtuálního muzea
- Virtuální muzea jsou ze své podstaty závislá na kvalitě zpracování VR.
- propojení prvků vzdělávání s virtuálním muzeem

(Virtuální muzeum a nové možnosti vzdělávání, Vladimír Jůva, 2008)

Tvorba virtuálního muzea

- Tvorba modelu budovy, prostředí (např. SketchUp, Trimble)
- Virtuální prostředí (Tvorba veškerého prostředí, včetně umístění všech potřebných objektů pro vytvoření kvalitního VR muzea, byla provedena v herním enginu *Unreal Engine 4*. Produkt *UE4* vytvořený firmou *Epic Games* je vysoce kvalitní volně přístupný nástroj pro 3D tvorbu v reálném čase. Jádro softwaru je napsáno v programovacím jazyce C++. Engine podporuje v současné době mnoho platforem a disponuje také možností vlastního skriptování při tvorbě nového obsahu)
- Tvorba exponátů – fotogrammetrie (IBMR), laserové skenování, CAD

- **Retopologie modelů** (*High-poly* model je náročný na výpočetní paměť i úložný prostor zařízení – lépe *Low-poly* modely. = Decimace modelů ; *Instant Meshes* je volně dostupný program pro automatickou retopologii síťových modelů
- **Normálové mapy**: Retopologie sice sníží velikost výsledného modelu z desítek až stovek MB na jednotky, ale zároveň snižuje také kvalitu detailů povrchu. Pro věrnou vizualizaci bylo potřeba provést tzv. vypečení textury z *High-poly* modelu na odpovídající *Low-poly* model. Jednalo se o vytvoření normálové mapy textury, která při následné vizualizaci vytváří iluzi nerovnosti povrchu bez existence její geometrie
- **Unwrapping textur**: textury modelů existují pouze ve 2D prostoru. Pro vytvoření mapy textury slouží souřadnice U a V , které reprezentují hodnoty na vodorovné a svislé ose textury. UV mapování je proces, který převede 3D polygonovou síť na 2D informaci tak, že pak lze kolem modelu texturu "omotat".

VR muzeum

- Projekt laboratoře fotogrammetrie, 2019
- Učebna VR 5+1 stanic VR v hodnotě 1 mil.Kč
- již 2 diplomové práce v 2020
- Vývoj prostředí, tvorba modelů (historické objekty, 3D krajina, historická důlní činnost aj.)
- fotogrammetrie IBMR + laserové skenování

Mapovat na povrchu Země, ze vzduchu i z kosmického prostoru umíme

- A co pod vodou a pod pevným povrchem zemským?

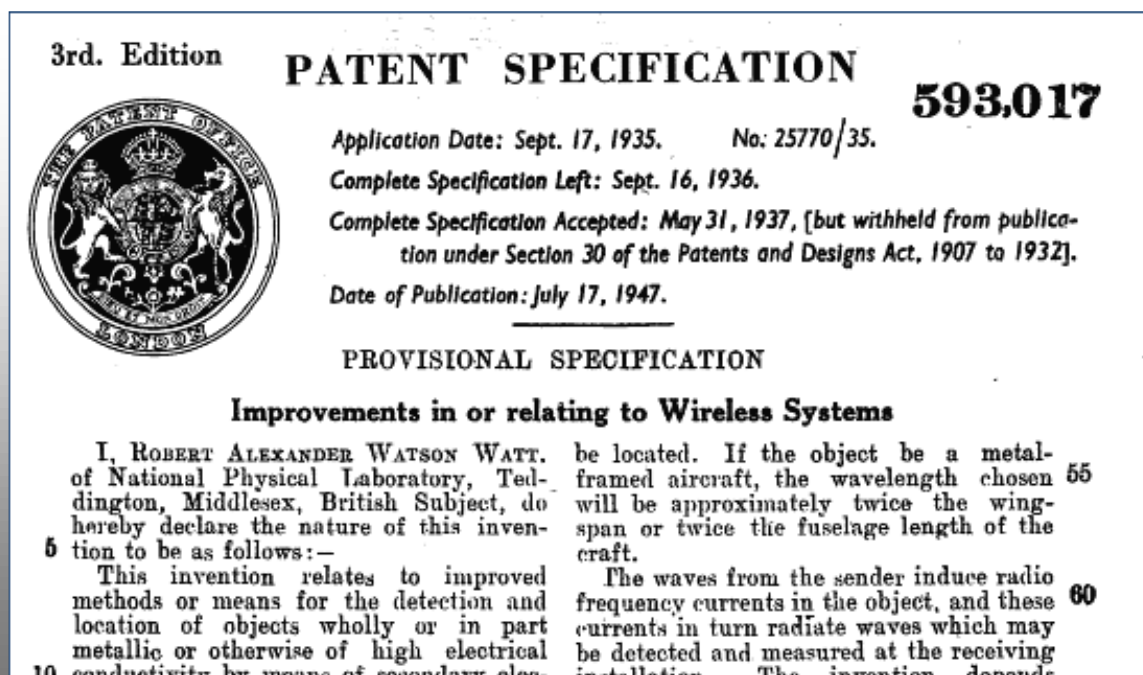
Je třeba použít jiné senzory:

- Radar a magnetometr pod zemským povrchem (geofyzikální metody), odporová metoda
- Sonar a fotografie pod vodou

Georadar GPR (ground penetrating radar)

- **Georadar**
- Použité zařízení: GSSI SIR – 3000, anténa 400MHz, 200MHz, 1,6GHz; Single-Channel GPR Data Acquisition System, Geophysical Survey Systems, Inc.-GSSI, USA
- <http://www.geophysical.com> (sales@geophysical.com)
- http://userpage.fu-berlin.de/~geodyn/instruments/Manual_GSSI_Antennas.pdf

- 1935, britský fyzik Sir Robert Watson-Watt patent
- Příklad nazvaný radar je akronymem pro Radio Detection And Ranging
- první GPR průzkum Otto Stern, 1929, měření hloubky ledovce, zapomenuto
- 1960 John C. Cook, vývoj
- Morey a Drake založili Geophysical Survey System Inc. – vývoj georadarů



GPR

- výpočet vertikální rozlišovací schopnosti a hloubky

$$d_l \approx 0.5 \times \frac{v}{f_c},$$

Kde je:

d_l ... vertikální rozlišovací schopnost,
 v ... průměrná rychlost,
 f_c ... frekvence použité antény.

$$h = \frac{v \cdot \tau}{2}, \text{ kde značí}$$

v ... rychlost šíření vlny prostředím,
 τ ... tranzitní čas.

Závislost rychlosti na hodnotě dielektrické konstanty je uvedena dále

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Kde je:

v ... průměrná rychlost,
 c ... rychlost světla,
 ϵ_r ... dielektrická konstanta (permitivita).

dielektrikum

**HODNOTY DIELEKTRIKA A VERTIKÁLNÍ ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOSTI
PRO BĚŽNÉ MATERIÁLY**

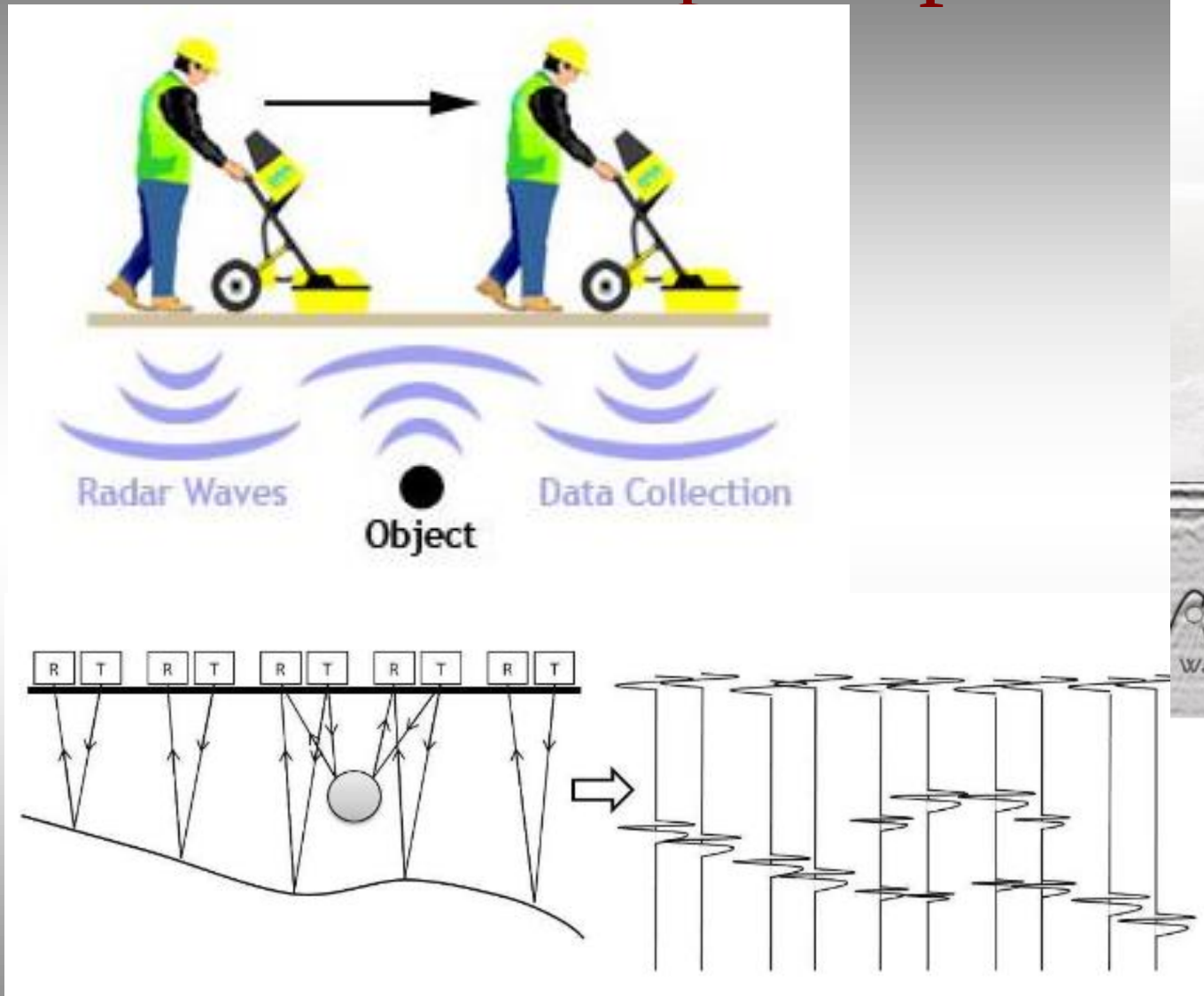
Materiál	Dielektrikum	Vertikální rozlišení [cm]
Vzduch	1	38
Polární led	3,6	20
PVC	3	21
Asfalt	3 - 5	21 - 17
Beton	4 - 11 (5)	19 - 11 (17)
Žula	4 - 7	19 - 14
Pískovec	6	15
Jílovitá břidlice	5 - 15	17 - 9
Vápenec	4 - 8	19 - 13
Čedič	8 - 9	13 - 12
Vodou nasycený písek(20% pórovitost)	19 - 24	9 - 7
Půdy a sedimenty	4 - 30	19 - 7
Voda	81	0,4

Dosah GPR

Tabulka doporučených rozsahů pro jednotlivé antény

Frekvence	Typická maximální hloubka [m]	Typický rozsah [ns]
2,6 Ghz	0,3	10
1,6 Ghz	0,5	10 - 15
900 Mhz	1	11 - 20
400 Mhz	3	20 - 100
200 Mhz	8	70 - 300
100 Mhz	20	300 - 500

princip



GSSI SIR – 3000



GPR

- Ground Penetrating Radar (GPR) je technologie založena na rozboru řízeného přenosu elektromagnetických vln zkoumanou konstrukcí či zemí. Vysílač antény odesílá přerušované sinusoidní impulsy. Elektromagnetické vlny prostupují materiálem rychlostí závislou na elektromagnetických vlastnostech zkoumaného podloží. Následně jsou přijímačem antény zachyceny impulsy odražené (mající zpoždění od desítek do tisíců nanosekund) od rozhraní jednotlivých vrstev, které mají odlišné dielektrické vlastnosti.
- Objekty pod povrchem se projevují obvykle jako paraboly; jejich vznik je dán pohybem radaru, šířkou signálu a odrazem. Parabolické pravidelné signály prezentují válcová – liniová tělesa pod povrchem (např. silnější kabely, potrubí aj., ve větším pojetí ale též klenby sklepů a zbytky staveb).

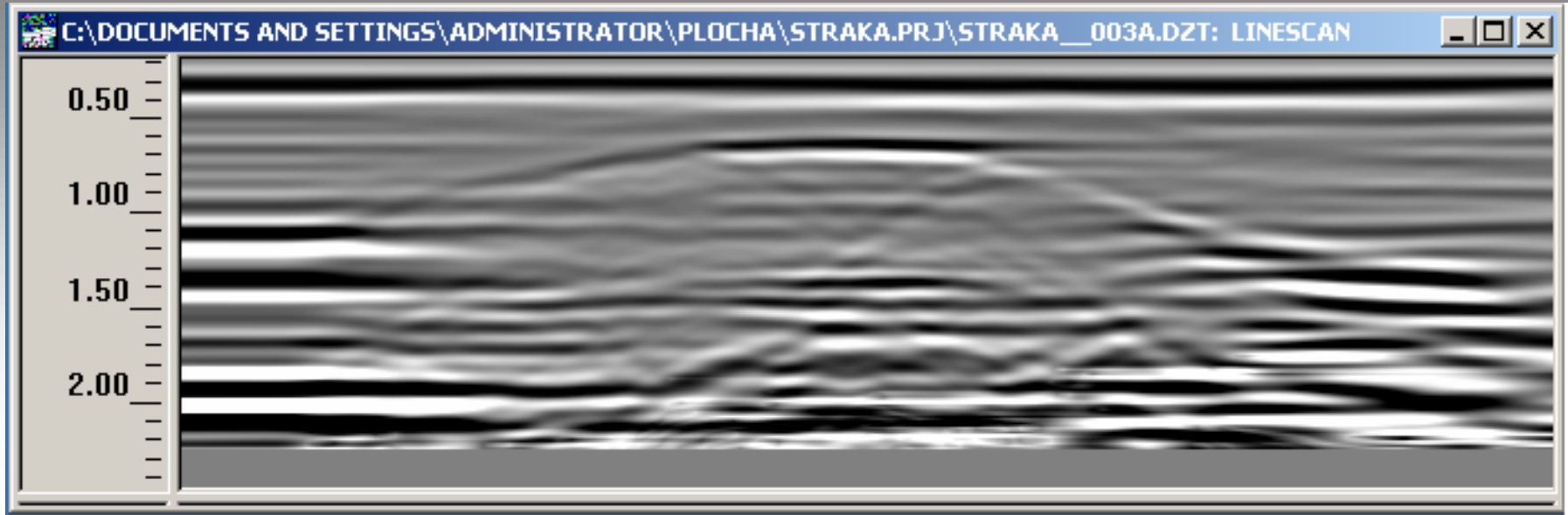


Neznámé krypty kostela sv. Václava ve Strakoniciích

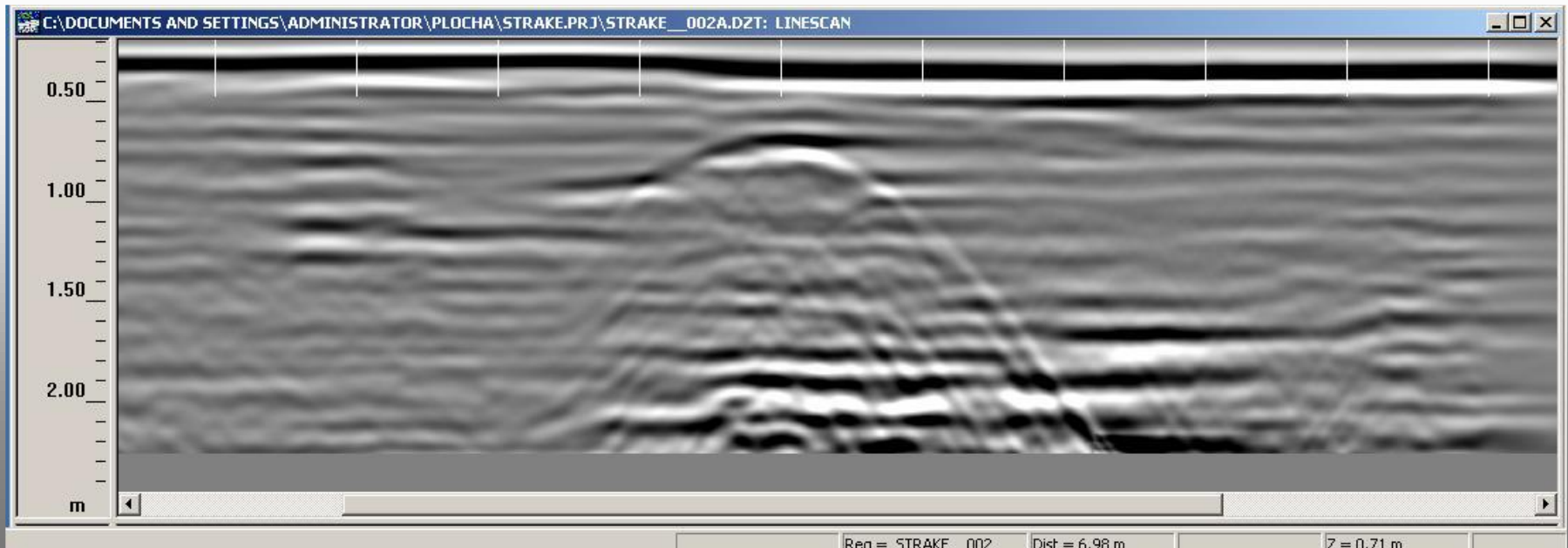
Hřbitovní kostel sv. Václava ve Strakoniciích, založen před r. 1308 Bavorem III. První zmínka o kryptě je z r. 1718, druhá z r. 1738 po barokizaci kostela, více ale není známo, počet ani poloha.



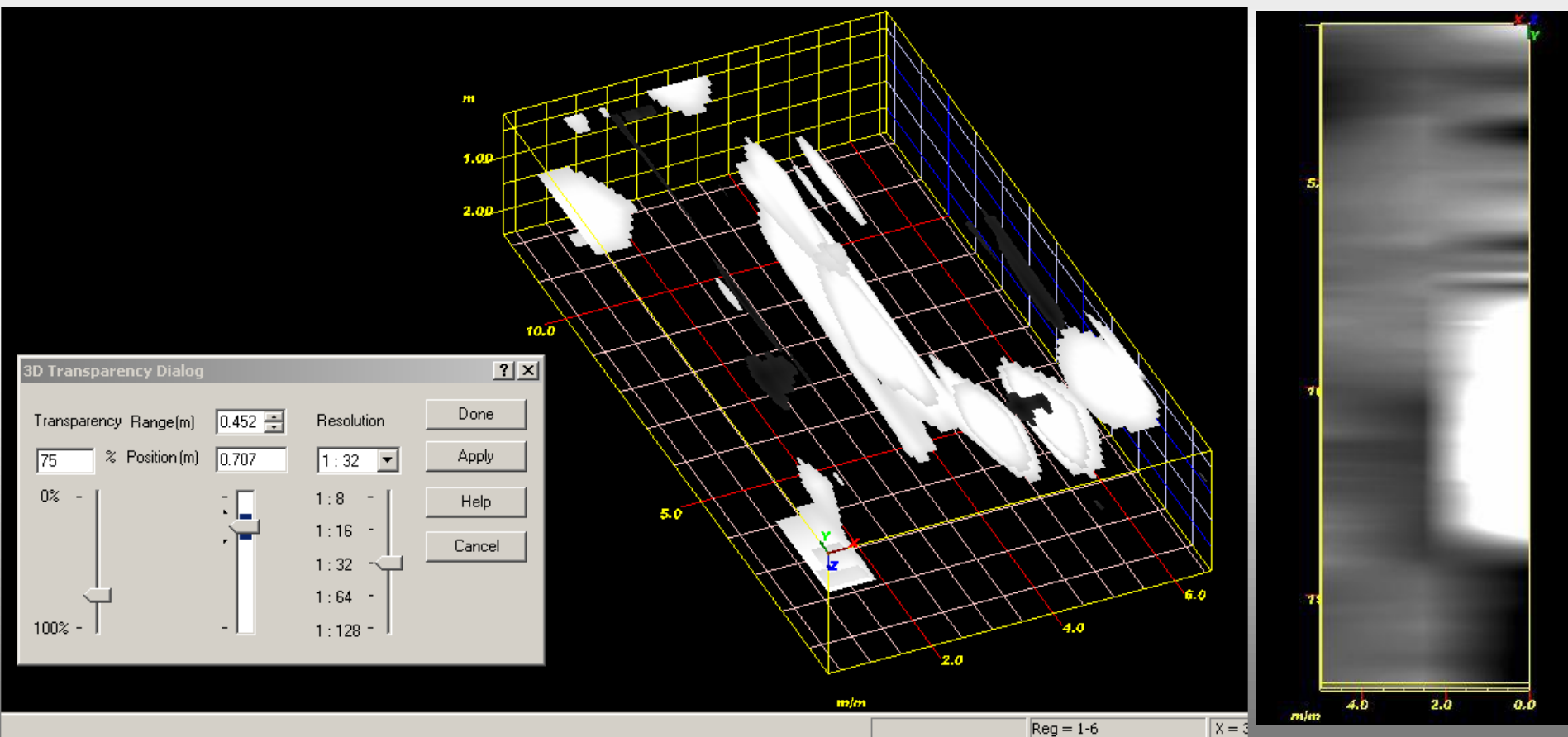
Výsledky měření georadarem - profily



Sakristie a hlavní loď kostela



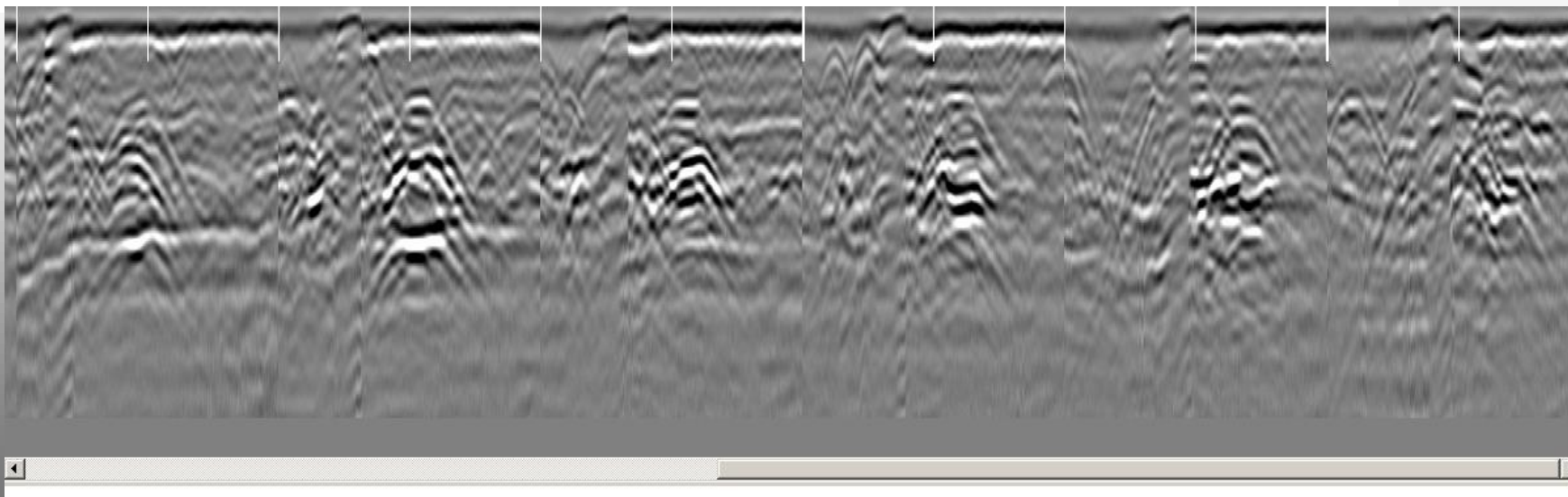
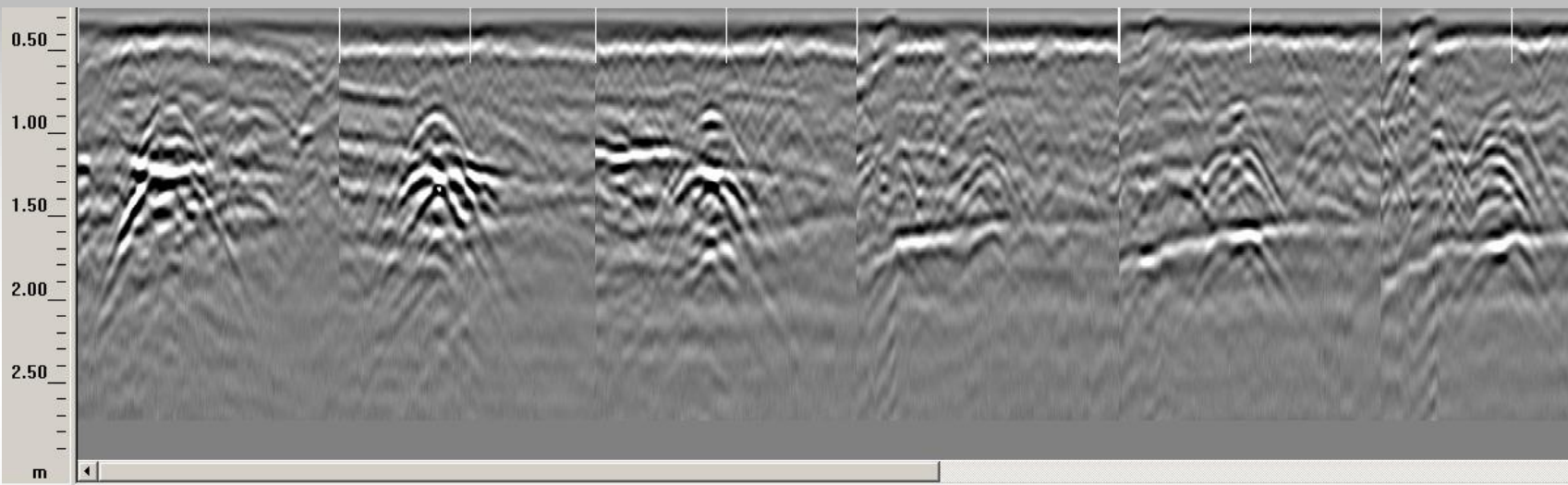
Radan – sw pro plošné vyobrazení objektu v podzemí z profilů



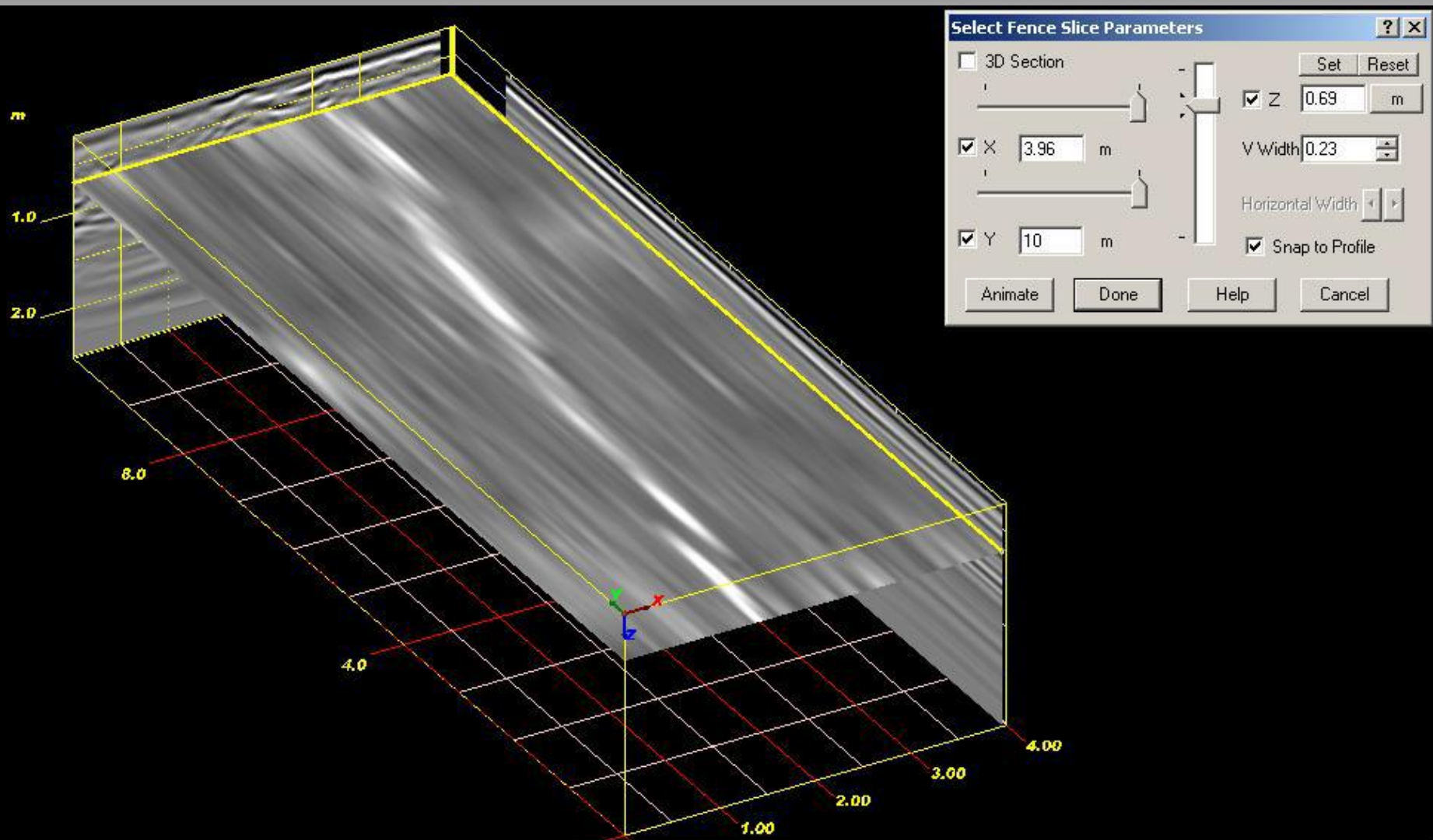
Klášter v Teplé



radarogramy



Přívod vody, hloubka 0,55m (horní část štoly).

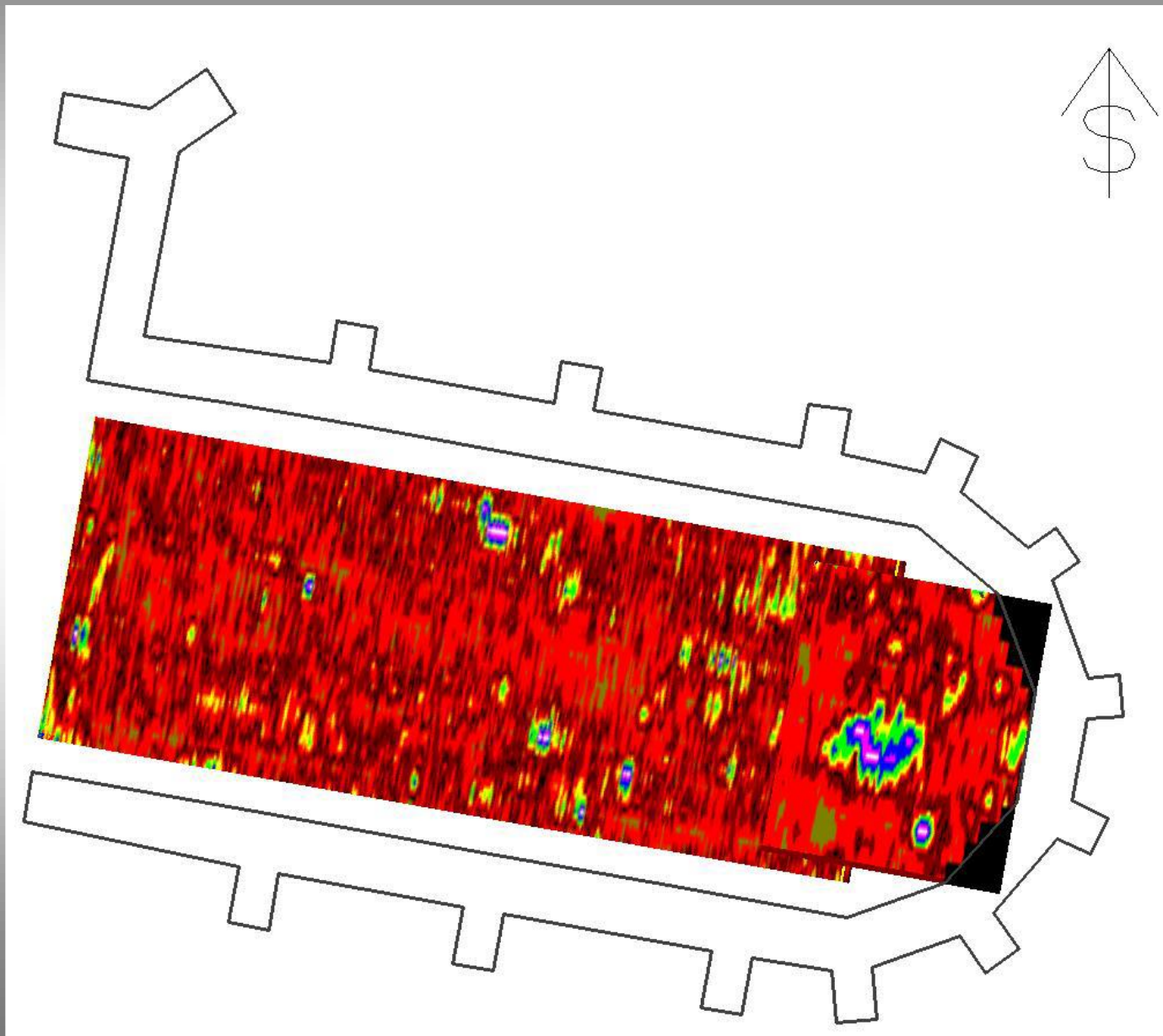


Panenský Týnec

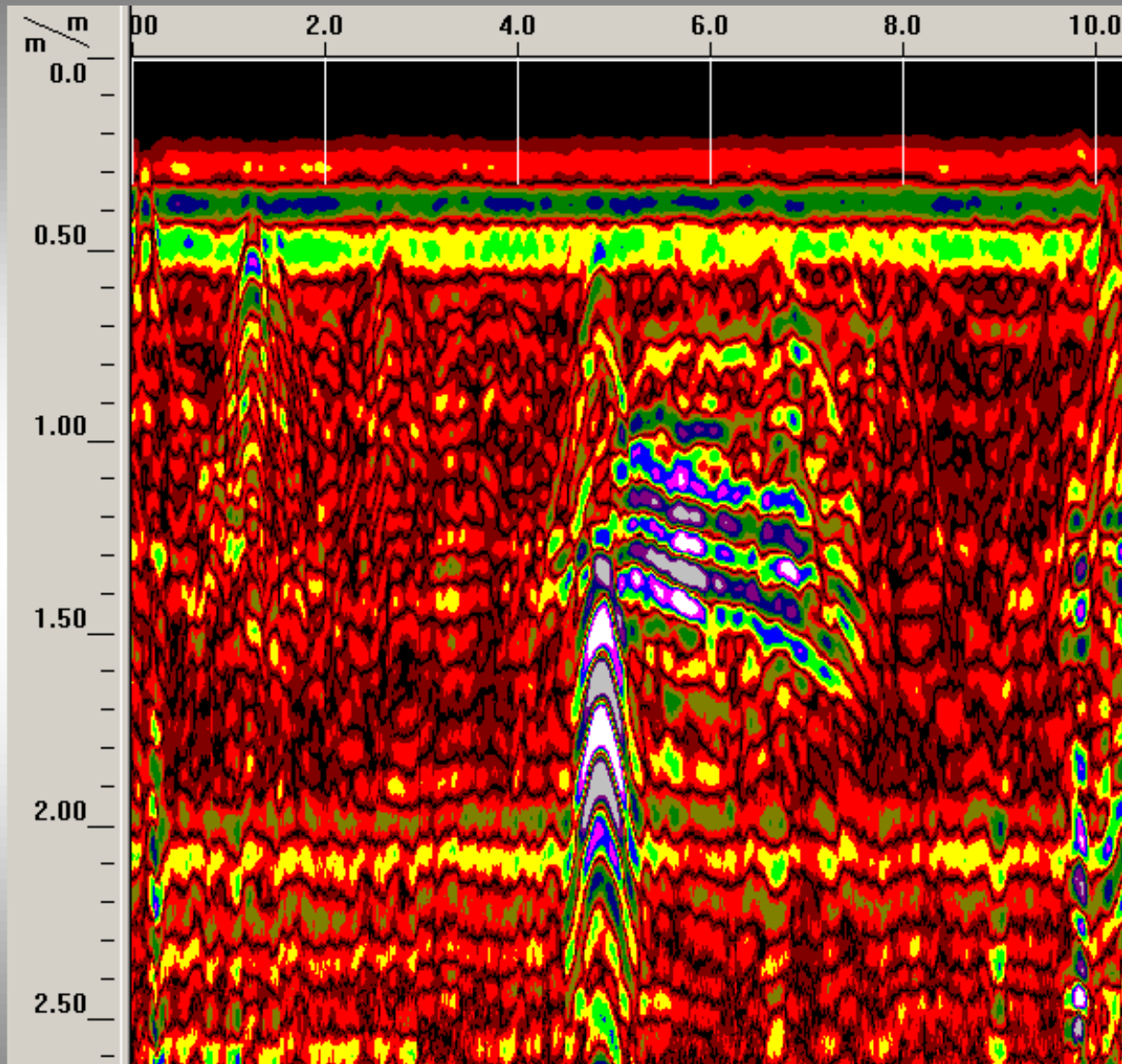
- Týnec je odvozeno od slova Týn či starokeltského Taun, což znamená místo hrazené, otýnné, opevněné kůly. Panenský - odvozeno od panen klarisek františkánského řádu.
- První zmínka je již z r. 1115. Dnes známé výletní místo, spojené s energetickým centrem v nedostavěném gotickém chrámu; místo častých svatebních obřadů
- Geodetické zaměření objektu a jeho podpovrchový průzkum v rámci diplomových prací
- při měření GPR nalezen podpovrchový objekt, patrně neznámá hrobka, a dále objekt v hlavní lodi chrámu.



Hlavní loď chrámu

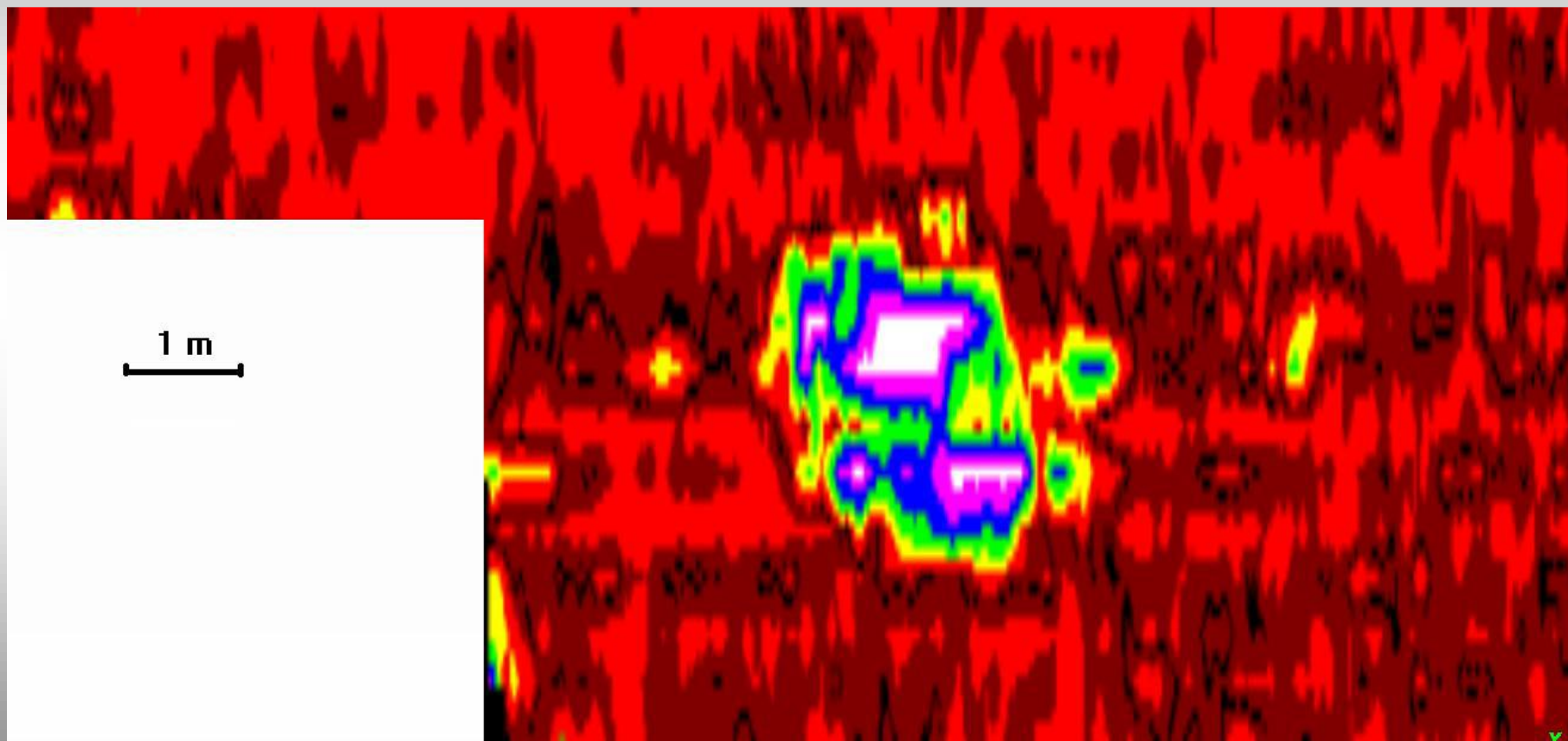


Neznámá hrobka vedle chrámu

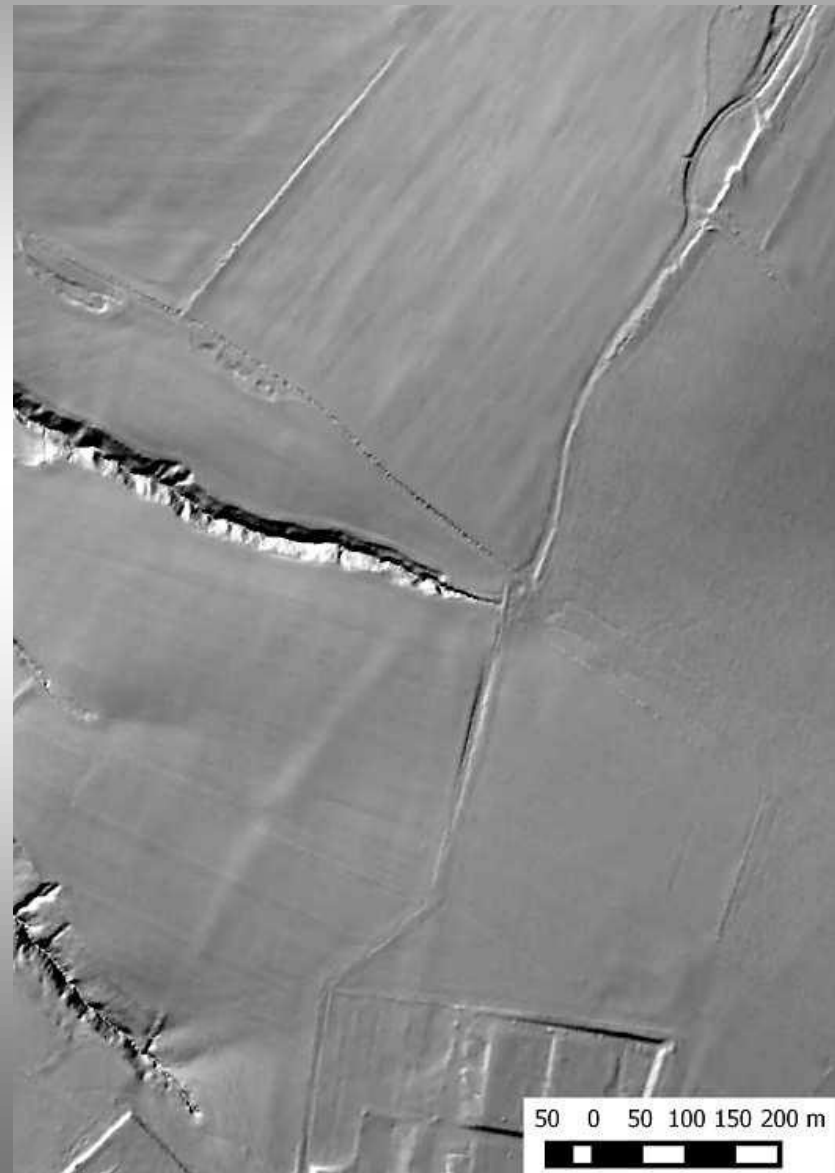


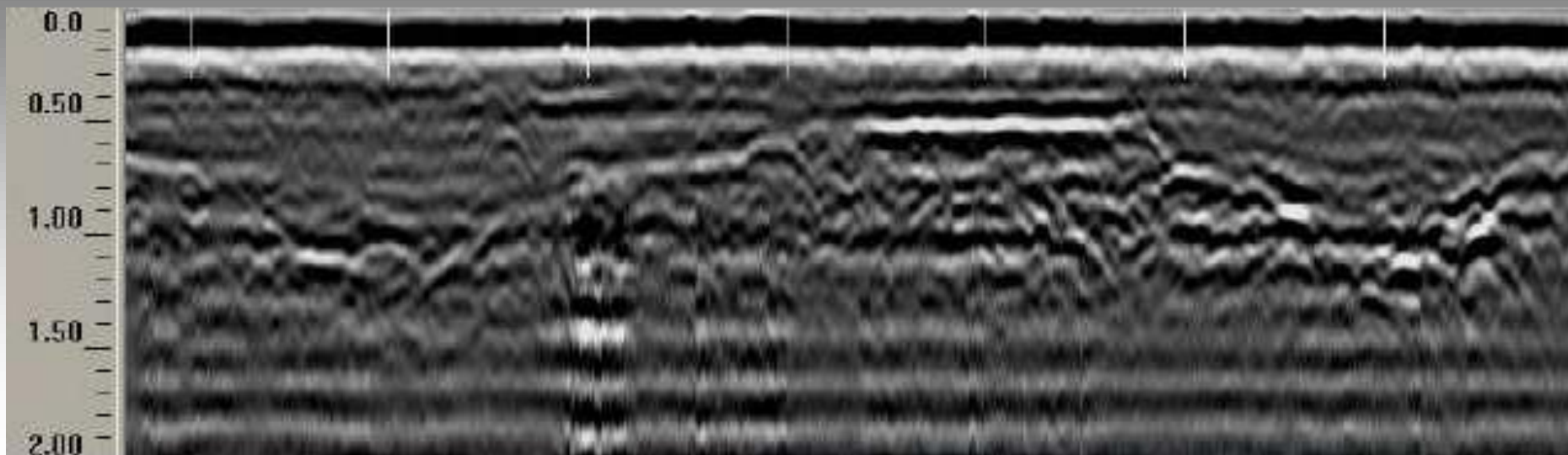
Neznámá hrobka vedle chrámu,

extrapolace z jednotlivých profilů, hloubka 1,1m

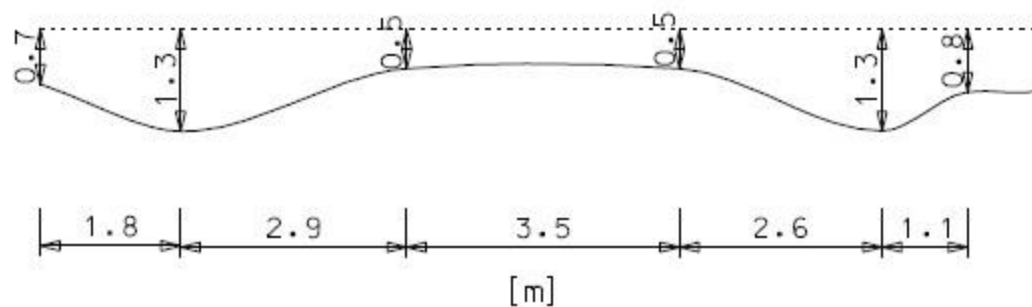


Čertova brázda, Lipany



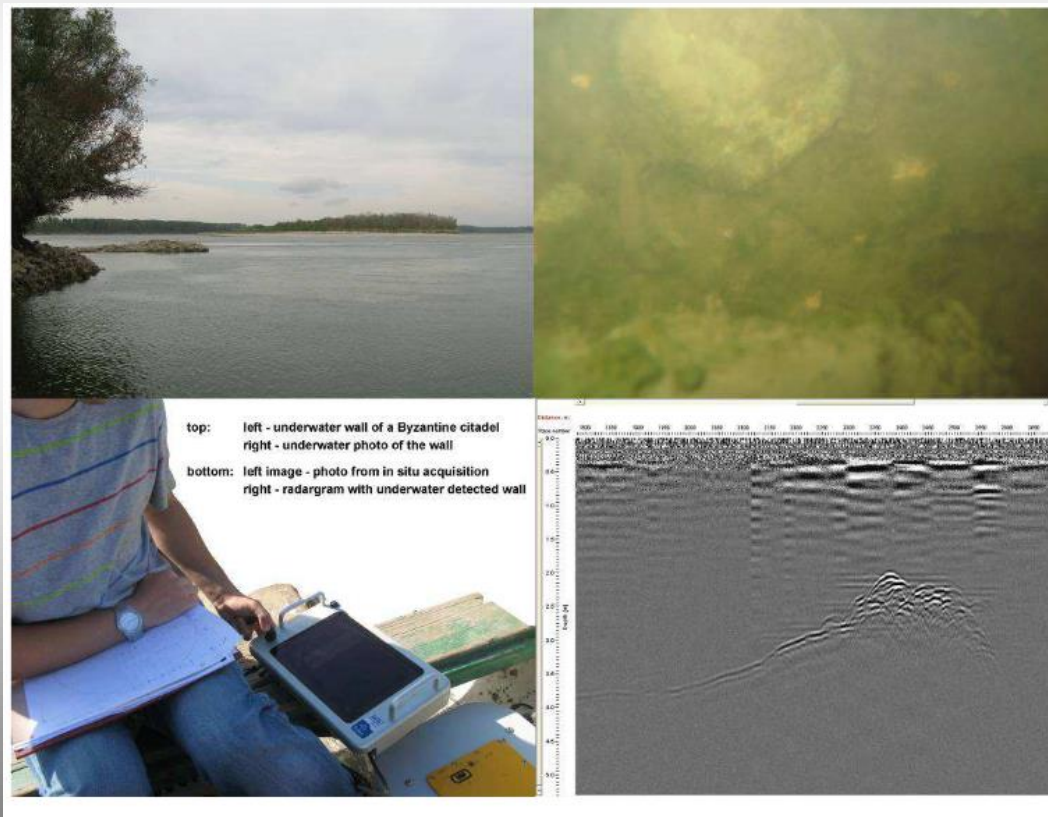


Val a příkopy - řez B

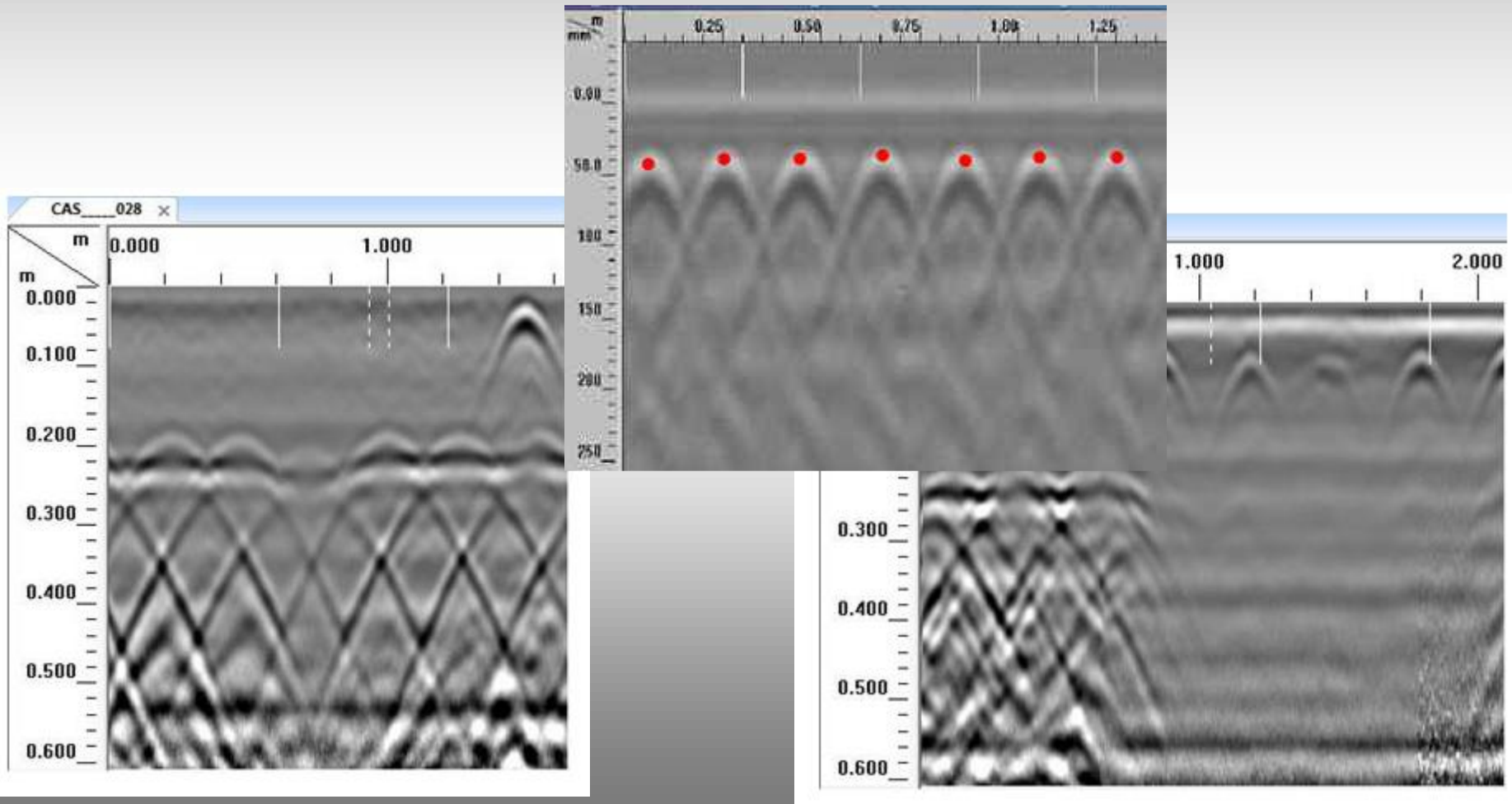


..... Současný povrch
 ————— Útvar odhalený georadarem

Radarogram - Dunaj, podvodní aplikace, val- byzantská pevnost



Průzkum betonových prvků, anténa 1,6 GHz



Plošné měření



zaniklé římské město Falerii Novi, ležící
asi 50 km severně od Říma

<https://vedator.org/2020/06/rimske-mesto-detailne-prozkoumano-pomoci-georadaru/>



Carnuntum, 40km JV od Vídně, římský vojenský tábor a město



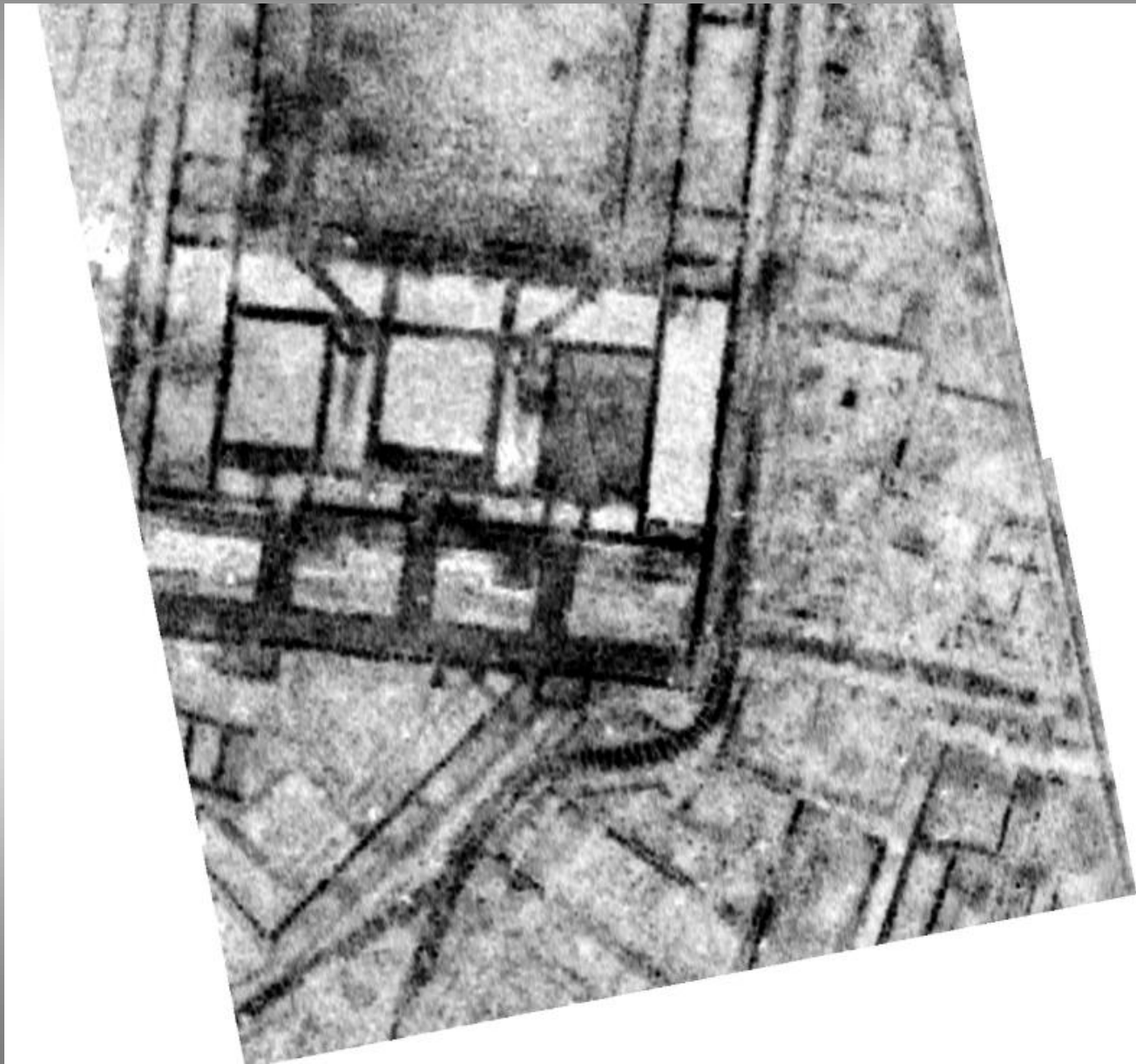
Letecká archeologie



GPR – spřažené antény tažené čtyřkolkou



- Roman forum, hloubka 1,5m, profily 50cm



Césiový magnetometr (viz dále)



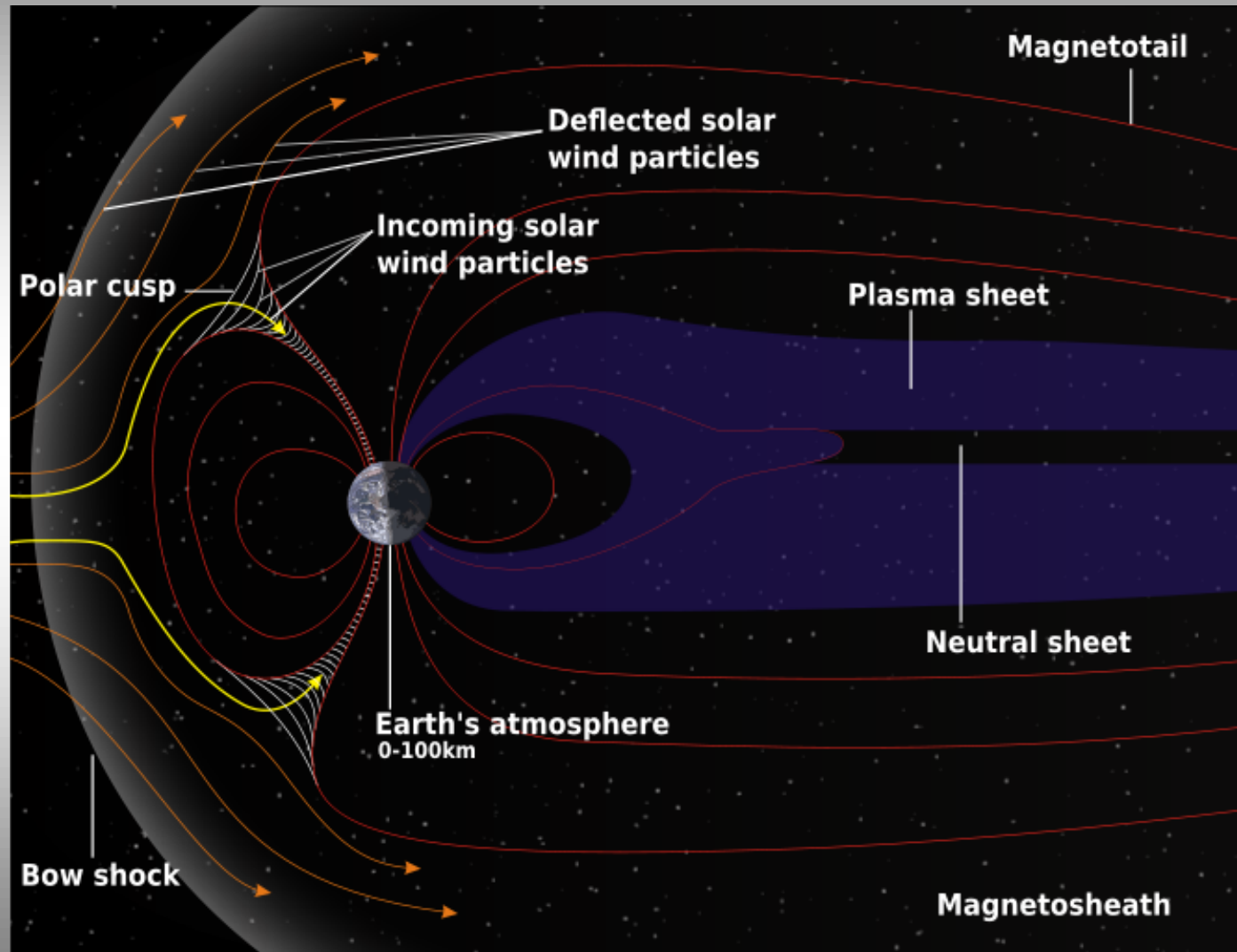
Magnetometr

- **Magnetometr/gradientometr**
- GEM systems, GSM -19, Overhauser, USA
- Sensitivity: 0.022 nT @ 1 Hz, (0.015 nT option)
- Resolution: 0.01 nT
- Absolute Accuracy: +/- 0.1 nT
- Dynamic Range: 20,000 to 120,000 nT
- Gradient Tolerance: Over 10,000 nT/m
- <http://www.gemsys.ca>
- Magnetometr je citlivý na nepatrné změny magnetismu, v sestavě radiometr jsou nad sebou dvě cívky a definuje se gradient, citlivější na nepatrné změny magnetismu. Jelikož vše v našem okolí je magnetické, lze takto definovat podpovrchové útvary. Kupříkladu kamenné stěny, útvary z pálených cihel aj. Zbytky spálených předmětů mají opět odlišný magnetismus.

- Vývoj magnetometrů 50. léta 20. století (Aitken - Webster - Rees 1958)
- Magnetická indukce je fyzikální veličina, která vyjadřuje silové účinky magnetického pole na částice s nábojem nebo magnetickým dipólovým momentem. Jedná se o vektorovou veličinu. Značí se velkým písmenem B a základní jednotkou v soustavě SI je *tesla* [T].
- Magnetickou indukci si představujeme jako sílu, kterou magnetické pole působí na pohybující se elektrický náboj. Velikost magnetické indukce B v určitém místě magnetického pole je definována jako maximální síla F_{max}, kterou působí pole na náboj Q, který se pohybuje rychlostí v

$$B = \frac{F_{max}}{Q \cdot v},$$

Struktura magnetického pole Země



Zemská magnetosféra

Tvar zemské magnetosféry je silně ovlivněn slunečním větrem, který na návětrné straně působí tlakem přibližně $1,7 \text{ nPa}$. Tím tlačí na magnetosféru, která ustupuje do vzdálenosti asi deseti zemských průměrů (cca 60.000 km). Na odvrácené straně je magnetosféra prodloužená do chvostu sahajícího daleko za oběžnou dráhu Měsíce. Hranice mezi magnetosférou a meziplanetárním magnetickým polem se nazývá magnetopauza.

Magnetické pole Země se mění v čase i prostoru. Ve Střední Evropě je cca 45.000 nT , v polárních kruzích cca 70.000 nT . Časové fluktuace zemského magnetického pole závisí na aktivitách jádra Země, na aktivitě Slunce a na magnetických bouřích v ionosféře, dále na materiálu zemské kůry a v detailním měřítku na přítomnosti magnetických objektů.

Protonový magnetometr

- Princip: obecným principem u tohoto druhu magnetometru měření precesního kmitočtu volných protonu, který je přímo úměrný měřenému magnetickému poli.
- Umožňuje velmi přesně absolutní měření s rozlišením 0; 1 nT.
- Přístroj se skládá z nádoby naplněné tekutinou s vysokou koncentrací protonu ovinutou vodičem. Cyklus měření se skládá z části počátečního polarizování protonu a následného měření.

Magnetometr



magnetometr

- Režim magnetometrický a gradientový
- Absolutní magnetometrické měření měří rozložení mag.pole
- Gradientové měření odstraňuje lokální variace celého pole (2 sondy nad sebou a měří se rozdíl)
- Podstatou magnetometrického měření je sledování anomálií, způsobených podzemními strukturami

Archeologické aplikace

Magnetická susceptibilita je fyzikální veličina, která popisuje chování materiálu ve vnějším magnetickém poli. Značí se χ_m a je bezrozměrnou veličinou. Její hodnotu lze vypočítat ze vztahu

$$\chi_m = \frac{M}{H},$$

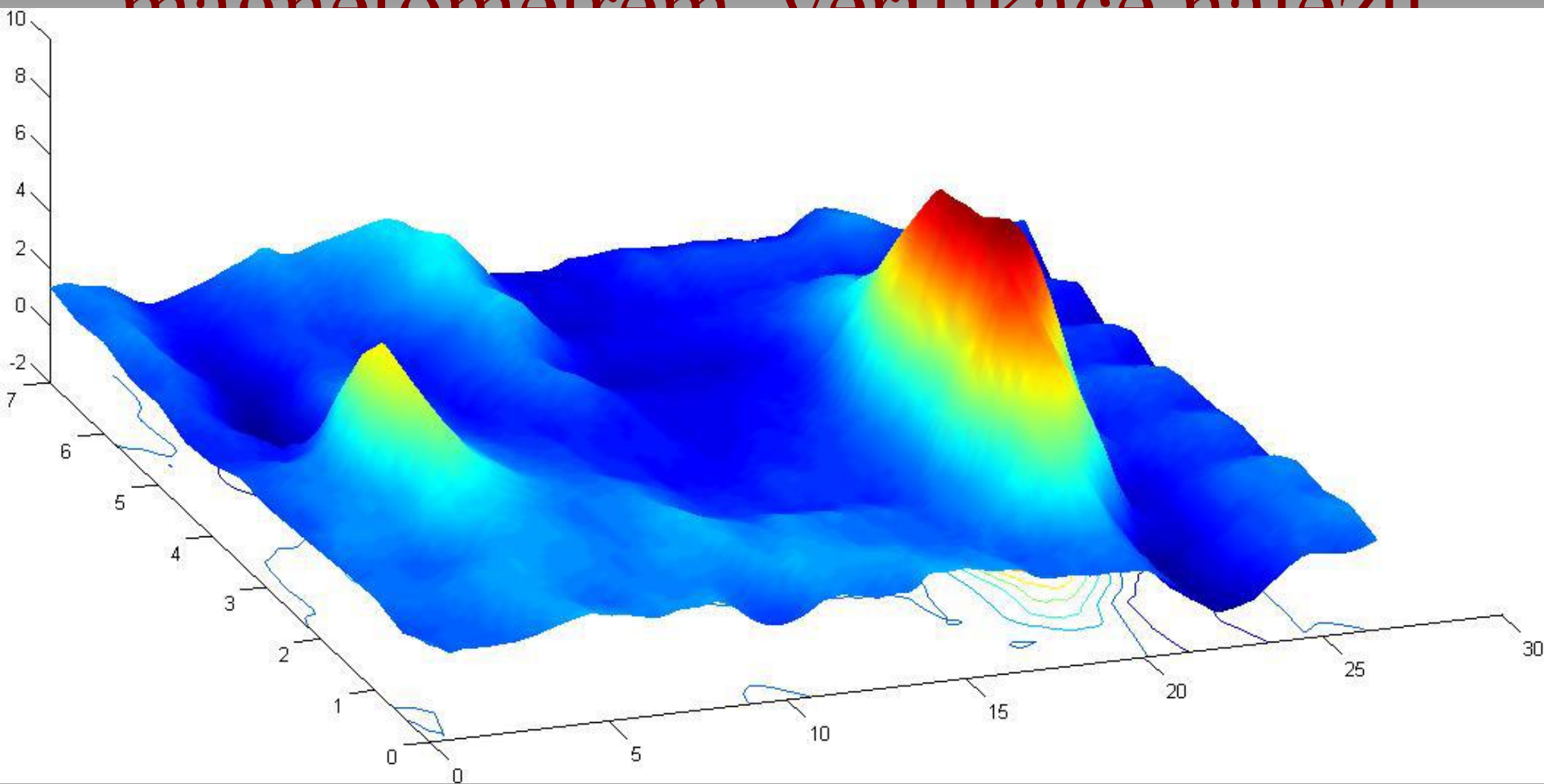
kde M je magnetizace a H intenzita magnetického pole. Obě uvedené veličiny se měří v ampérech na metr.

- Ohniště, pece, propálené hlíny, požárové vrstvy, střepniska, Fe-předměty aj., tzn. památky, jejichž magnetizace se vytvořila působením geomagnetického pole v podmínkách značných teplotních změn. Jedná se o termoremanentní magnetizaci, vzniklou při silném zahřátí hlín a jílu.
- Zahloubeniny, sekundárně vyplněné tmavšími hlínami s organickými zbytky, magnetickými předměty aj. (příkopy, sídelní a sídlištní objekty, hrobové jámy, hliníky atd.).
- Kamenné prvky z magneticky aktivních hornin (granodiorit, diorit, gabro, nepálené cihly aj.).

Očekávaná magnetická susceptibilita

Druh archeologického nálezu	Susceptibilita ($n \cdot 10^{-4}$ SI)
<i>Otevřená sídliště</i>	
Zdivo z cihel	67 – 73
Shořelé domy	26 – 265
Polozemnice, zemnice, zásobní jámy	6,9 – 18,7
Kulové jámy, obvodové žlaby	2,2 – 7,5
<i>Opevnění</i>	
Dřevohlinité valy, propálené	51 – 108
Příkopy	6 – 13
<i>Pohřebiště</i>	
Hrobové jámy	4 – 10
<i>Výrobní objekty</i>	
Ohniště	3,5 – 8,3
Pece železářské	35 – 640
Pece hrnčířské	5,6 – 8,9

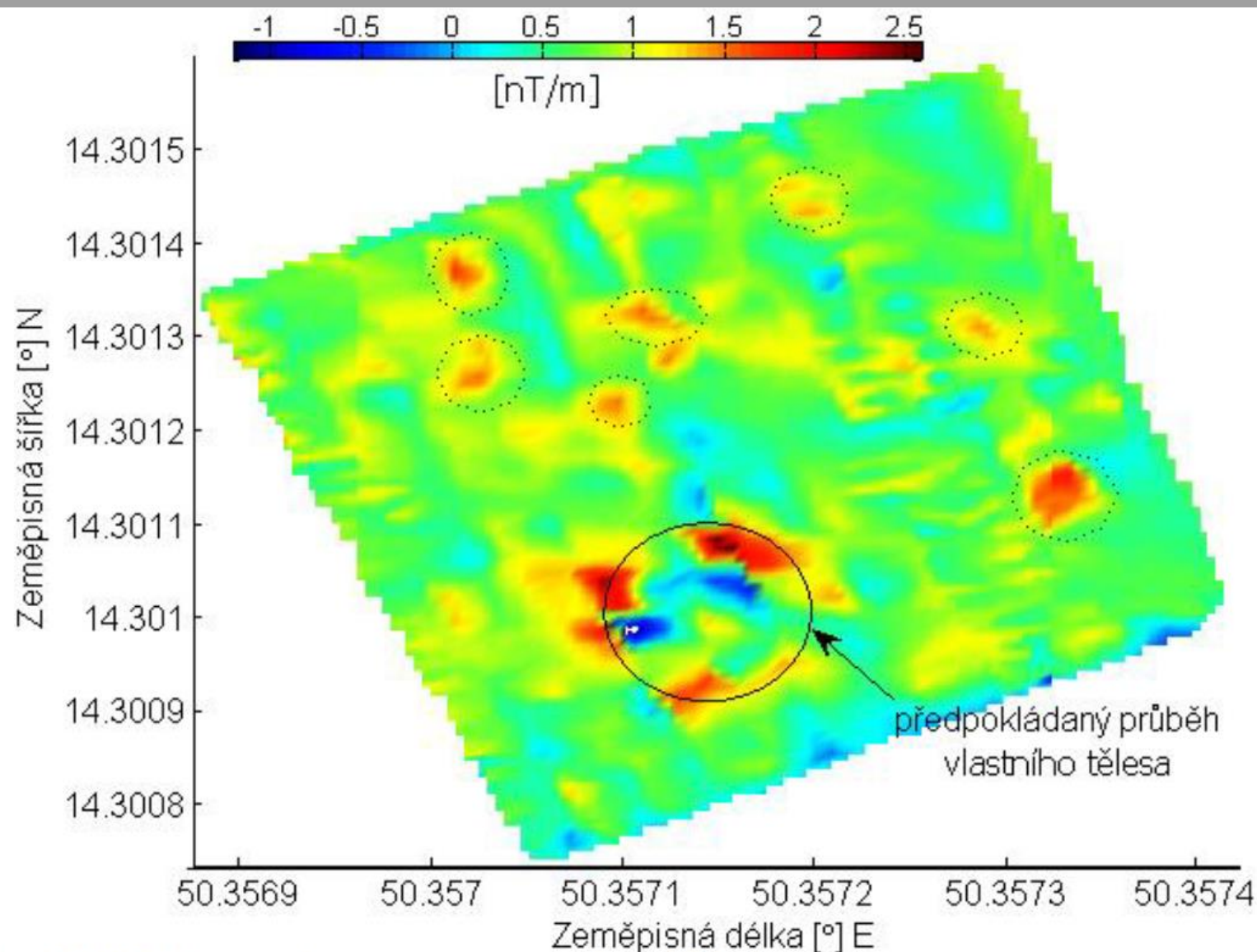
Panenský Týnec – měření magnetometrem, verifikace nálezu



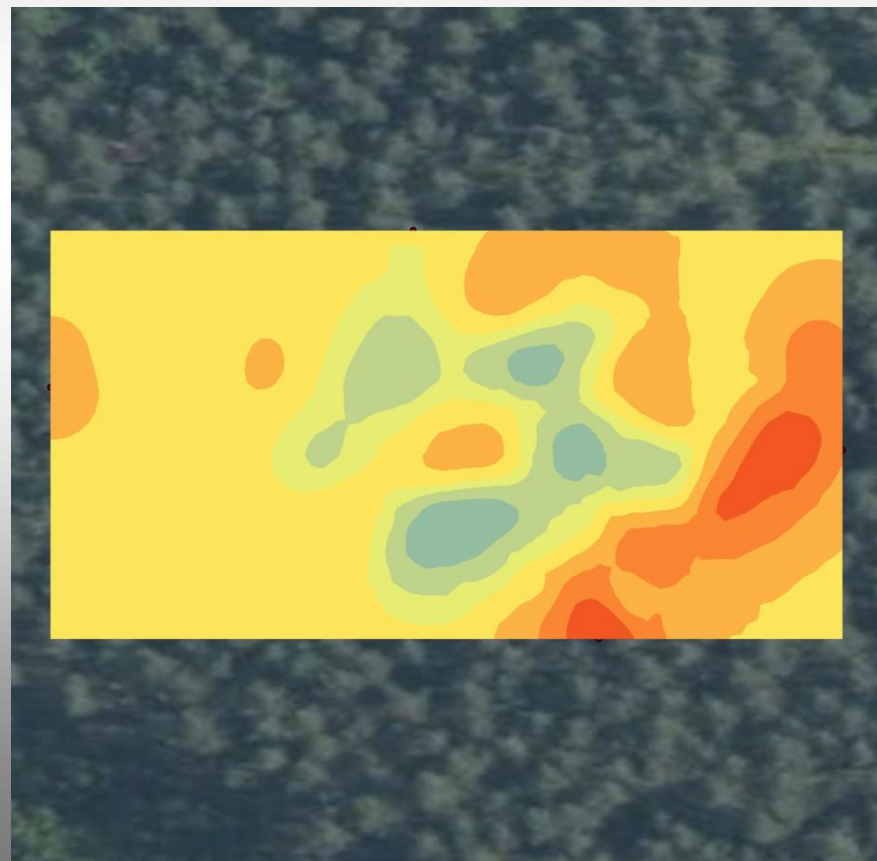
Archeologická lokality Černouček



Černouček, měření magnetometrem



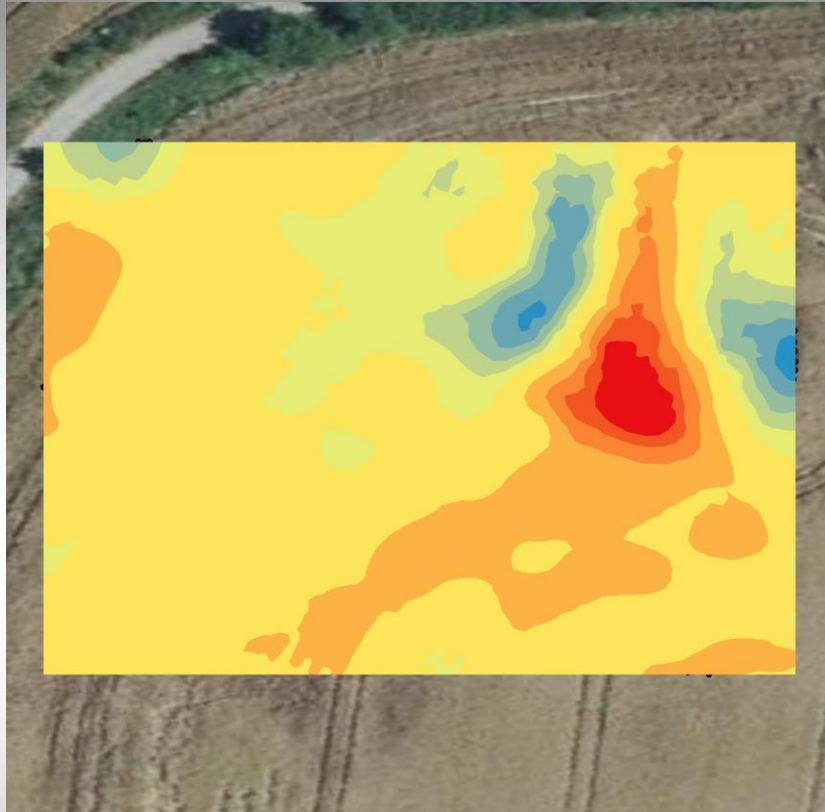
Dělostřelecká reduta Svahy, Třicetiletá válka, kriging



Březno u Loun

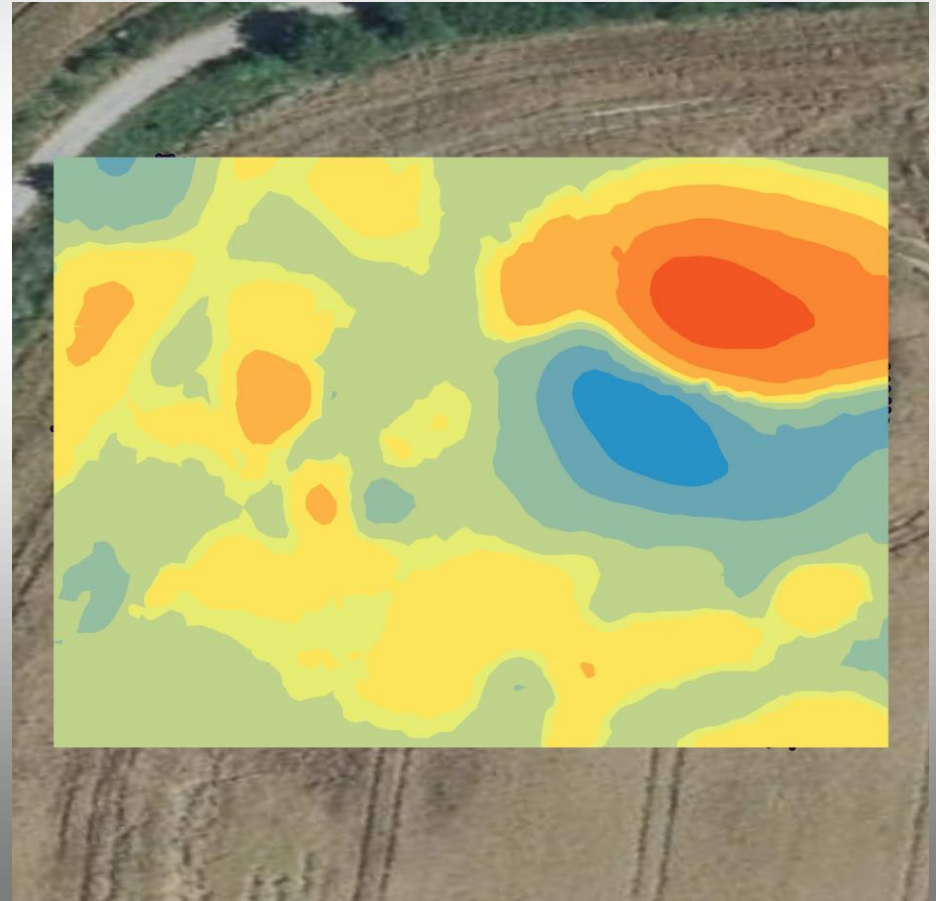


Březno u Loun, kriging

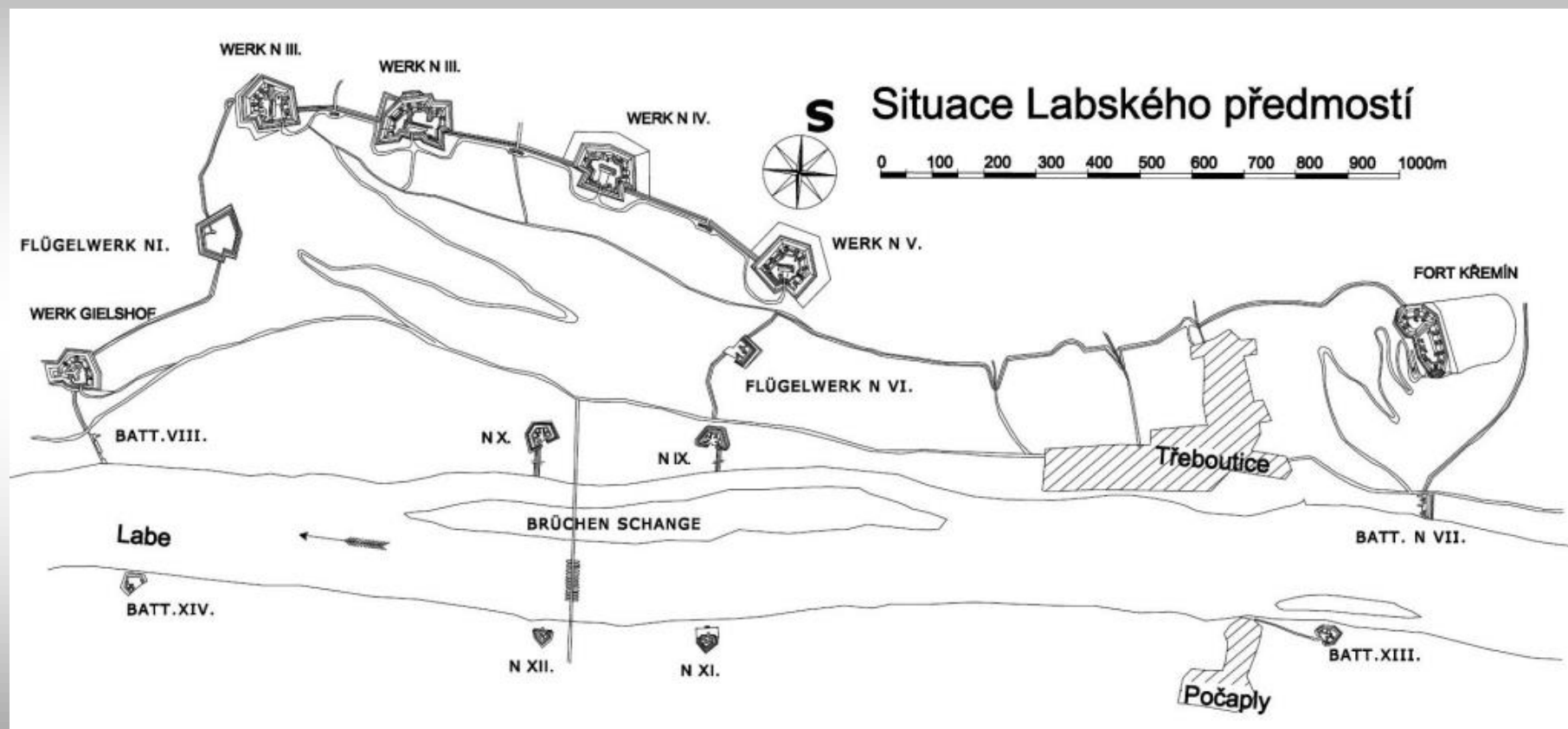


nT

nT_m



Labské předmostí



Ortofoto 2002



Ortofoto 2003



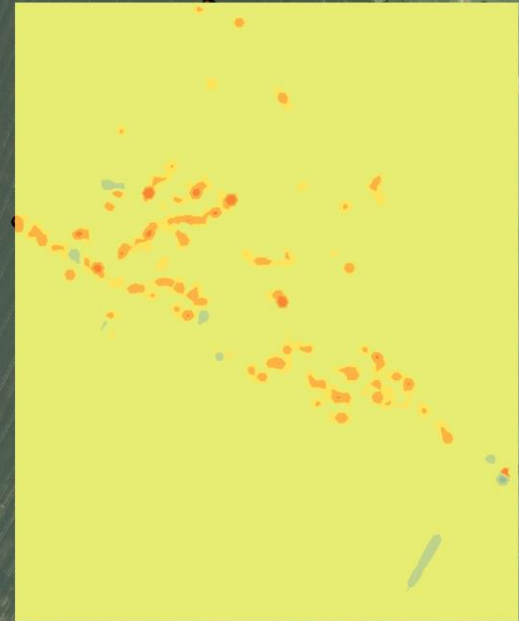
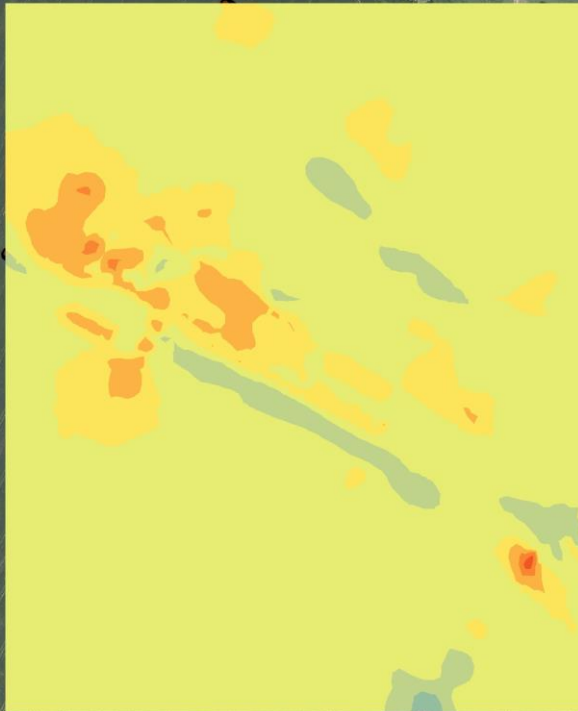
Magnetometrické měření



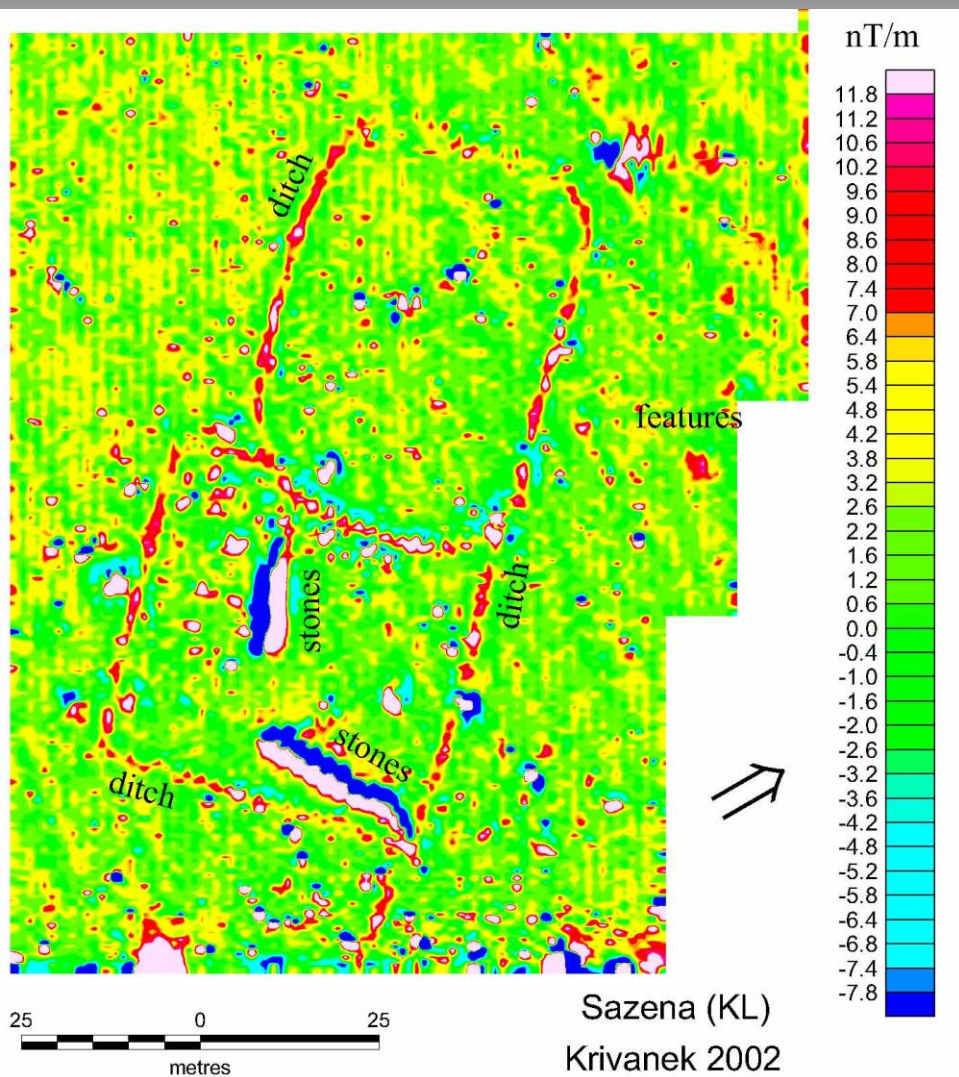
nT

kriging

nT_m



Profesionální měření (cesiový magnetometr)



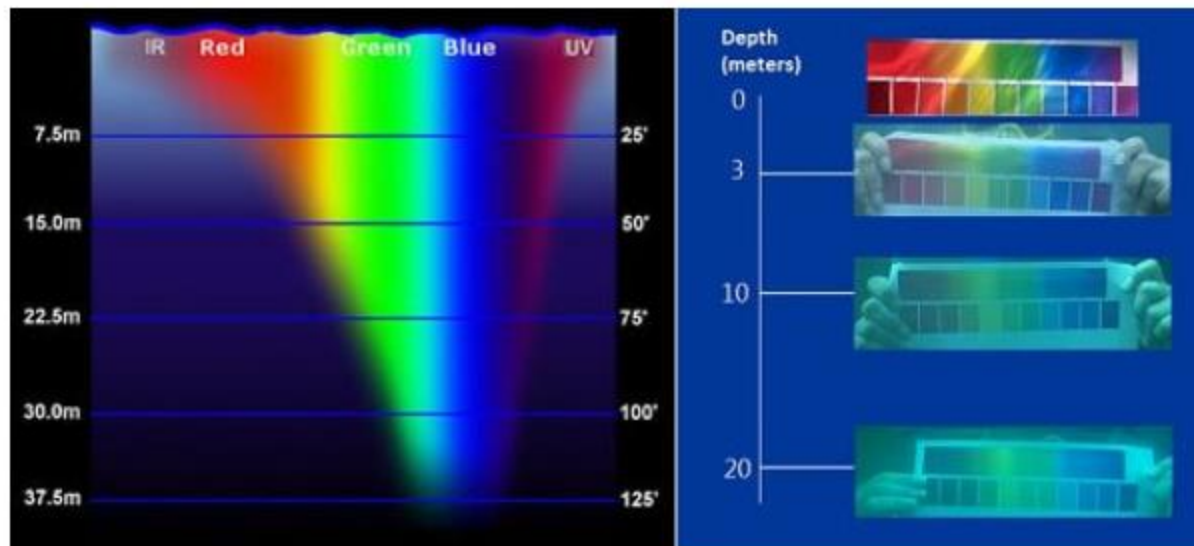
Měření pod vodou

- Sonar + GNSS
- Podvodní fotogrammetrie
- (potápěč + vodotěsný fotoaparát (IBMR technologie))
- Podvodní dron

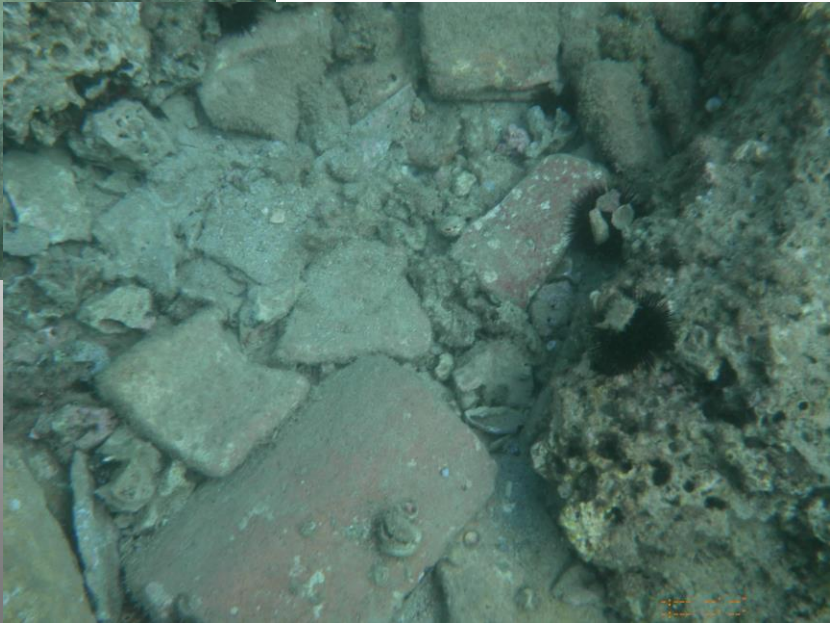


Fotogrammetrie pod vodou?

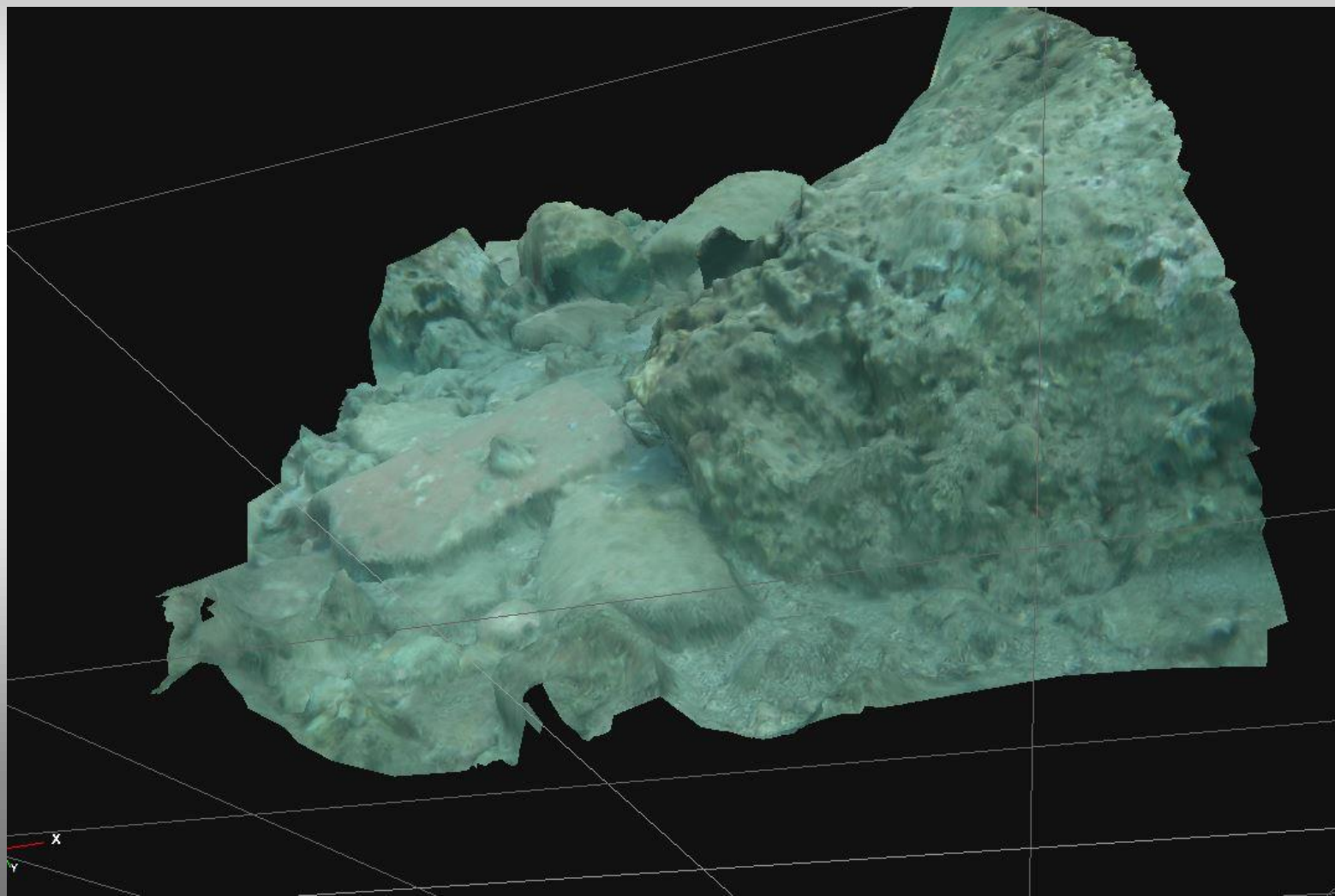
- Lze, ale je nutno mít na paměti, že:
 1. voda jinak láme světlo, než vzduch
 2. proměnlivé prostředí (hustota, slanost, proudy)
 3. osvětlení – od 30-40m je nutno umělé (v čistém moři)
 4. složitější fotografování

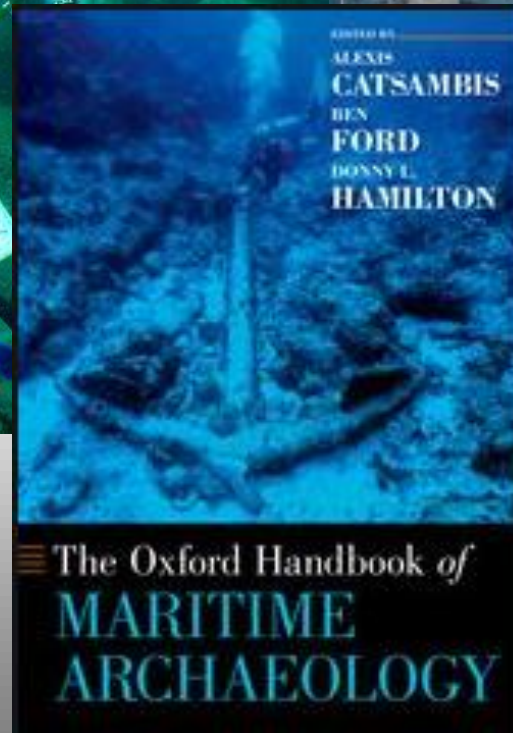
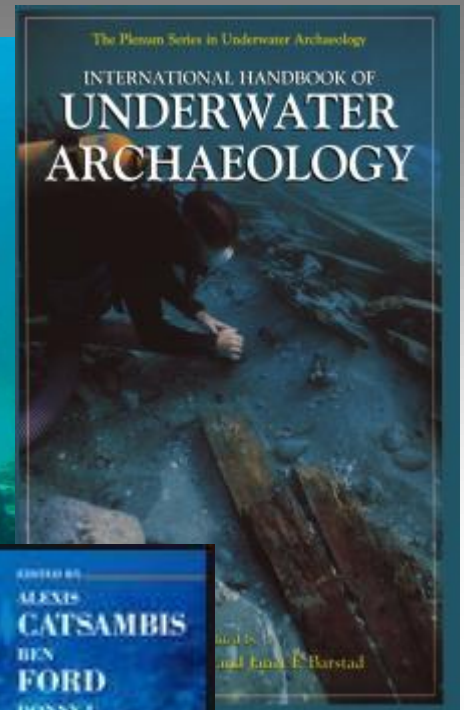


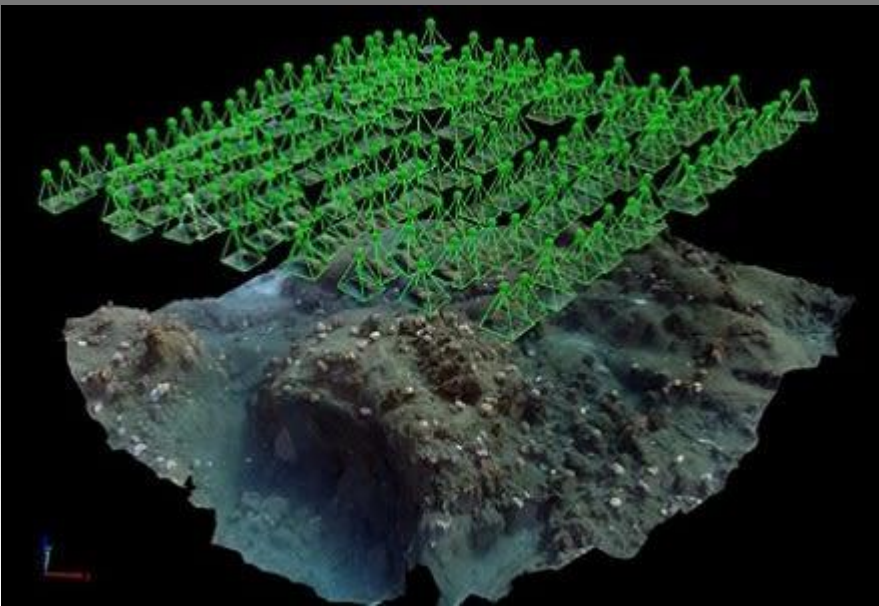
Every color is perceived differently underwater, based on its wavelength.



Zpracování: (SfM – IBMR) či
jinými metodami (průseková fm)







CIPA má vlastní pracovní skupinu pro podvodní fotogrammetrii

<http://www.lsis.org/cipa-uwp/#>



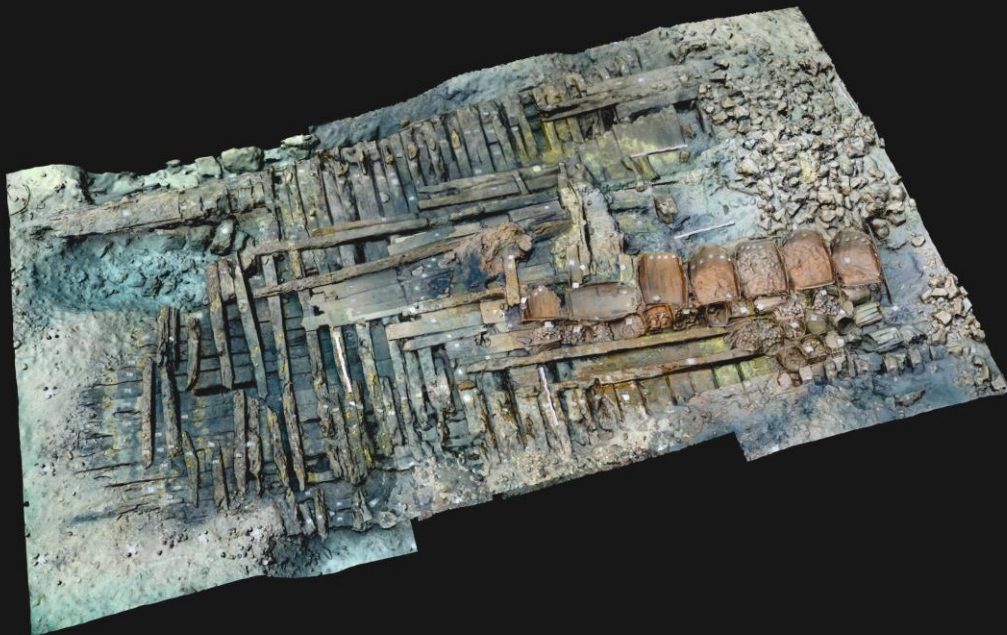
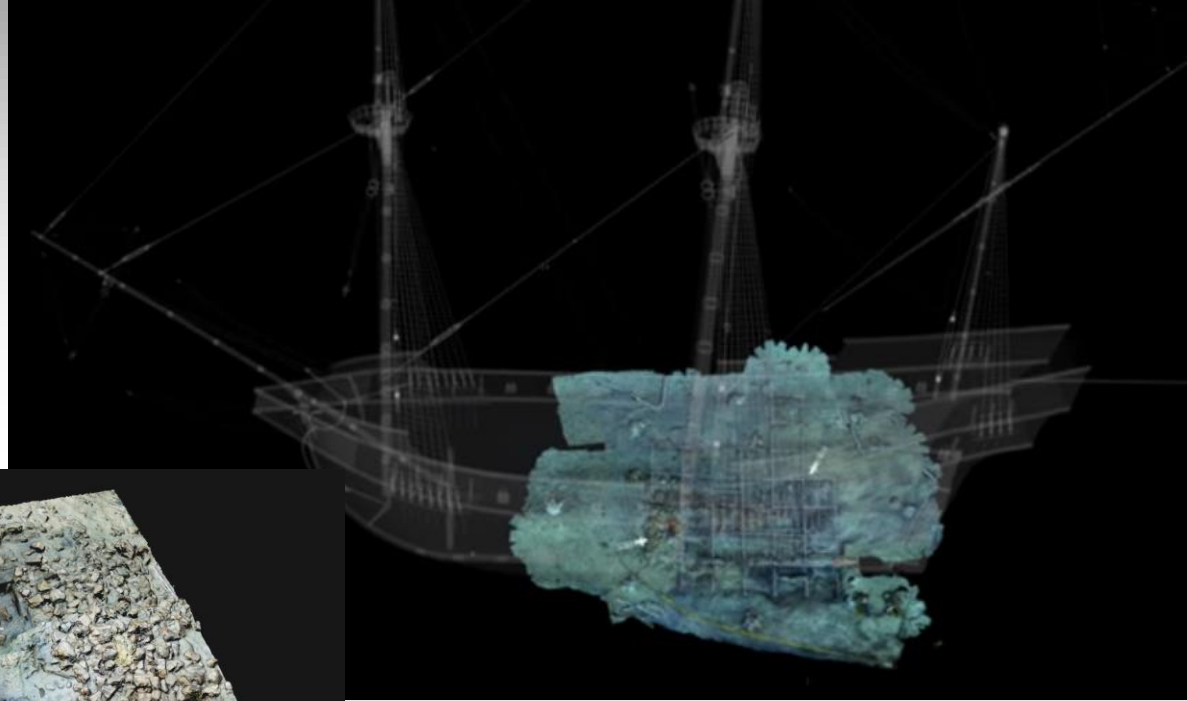
Underwater Photogrammetry
Task Group





Gnalič (HR, Biograd na moru), vrak ze 16.století

<https://www.youtube.com/watch?v=s7ONnWlHmRg>



Děkuji za pozornost.

E-mail: pavelka@fsv.cvut.cz